

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES

**DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO Y DE  
ALGUNAS PROPIEDADES BIOMÉTRICAS EN  
*Eucalyptus globulus* (Labill) COMO MATERIA PRIMA  
PULPABLE**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero de la Madera

**CRISTIÁN MIGUEL SAAVEDRA FUENZALIDA**

Profesor Guía: Ing. Forestal, Dr. INP, Ingeniero EFP, Sr. Javier González Molina  
Ing. Forestal, Sr. Iván Ulloa Álvarez

**SANTIAGO - CHILE.  
2004**

## RESUMEN

En este estudio, el objetivo perseguido fue determinar el comportamiento que presentan el peso específico, la longitud de fibra, el espesor de pared y la masa lineal o coarseness, en *Eucalyptus globulus* (Labill) y la influencia que tiene el espaciamiento y el raleo sobre estas propiedades.

Los análisis fueron efectuados sobre 12 individuos de 14 años, provenientes de cuatro parcelas, con diferentes espaciamientos de plantación (2x2 y 4x4 m), con y sin intervención silvicultural. El área de estudio corresponde al predio Pantanillo, propiedad de la Universidad de Chile, ubicado en la VII Región

Para llevar a cabo esta investigación, se analizaron rodelas extraídas al DAP, de las cuales se obtuvieron muestras de madera en los anillos 4, 8, 12 y 14, las que se prepararon de acuerdo a la metodología a utilizar para cada una de las variables en estudio.

Con los valores obtenidos de peso específico y de las propiedades biométricas, se realizó un análisis de varianza sobre cada una de estas propiedades, para analizar si el efecto de los esquemas de manejo sobre ellas, es significativo.

La herramienta utilizada fue un diseño trifactorial de efectos fijos con tres repeticiones, donde se tomaron como factores, la edad, el espaciamiento de plantación y la intervención silvicultural.

De los resultados obtenidos con respecto a la edad, dicen relación con el comportamiento de todas las variables, donde se pudo observar una clara tendencia a aumentar desde medula a corteza, para cada una de ellas. Lo que coincide con los resultados obtenidos para esta y otras especies similares en estudios anteriores.

Un interesante resultado obtenido, se refiere al efecto que producen los esquemas de manejo sobre el peso específico de la madera de *Eucalyptus globulus* (Labill), encontrándose que a mejores condiciones de crecimiento, mayor

espaciamiento y raleo, la densidad de esta especie tiende a incrementar, lo que es absolutamente inverso, a lo observado en *Pinus radiata* (D.Don).

Con respecto a las otras propiedades, se pudo establecer que no existe una influencia definitiva de los esquemas de manejo sobre ellas.

## SUMMARY

In this study, the pursued objective was to determine the behavior that present the specific weight, the fiber longitude, the wall thickness and the lineal mass or coarseness, in *Eucalyptus globulus* (Labill) and the influence that has the spacing and the thinning about these properties.

The analyses were made on 12 trees of 14 year-old individuals, coming from four parcels, with different plantation spacings (2x2 and 4x4 m), with and without silvicultural intervention. The study area corresponds to the property Pantanillo, belonging to the University of Chile, located in the VII Region

To carry out this investigation, targets were analyzed extracted the DAP, of which wooden samples were obtained in the rings 4, 8, 12 and 14, those that got ready according to the methodology to use for each one of the variables in study.

With the obtained values of specific weight and of the biometric properties, a variance analysis was carried out on each one of these properties, to analyze if the effect of the handling outlines on them, is significant.

The used tool was a design trifactorial of fixed effects with three repetitions, where they took as factors, the age, the plantation spacing and the intervention silvicultural.

Of the obtained results with regard to the age, they have relation with the behavior of all the variables, where one could observe a clear tendency to increase from marrow to bark, for each one of them. What coincides with the results obtained for this and other similar species in previous studies.

An interesting obtained result, it refers to the effect that is produced by the handling outlines on the specific weight of the wood of *Eucalyptus globulus* (Labill), being that to better conditions of growth, bigger spacing and thinning, the density of this species spreads to increase, what is absolutely inverse, to that observed in *Pinus radiata* (D.Don).

With regard to the other properties, it could settle down that a definitive influence of the handling outlines doesn't exist on them.

# INDICE

<b>RESUMEN</b>	
<b>SUMMARY</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>3. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1 Eucalyptus globulus (LABILL) .....	13
3.2 LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA .....	14
3.3 PROCESO KRAFT.....	15
3.4 EUCALIPTO. MATERIA PRIMA PARA CELULOSA .....	19
3.5 PROPIEDADES QUIMICAS DE LA MADERA.....	21
3.6 PESO ESPECÍFICO .....	23
3.7 PROPIEDADES BIOMETRICAS .....	28
3.7.1 Longitud de fibra.....	28
3.7.2 Espesor de pared y diámetro de fibras .....	33
3.7.3 Masa lineal (coarseness) .....	34
<b>4. MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	<b>36</b>
4.1 MATERIAL .....	36
4.1.1 Determinación de las parcelas.....	37
4.1.2 Elección de las muestras.....	38
4.2 METODOLOGÍA .....	39
4.2.1 Objetivo específico 1 .....	39
4.2.1.1 Peso específico.....	39
4.2.1.2 Propiedades biométricas.....	39
4.2.1.2.1 Medición de la longitud de fibra.....	40
4.2.1.2.2 Medición espesor de pared, diámetro de fibra y diámetro de lumen. ..	40
4.2.2 Objetivo específico 2. ....	41
4.2.2.1 Masa lineal (Coarseness).....	41
4.2.3 Objetivo específico 3. ....	42
4.2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	42
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
5.1 PESO ESPECÍFICO .....	44
5.1.1 La edad como causa de variación.....	45
5.1.2 El raleo como causa de variación.....	48
5.1.3 El espaciamiento como causa de variación.....	50
5.2 LONGITUD DE FIBRAS.....	53
5.2.1 La edad como causa de variación.....	54
5.2.2 El raleo como causa de variación.....	57
5.2.3 El espaciamiento como causa de variación.....	59
5.3 ESPESOR DE PARED .....	62
5.3.1 La edad como causa de variación.....	62
5.3.2 El raleo como causa de variación.....	65
5.3.3 El espaciamiento como causa de variación.....	67

5.4 COARSENESS .....	70
5.4.1 La edad como causa de variación.....	71
5.4.2 El raleo como causa de variación.....	73
5.4.3 El espaciamento como causa de variación.....	75
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
6.1 DEL PESO ESPECÍFICO.....	77
6.2 DE LA LONGITUD DE FIBRAS .....	77
6.3 DEL ESPESOR DE PARED .....	78
6.4 DE LA MASA LINEAL (Coarseness) .....	78
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>80</b>
<b>8. APENDICES.....</b>	<b>85</b>

## INDICE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS

Cuadro N° 1. Caracterización de las Parcelas.....	37
Cuadro N° 2. Caracterización de los árboles estudiados.....	38
Cuadro N° 3. Análisis de varianza para peso específico.....	45
Cuadro N° 4. Valores ponderados obtenidos de peso específico en g/cm <sup>3</sup> .....	46
Cuadro N° 5. Valores ponderados obtenidos de peso específico en g/cm <sup>3</sup> .....	50
Cuadro N° 6. Valores ponderados obtenidos de peso específico en g/cm <sup>3</sup> .....	52
Cuadro N° 7. Análisis de varianza para longitud de fibra.....	54
Cuadro N° 8. Valores ponderados obtenidos de longitud de fibra en mm.....	55
Cuadro N° 9. Valores ponderados obtenidos de longitud de fibra en mm.....	58
Cuadro N° 10. Valores ponderados obtenidos de longitud de fibra en mm.....	61
Cuadro N° 11. Análisis de varianza para espesor de pared.....	62
Cuadro N° 12. Valores ponderados obtenidos de espesor de pared en $\mu\text{m}$ .....	63
Cuadro N° 13. Valores promedios obtenidos de espesor de pared en $\mu\text{m}$ .....	66
Cuadro N° 14. Valores promedios obtenidos de espesor de pared en $\mu\text{m}$ .....	68
Cuadro N° 15. Análisis de varianza para espesor de pared.....	70
Cuadro N° 16. Valores promedios obtenidos de coarseness en dg.....	71
Cuadro N° 17. Valores promedios obtenidos de coarseness en dg.....	73
Cuadro N° 18. Valores promedios obtenidos de coarseness en dg.....	75
Diagrama N° 1. Clasificación general de los procesos de pulpaje.....	16
Figura N° 1. Diagrama de flujo del proceso Kraft.....	18
Figura N° 2. Mapa de Ubicación General.....	36
Figura N° 3. Proyección para medir longitud de fibra.....	40
Figura N° 4. Proyección para medir espesor de pared.....	41
Gráfico N° 1. Disponibilidad futura de madera pulpable de Eucalyptus en millones m <sup>3</sup> /año.....	20
Gráfico N° 2. Variación del peso específico con la distancia radial de médula a corteza.....	47
Gráfico N° 3. Variación del peso específico con la distancia radial de médula a corteza.....	47
Gráfico N° 4. Efecto del raleo en el peso específico en parcelas con espaciamiento 2x2.....	49
Gráfico N° 5. Efecto del raleo en el peso específico en parcelas con espaciamiento 4x4.....	49
Gráfico N° 6. Efecto del espaciamiento en el peso específico para parcelas no intervenidas.....	51
Gráfico N° 7. Efecto del espaciamiento en el peso específico para parcelas intervenidas.....	51
Gráfico N° 8. Variación de la longitud de fibra con la distancia radial de médula a corteza.....	56
Gráfico N° 9. Variación de la longitud de fibra con la distancia radial de médula a corteza.....	57
Gráfico N° 10. Efecto del raleo en la longitud de fibra en parcelas con espaciamiento 2x2.....	58
Gráfico N° 11. Efecto del raleo en la longitud de fibra en parcelas con espaciamiento 4x4.....	59
Gráfico N° 12. Efecto del espaciamiento en la longitud de fibra para parcelas no intervenidas.....	60
Gráfico N° 13. Efecto del espaciamiento en la longitud de fibra para parcelas no intervenidas.....	60
Gráfico N° 14. Variación del espesor de pared con la distancia radial de médula a corteza.....	64
Gráfico N° 15. Variación del espesor de pared con la distancia radial de médula a corteza.....	65
Gráfico N° 16. Efecto del raleo en el espesor de pared en parcelas con espaciamiento 2x2.....	66
Gráfico N° 17. Efecto del raleo en el espesor de pared en parcelas con espaciamiento 4x4.....	67
Gráfico N° 18. Efecto del espaciamiento en el espesor de pared de fibras para parcelas no intervenidas.....	68
Gráfico N° 19. Efecto del espaciamiento en el espesor de pared de fibras para parcelas intervenidas.....	69
Gráfico N° 20. Variación del coarseness con la distancia radial de médula a corteza.....	72
Gráfico N° 21. Variación del coarseness con la distancia radial de médula a corteza.....	72
Gráfico N° 22. Efecto del raleo en el coarseness en parcelas con espaciamiento 2x2.....	74
Gráfico N° 23. Efecto del raleo en el coarseness en parcelas con espaciamiento 4x4.....	74
Gráfico N° 24. Efecto del espaciamiento en el coarseness en parcelas no intervenidas.....	75
Gráfico N° 25. Efecto del espaciamiento en el coarseness en parcelas intervenidas.....	76

# 1. INTRODUCCIÓN

El *Eucalyptus globulus* (Labill), originario de Tasmania y Australia es cultivado hoy en día en todo el mundo debido a la trascendencia económica que ha logrado para el rubro forestal, especialmente en la industria de celulosa y papel. Con propiedades tan llamativas como su rápido crecimiento, una buena adaptabilidad a diversas condiciones ambientales y una variada gama de productos de alto valor comercial, hacen que esta especie sea para los países forestales muy apetecida (MARTINEZ, 1981).

El primer país de destino en Latinoamérica para esta especie fue Chile, para luego desarrollarse por todo el resto de la región, demostrando una muy buena adaptación a las diferentes condiciones climáticas del continente (Brasil y Uruguay) (MARTINEZ, 1981).

En Chile la introducción de esta especie data de 1823, cuando algunas plantas destinadas al Perú, fueron bajadas en Valparaíso. De ellas sobrevivieron alrededor de una docena de ejemplares, las que más adelante darían inicio a las plantaciones masivas, realizadas en un principio por las compañías carboníferas de Lota Schwager y Coronel debido a las ventajas que presentaba su madera en el uso de piques de minas (MARTINEZ, 1981).

En la actualidad en el territorio nacional, hay aproximadamente 380.000 has de eucaliptos, distribuidas entre la I y la X Región, concentrándose la mayor parte en la zona centro sur del país (INFOR, 2002).

El desarrollo de la forestación con eucaliptos se debe principalmente a tres factores:

- Forestar terrenos externos al área pinera, para así recuperar suelos de exclusiva aptitud forestal
- Diversificar las plantaciones, cuya tendencia al monocultivo en las últimas décadas ha sido motivo de preocupación permanente.
- Por la alternativa que esta especie otorga en la industria de transformación primaria y secundaria, destacándose la disponibilidad de fibra corta, llamada también fibra noble en la producción de celulosa de alta blancura.

Con respecto a este último punto, se puede destacar que con la creciente demanda por celulosa de fibra corta y los buenos precios que se obtienen con este producto, asociada con los buenos rendimientos y los estados sanitarios de la materia prima, hacen que esta madera se considere como la especie de mejor aptitud pulpable para la industria nacional de celulosa de fibra corta.

Uno de los aspectos de mayor relevancia en la fabricación de celulosa y papel, dice relación con las propiedades intrínsecas de la madera a utilizar, refiriéndose principalmente a las propiedades físicas, químicas y biométricas de ésta, ya que de estas propiedades va a depender si la especie posee aptitud pulpable o no, para la fabricación de un determinado papel.

De las propiedades físicas, el peso específico, es el que posee mayor relevancia para la producción de celulosa, ya que esta propiedad está en directa relación con los rendimientos esperados por unidad de volumen de materia prima. Por ejemplo en *Pinus radiata* se consumen 5,12 m<sup>3</sup>/ ton de celulosa blanqueada producida y en eucalipto este consumo baja a 3,18 m<sup>3</sup>/ton.<sup>(\*)</sup>

Con respecto a las propiedades químicas éstas, basan su real importancia en los contenidos de holocelulosa, lignina y extraíbles, ya que de las proporciones que presenten, va a depender el comportamiento y la calidad de la celulosa fabricada, así como los procesos de recuperación reactivos.

Por su parte, las propiedades biométricas de las fibras de la madera son muy importantes, debido a que las dimensiones que éstas tengan, influyen directamente sobre la calidad de la celulosa y el papel fabricado, de modo que dependiendo de las características de las fibras, se puede establecer que tipo de papel es conveniente fabricar.

La relevancia de las propiedades antes mencionadas en la industria de la celulosa, hace surgir la necesidad de realizar estudios en estas propiedades con el objetivo de conocer mas profundamente la materia prima que se esta utilizando, optimizar la producción y calidad del producto final.

---

<sup>(\*)</sup> Comunicación personal. Ref. Sr. Javier Gonzalez M. (2003)

La relevancia de las propiedades antes mencionadas en la industria de la celulosa, hace surgir la necesidad de realizar estudios en estas propiedades con el objetivo de conocer mas profundamente la materia prima que se esta utilizando, optimizar la producción y calidad del producto final.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Análisis del peso específico en relación a algunas propiedades biométricas del *Eucalyptus globulus* (Labill) como materia prima pulpable, en individuos con y sin tratamiento silvícola y a distintos espaciamientos de plantación.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar evolución del peso específico, largo de fibras y espesor de pared mediante mediciones microscópicas.
- Determinar masa de fibras por unidad de longitud (coarseness).
- Contribuir a la determinación de las conveniencias del tratamiento silvicultural y a la determinación de los periodos de rotación en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labbil para la utilización pulpable.

## 3. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### 3.1 *Eucalyptus globulus* (LABILL)

El género *Eucalyptus* comprende unas 600 especies y variedades de árboles grandes que llegan a medir hasta 100 metros de altura y otros pequeños que no sobrepasan los 2,5 metros de altura, en su mayoría de origen australiano, muchas de estas especies producen maderas de alto valor comercial y han sido por esta razón introducidas en muchas partes del mundo. Los árboles son por lo general erectos con troncos cilíndricos uniformes (GONDELLES, 1954).

Dentro del género, *Eucalyptus globulus* es posiblemente la especie mas conocida y difundida fuera de Australia. En condiciones favorables alcanza desde 45 a 60 metros de altura y en sitios óptimos hasta 70 metros (INFOR, 1986) y 2,3 metros de diámetro (INFOR, S.A.). Su fuste recto, hasta las dos terceras partes de la altura total del árbol y presenta una copa bien desarrollada. Tiene una corteza rugosa y persistente en la parte baja, y en la parte alta se desprende en largas tiras dejando una superficie lisa color gris azulado (INFOR, 1986).

Entre las características del género que más se destacan se encuentran, su rápido crecimiento 30 a 50 m<sup>3</sup>/ ha/ año- (Prado y Barros, 1989), y su adaptabilidad a una variedad de sitios han permitido establecer plantaciones de importancia en Portugal, España, Sudáfrica y en la mayoría de los países latinoamericanos (INFOR, 1986).

La madera de *Eucalyptus globulus* es de color café amarillento claro, textura gruesa, normalmente de grano entrelazado, con anillos de crecimiento bastante diferenciados, de gran dureza, pesada y moderadamente durable. Su peso específico promedio es de 689 Kg/m<sup>3</sup> (INFOR, 1986).

En Chile la especie fue introducida durante el siglo pasado y tradicionalmente se le ha empleado en la agricultura en postes de cercos y viñas; como leña, ya que presenta un buen poder calorífico (4.800 Kcal/kg.); en la fabricación de parquets, chapas y últimamente tiene una gran demanda para la producción de celulosa y papel. Además

esta especie tiene un alto contenido de cineol, aceite que se extrae de las hojas. Sus flores producen néctar y polen para fabricar miel de buena calidad (INFOR, S.A.).

Actualmente en Chile se están plantando alrededor de 38.000 ha de *Eucalyptus* cada año, llegando a cubrir 376.786 ha, representando el 18% de las plantaciones totales (INFOR, 2002), de estas aproximadamente el 90% son de *Eucalyptus globulus* Labbil, las mejores plantaciones se encuentran en el área de Concepción, donde es frecuente encontrar Eucaliptos de 20 años con 60 metros de altura y 50 centímetros de diámetro. Sin embargo, se le planta desde Copiapó al norte, hasta la Isla de Chiloé al extremo sur con buenos resultados. Entre dichas latitudes encontramos suelos y climas extremadamente diferentes, lo que habla de la gran capacidad de adaptación del Eucalipto (CORMA, 1999).

Esta especie se recomienda para ser plantada en zonas costeras con más de 600 mm de precipitación y libres de heladas severas. La especie no soporta temperaturas inferiores a -4°C, aún cuando puede sobrevivir, su tasa de crecimiento se ve fuertemente disminuida (INFOR, S.A.) ya que las temperaturas dentro del área de distribución natural de esta especie muestran valores de 10 a 15 °C para la media anual y de -4,5 a 40,5 °C para las extremas absolutas (INFOR, 1986).

### **3.2 LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA**

En Chile la industria de la celulosa y el papel se ha ganado, con el correr de los años, un merecido prestigio en el mercado internacional como proveedora confiable y creciente de productos de alta calidad (GUTIÉRREZ, 2000).

Con una producción de 2.667,8 miles de toneladas de pulpa química y una participación de 45% aproximadamente del total exportado por el rubro forestal, esta industria se presenta como una de las más sólidas e importantes del país (INFOR, 2002).

La positiva evolución que ha sufrido este rubro, se estima que continuara en los próximos años, sustentada por el dinámico ritmo de crecimiento de la capacidad instalada. Cabe destacar que la inversión en el área de la celulosa ha sido cuantiosa en

el pasado y será mayor aún en el futuro, estimándose que dicha industria concentrará un 80% de la inversión contemplada en la actividad forestal (GUTIÉRREZ, 2000).

Se debe tener presente que ante un mercado interno pequeño, la industria de la celulosa chilena debe basar su desarrollo en una estrategia de exportación hacia un mercado externo que se caracteriza por su alta competitividad, con altas exigencias de calidad y de orden ambientalista (GUTIÉRREZ, 2000).

### **3.3 PROCESO KRAFT**

El principal uso de la madera, que no sea en su forma sólida, es la utilización de las fibras como materia prima en la producción de pulpa y papel, esto debido a las propiedades, la morfología y la composición química de las células de madera (PANSWIN, 1970).

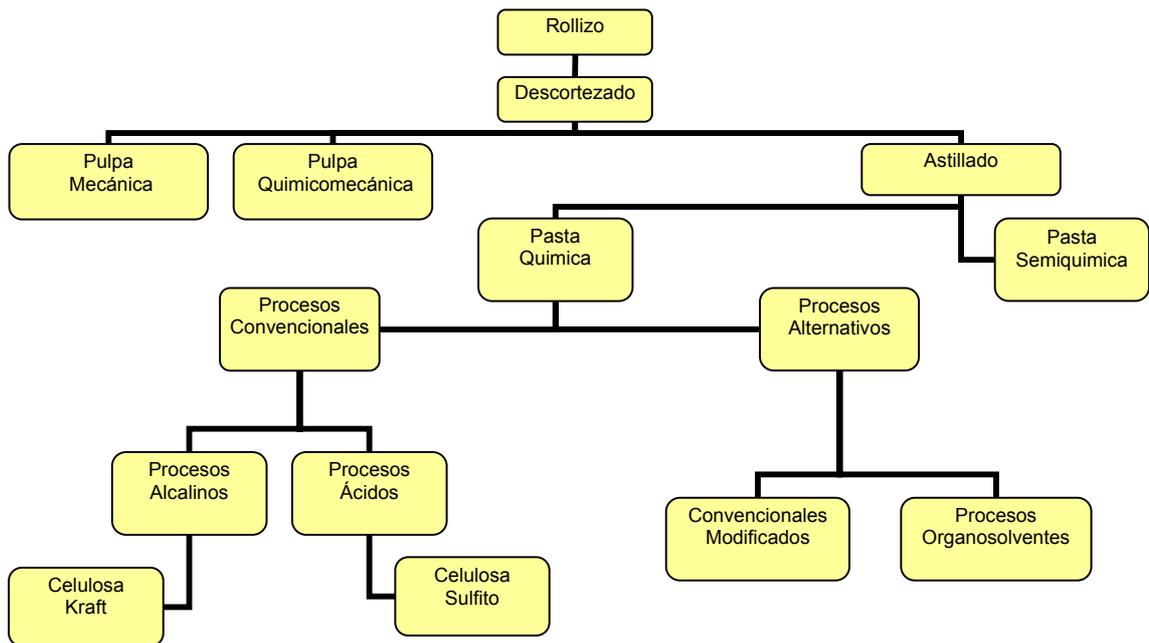
Por medio de varios procesos de obtención de pulpas celulósicas, la madera y otras plantas fibrosas se convierten en fibras para la fabricación de pulpa y papel. Dependiendo de la maquinaria y acción utilizadas, se puede decir que los materiales vegetales se muelen, desfibran, cuecen, deslignifican, digieren y se refinan para convertirse en pulpas celulósicas (LIBBY, 1967).

El primer paso en la fabricación de papel es la preparación de una suspensión de fibras separadas, diluidas en agua y llamada comúnmente pasta. Esta se obtiene mediante el tratamiento de una materia prima fibrosa por un procedimiento mecánico o químico o una combinación de ambos. La fabricación de pulpas y pasta puede definirse como la separación de las fibras que componen la madera (CONSUEGRA, 1994; GONZALEZ, 2000).

LIBBY (1967), señala que en los procesos de pulpaje químico es posible disolver las uniones de lignina permitiendo la separación de las fibras celulósicas con una mínima degradación de la estructura. De esta forma las fibras conservan casi todas sus características intrínsecas y por lo tanto son más resistentes. Quedando una pulpa de fibras individuales, que luego volverán a unirse en una lamina de papel.

El mismo autor, señala que existen diversos procesos de elaboración química y que estos se diferencian principalmente por los componentes químicos utilizados. Entre los más importantes señala el proceso Kraft o al sulfato (alcalino) y el proceso al sulfito (ácido).

Diagrama N° 1. Clasificación general de los procesos de pulpaje.



Fuente PINOCHET (1995)

En Chile, la totalidad de las plantas de celulosa utilizan el proceso de pulpaje Kraft, el que ha sido seleccionado por la industria por ser más conveniente en términos de calidad del producto final y por que este proceso es el mas utilizado en el mundo, donde el país tiene ventajas comparativas con otras naciones (GUTIÉRREZ, 2000; GONZALEZ, 2000).

La utilización de dicho proceso se debe a lo siguiente:

- Versatilidad de la materia prima, es decir, se aplica a todo tipo de especies de madera, incluyendo a las coníferas y latifoliadas, aun en mezcla y tolerancia a altas cantidades de extraíbles y residuos de corteza.
- Buena calidad de la pasta; excelentes propiedades físico- químicas.
- Recuperación eficiente de los reactivos químicos utilizados en la cocción (ROJAS, 1994)

Además, el proceso Kraft permite la obtención de una pulpa tanto cruda como blanqueada, con amplio margen de aplicaciones y recomendado para la utilización de nuevas materias primas (WENZEL 1967, citado por MOLINA, 1996)

Sin embargo, el proceso Kraft presenta varios inconvenientes:

- Emisión de sustancias malolientes.
- Elevado porcentaje de lignina residual.
- Efluentes tóxicos emitidos en la etapa de blanqueo (Rojas, 1994).

Las principales características que influyen en el proceso Kraft son:

Característica de la madera, cantidad y concentración de reactivos químicos, tiempo de digestión, temperatura de digestión, relación de madera a licor de digestión (CACERES y BAUTISTA 1975, citado por PINOCHET, 1995).

LIBBY (1967), señala que el proceso Kraft utiliza un licor conformado por hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S) donde el primero es el encargado de romper los grupos éter-fenólicos de la lignina y el segundo causa una disolución más selectiva de la lignina y además mejora la calidad de la pulpa para lograr la máxima eficacia del proceso de pulpaje.

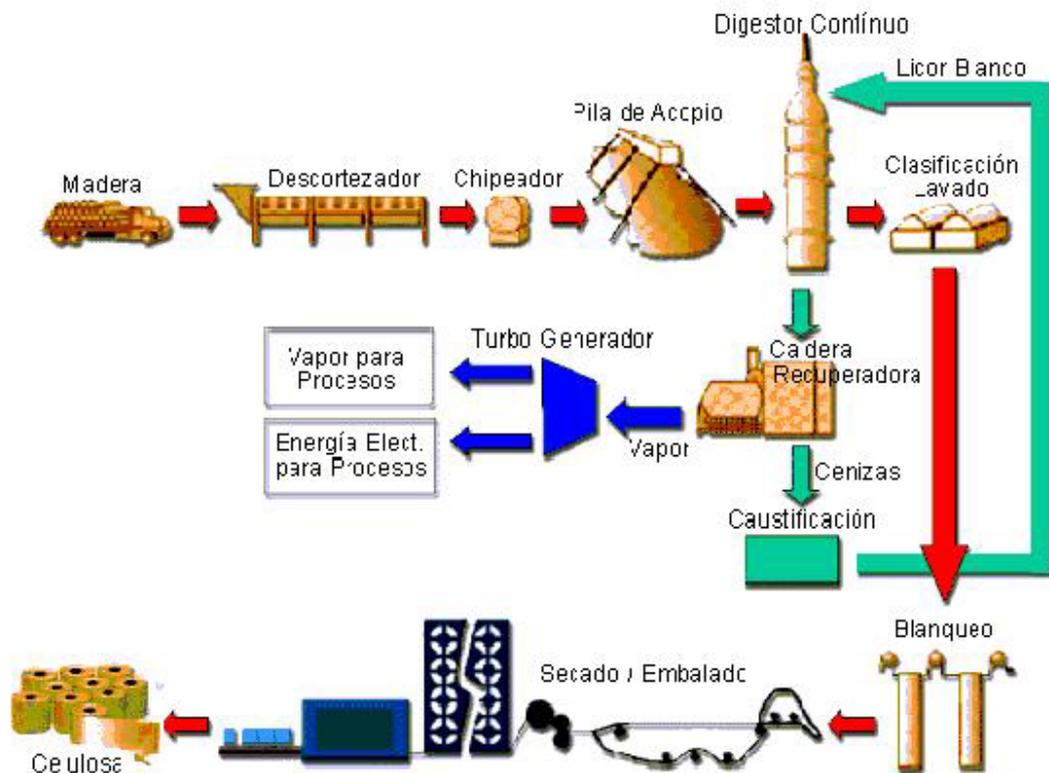
La idea ha sido desde un principio, que la mayor parte de los residuos de la cocción puedan ser reutilizados en cocciones siguientes, para minimizar el impacto ambiental y disminuir la cantidad de efluentes que son expulsados (GULLICHSEN Y FOGELHOLM, 1999).

Últimamente, se ha incursionado en el campo del biopulpaje. Ello consiste en el tratamiento de rollizos de *Pinus radiata* con hongos de pudrición blanca. Con esto se ha

logrado aumentar rendimiento del proceso (2,6%) disminuyendo la lignina y aumentando los porcentajes de holocelulosa, en comparación con tratamientos puramente químicos, también disminuye índices Kappa (12%), mejora el blanqueo (8%), aumenta el razgado (20%) y TEA (14%), además de lograr disminuciones importantes en la contaminación (GONZALEZ et al 2001).

En el año 2002, el grupo de investigación dirigido por el profesor Sr. Javier González M. se adjudicó el proyecto FONDEF, DO2I-1086 sobre biopulpaje Kraft, para llevarlo a cabo en especies de fibra corta como *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, cuyos resultados definitivos se conocerán en el año 2006.

Figura N° 1. Diagrama de flujo del proceso Kraft.



Fuente: Empresas CMPC. ([www.papelnet.cl](http://www.papelnet.cl)).

### **3.4 EUCALIPTO. MATERIA PRIMA PARA CELULOSA**

Las dos principales consideraciones en la utilización de madera en la producción de celulosa, es la disponibilidad de madera y el rendimiento de las fibras por unidad de volumen o peso de madera (PANSHIN, 1970). También es necesario considerar su composición química, largo de fibra y ciertas características, como la masa lineal (coarseness) (GONZALEZ, 2000)

En varios países del mundo, el abastecimiento de la industria de celulosa y papel está basado en plantaciones del genero *Eucalyptus*. Australia, Brasil, España, Sudáfrica y Portugal son los países en donde se hace mayor uso de estas especies en la producción de celulosa y papel (PRADO y BARROS, 1989).

En nuestro país tradicionalmente la industria de celulosa y papel, se ha desarrollado utilizando casi exclusivamente la materia prima proveniente de las plantaciones de *Pinus radiata* D.Don. Este hecho se debe entre otras a las siguientes razones:

- a) La calidad de esta madera como material fibroso.
- b) La disponibilidad de esta materia prima a un bajo costo.
- c) La ubicación de las plantaciones, cercanas a los centros industriales, y
- d) La rapidez de crecimiento de la especie.

Sin embargo, es interesante considerar el aprovechamiento del *Eucalyptus* en este rubro, ya que cumple con los requisitos enumerados anteriormente para el caso del *Pino radiata* D.Don. (PAZ y REITZE 1974, citados por MOLINA, 1996).

FOELKEL (1988), señala que las fibras de *Eucalyptus* incluidas en la pulpa son las responsables, de disminuir las diferencias de resistencia en el sentido longitudinal de la maquina papelera y en el sentido transversal de la misma, proporcionándole mayor estabilidad al papel y disminuyendo los problemas de floculación.

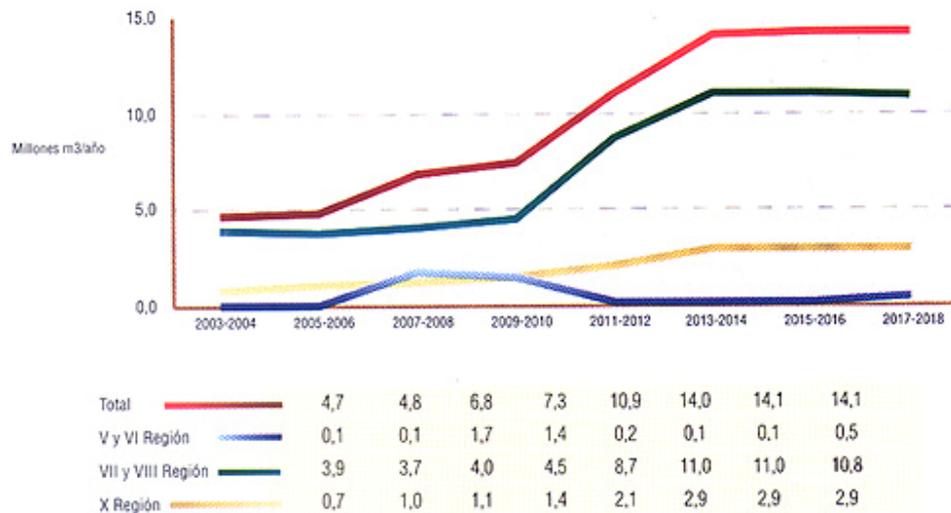
PRADO y BARROS (1989), señalan, que para *Eucalyptus* los factores relacionados con la madera que más inciden en las propiedades de la pulpa son: densidad, contenido

de extraíbles, presencia de vasos, características biométricas de las fibras, contenido de lignina y edad de los árboles.

El *Eucalyptus* tiene un peso específico promedio de 689 Kg/m<sup>3</sup> (INFOR, 1986) lo que corresponde aproximadamente a un 50% más que el del pino radiata, lo que posibilita un mayor aprovechamiento de la capacidad instalada de digestión de una planta de pulpa. Su composición química también es distinta a la del pino: tiene un mayor contenido de holocelulosa, lo que permite procesos de digestión relativamente más cortos. Y, en tercer lugar, el mayor contenido de holocelulosa unido a un menor contenido de lignina, hacen que constituya una pasta relativamente mas fácil de blanquear, lo que trae aparejado un menor gasto de insumos químicos por concepto de blanqueo (GONZALEZ, 1988) .

Por su condición pulpable, alta rentabilidad asociada y el interés por diversificar las plantaciones, hace que se considere al *Eucalyptus* como el género mas viable para su utilización en la industria del papel (MOLINA, 1996), En Chile *Eucalyptus globulus* en comparación con varias especies de *Eucalyptus* es la que presenta mayor aptitud pulpable (MELO et al., 1981; FOELKEL, 1988; PRADO y BARROS, 1989; MELO et al., 1991; MOLINA, 1996)

Gráfico N° 1. Disponibilidad futura de madera pulpable de *Eucalyptus* en millones m<sup>3</sup>/año.



Fuente: INFOR, (2002)

El *Eucalyptus globulus* corresponde a una de las mejores maderas para producir papeles blanqueados de alta calidad. La deslignificación, separación de fibras y blanqueo pueden ser alcanzados con un alto rendimiento y con un bajo consumo de reactivos químicos (VALENTE et al., 1992).

MELO et al., (1991), señala que los rendimientos de la especie en pulpaje Kraft son altos, fluctuando en el margen entre 48,7 y 53,9 % con una dependencia directa sobre la edad. Coincidiendo con esto RODRÍGUEZ y TORRES (1991), encontraron rendimientos similares en ensayos realizados con desechos, fluctuando entre 48,2 y 56,8%.

### **3.5 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA MADERA**

La composición química de la pared celular de las fibras de madera es de mucha importancia, especialmente en maderas duras, por el efecto que tiene en la calidad de la pulpa y papel (PANSHIN, 1970).

VALENTE et al., (1992), señala que el conocimiento de la composición química de la madera en sus principales componentes, holocelulosa, lignina y extraíbles, es de suma importancia para la interpretación del comportamiento de la madera en el proceso de pulpaje, así como para la determinación de la calidad de la madera.

De todos los compuestos naturales de carbono, la celulosa parece ser el más abundante y es el principal componente de todas las maderas. Puesto que como más frecuentemente se encuentra en forma fibrosa y dado que su resistencia a la tensión es muy grande, además de ser insoluble en agua fría como caliente, es que se convierte en el componente más importante en la fabricación de pulpa y papel (GULLICHSEN Y FOGELHOLM, 1999).

La lignina, que corresponde a un polímero complejo altamente ramificado donde su función principalmente es como relleno o sustancia cementante para impartir rigidez al tejido leñoso, se convierte en un problema realmente significativo en la elaboración de pulpa (LIBBY, 1967).

La literatura señala que los polímeros derivados de celulosa, hemicelulosa y lignina presentan una variación considerable en las distintas especies de *Eucalyptus*. Los contenidos de celulosa varían entre 40 y 62%; los de hemicelulosa están entre 12 y 22% y por último los de lignina estarían entre 15 y 22%. Además, en una toma de muestras de *Eucalyptus globulus*, se observó un mínimo en el contenido de celulosa de 36% y un máximo de 57% (HILLIS 1978, citado por PRADO y BARROS, 1989)

*Eucalyptus* posee un alto contenido de lignina en su conformación, en comparación a otras latifoliadas, pero esta lignina es de fácil extracción con un bajo consumo de reactivos químicos lo que trae como consecuencia un fácil pulpaje (FOELKEL, 1988).

PRADO y BARROS (1989), señalan que el contenido de lignina en *Eucalyptus globulus* ssp. *bicostata*, *Eucalyptus globulus* ssp. (*globulus*) y *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* crecidos en Chile, presentan valores en base a madera seca libre de extraíbles de 23.4, 21.0 y 20.7 % respectivamente.

Con respecto a los extraíbles presentes en el género *Eucalyptus*, los mismos autores señalan que este género presenta un alto y variado contenido de extraíbles que varían considerablemente según la especie y que la mayoría de los compuestos son fenólicos con alguna proporción de ácido elágico donde el monto de extraíbles fenólicos aumenta desde la médula hacia el exterior en el duramen, y disminuye en la albura, presentándose este comportamiento en todo el árbol.

MOLINA (1996), señala en su estudio de aptitud pulpable de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y *Eucalyptus nitens*, que ambas especies presentan características físico – químicas normales, además que los rendimientos en ambos tipos son superiores al 50%.

### **3.6 PESO ESPECÍFICO**

En estado de saturación, para especies de muchos géneros, el agua representa más de la mitad del peso de la madera. La relación masa/volumen no es siempre la misma, en función de la presencia de diferentes concentraciones de agua en la madera. Por lo tanto, es indispensable determinar la cantidad de masa por unidad de volumen, o sea, qué cantidad de materia seca contiene un metro cúbico de madera. Esta relación se denomina como densidad básica de la madera y se denomina como la relación entre el peso de la madera libre de agua o anhidra y su volumen obtenido cuando se encuentra totalmente saturada de agua. (MARCOLIN, 2002). COWN, (1980) señala que a la madera se le puede calcular el peso específico, cuando están recién cortadas o en estado verde, sin necesidad de saturarlas.

La importancia del peso específico radica en que tiene relación directa con cada una de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la madera (DIAZ-VAZ, 1981). La densidad, por lo general, entrega una buena indicación de la resistencia, dureza y durabilidad de la madera (PRADO y BARROS, 1989). Siendo corroborada esta afirmación por HARRIS (1965), citado por DELMASTRO *et al.*, (1980), donde se señala que un aumento de un 50% en el peso específico puede incrementar en un 250% su resistencia.

El estudio del peso específico se hace interesante por cuanto su valor está en relación con el rendimiento por unidad de volumen que se pueda obtener de una madera destinada a ser utilizada como materia prima pulpable (CONSUEGRA, 1994).

Dada la trascendencia que tiene la densidad de la madera en muchas propiedades y procesos de conversión, incluyendo el aserrío, secado, encolado y en los rendimientos en la producción de pulpa y papel en general, se asume una relación directamente proporcional entre la densidad de la madera y el precio de esta (LOEWE *et al.*, 1997).

MORALES (1968), deduce que la madera más densa, entrega mayor cantidad de material leñoso que la de menor densidad. La formación de madera tiene lugar durante los meses de primavera y verano en zonas con climas templados. La razón principal de que aparezca el anillo de crecimiento, esta dado por la diferencia en el crecimiento entre las células formadas inicialmente y las constituidas al final del periodo de formación

(DIAZ - VAZ, 1981). La madera de primavera tiene densidad inferior a la madera de verano debido a que esta última posee fibras de paredes más gruesas y con un lumen más reducido (LIBBY, 1967).

El peso específico de una muestra de madera estará determinado principalmente por la cantidad de madera de primavera y verano, por el tamaño de las fibras, por el grosor de la pared celular y por el contenido de extraíbles (PRADO y BARROS, 1989). Ya que la cantidad de sustancias que se depositan en la pared de las células por unidad de volumen, varía de acuerdo con el tamaño de las células, su grosor y el número de los diferentes tipos de células presentes (LIBBY, 1967). Así cualquier factor que altere alguna de estas propiedades de la madera incidirá directamente sobre el peso específico (COWN, 1974).

Estudios efectuados por diferentes autores, llegan a la conclusión de que el peso específico de la madera de verano, en las coníferas, es igual aproximadamente 2,5 veces el de la madera de primavera (JARDIN BOTANICO DE CORDOBA, 2000).

El peso específico de la madera puede variar en grandes cantidades en un mismo género (MARCOLIN, 2002), ya que se ve influenciado por numerosos factores que se pueden clasificar en tres grupos: Sitio (clima y suelo), silvicultura y genética (COWN, 1974). De CASTRO (2002), citando a HILLIS (2000), señala que para el género *Eucalyptus* los límites de densidad varían desde 0.60 a 0.90g/cm<sup>3</sup> para maderas maduras y de 0.40 a 0.80g/cm<sup>3</sup> para maderas juveniles.

La evolución del peso específico a medida que transcurre la edad en los árboles, ha sido motivo de estudio para numerosos investigadores, los cuales en su mayoría han determinado este factor como uno de los más importantes, ya que el aumento de la edad de los árboles, va acompañado de una serie de fenómenos que modifican la calidad de la madera producida en cada una de las etapas de su desarrollo. Lo que contribuye a hacer de la madera un material mas heterogéneo y por lo tanto de peso específico variable, con una tendencia normal de aumentar con la edad (MORALES, 1968).

Una de las causas, por las cuales la madera tiende a aumentar su densidad desde la medula hacia la periferia, es debido a la existencia de un corazón de madera

inmaduro o juvenil presente en la parte central del árbol, donde la madera de primavera está presente en mayor cantidad. Es decir, que existe un corazón de madera juvenil a todo lo largo del árbol, y que las características de esa madera se relacionan estrechamente con la edad (DANIEL *et al.*, 1982). Este tipo de madera se produce por el efecto que ejerce la cercanía de la copa en el cambium (DIAZ – VAZ, 1981). Durante los primeros años de vida todo el fuste está dentro de la copa viva, centro regulador del crecimiento de la madera (DELMASTRO *et al.*, 1980), los factores ambientales van a ejercer su influencia sobre la madera a través de la copa, donde el tamaño de esta y su vigor van a influir directamente sobre el ancho de anillos y por consecuencia en el diámetro de la madera (LARSON 1962, citado por DELMASTRO *et al.*, 1980). Esta influencia se pierde a medida que crece el árbol y la copa se aleja de la zona cambial (DIAZ – VAZ, 1981).

La transición de madera juvenil a madura no está clara y va a depender en gran medida de la especie (DANIEL *et al.*, 1982). Sin embargo, los valores de peso específico presentan un aumento ininterrumpido en los primeros anillos de crecimiento disminuyendo en magnitud hacia los anillos mas externos del fuste (CARDENAS, 1995).

Sin embargo, en árboles jóvenes se ha encontrado una disminución en los primeros centímetros de crecimiento, para luego continuar con su tendencia creciente (NICHOLLS and PEDERICK, 1979; Mc KIMM e ILIC, 1987, citados por PRADO y BARROS, 1989)

Varios autores han determinado que el peso específico aumenta con la edad, señalando que el avance en el tiempo hace que los anillos de crecimiento, a medida que se avanza de medula a corteza, comiencen a estrecharse disminuyendo la cantidad de madera de primavera, permaneciendo constante la cantidad de madera tardía (MORALES, 1968; CONSUEGRA, 1994).

Otro factor que en términos generales afecta el peso específico de la madera son los esquemas de manejo. Se puede decir que una baja densidad de plantación, alta intensidad de raleo o alta fertilización, son sinónimos de alta tasa de crecimiento, es decir, madera con densidad mas baja (GONZALEZ y MOLINA, 1989). Los efectos del espaciamiento y el raleo, sobre las variables de un rodal son muy semejantes, ya que

en ambos casos se afecta la disponibilidad de espacio de crecimiento de cada uno de los árboles (PRADO y BARROS, 1989), cambiando la estructura del rodal favoreciendo el crecimiento de la copa (LARSON 1962, citado por DELMASTRO et al, 1980).

ALERT (2002), en su estudio en *Pinus radiata* D.DON, coincidiendo con lo anterior, encontró que para distintos rodales, la disminución de la densidad del rodal mediante raleos, tiende a disminuir el peso específico de la madera producida después de la intervención. Pero que, sin embargo, esta baja no se mantiene en el tiempo, lográndose recuperar a medida que el árbol crece, debido a la competencia entre individuos por el suelo.

Se supone que a una mayor tasa de crecimiento se debe producir madera de menor densidad. Sin embargo, para el género *Eucalyptus* HILLIS (1978), citado por (PRADO y BARROS, 1989), sostiene que aparentemente la densidad media de un árbol no está influenciada, o muestra una baja correlación con la tasa de crecimiento. Al respecto DANIEL et al., (1982), señala citando trabajos anteriores, que la información existente en la literatura parece un poco confusa, pero que al parecer la tasa de crecimiento no tiene efecto directo sobre el peso específico.

Otro factor que incide directamente sobre el peso específico es la altura, la que ha sido investigada ampliamente por varios autores. IGARTUA et al (2000), citando estudios anteriores concordaron en precisar que para *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* la densidad disminuye desde la base hasta el 15- 20% de la altura del fuste, seguido de ahí de un incremento hasta el ápice. Apreciando como tendencia general el aumento del peso específico a medida que la altura del fuste es mayor. Particularmente sobre *Eucalyptus globulus* se refiere en general a aumentos radiales de la densidad y del espesor de las paredes de los elementos fibrosos, parámetros éstos que axialmente manifiestan magnitudes crecientes desde la base del fuste.

Por su parte, MELO et al (1991), concluyen que para *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* se permite apreciar un aumento de la densidad con la altura, situación opuesta a la observada en *Pinus radiata*. Coincidiendo con esto CONSUEGRA (1994), concluyo que se observa una clara tendencia a aumentar el peso específico con la altura del fuste.

Uno de los factores de mayor responsabilidad sobre el peso específico de la madera, es sin duda la heredabilidad, la que expresa la proporción de la variación en la población que es atribuible a diferencias genéticas entre los individuos; vale decir, es una proporción que indica el grado al cual los progenitores transmiten sus características a su descendencia (ZOBEL y TALBERT, 1988)

El peso específico es una propiedad que en las especies del género *Eucalyptus* presenta bastante heredabilidad, (PRADO y BARROS, 1989) lo que hace a esta propiedad ideal a ser manipulada genéticamente (ROJAS y ESPEJO, 1990).

La posición sociológica dentro del rodal es otro de los factores que afectan el peso específico de la madera. Así se han encontrado que los árboles de estratos inferiores presentan un mayor peso específico que los árboles de estratos superiores (DELMASTRO et al., 1979)

Así como las variables antes mencionadas, la fertilidad del sitio es una variable de gran importancia, la cual puede afectar el peso específico de la madera. Lo que tiene generalmente por consecuencia que en sitios mas fértiles se produzca una disminución de éste, sucediendo lo contrario a la madera de árboles que crecen en sitios deficientes (DELMASTRO et al., 1979).

COWN y Mc CONCHIE (1980), señalan que la posición geográfica también tiene una importante influencia sobre las propiedades de la madera. En Chile PRADO y BARROS (1989), coincidiendo con MELO et al., (1981), señala que en general para el genero *Eucalyptus*, el peso específico varia de norte a sur, aunque manteniéndose en rangos estrechos. Por otro lado DELMASTRO et al., (1979) en su estudio en *Pinus radiata* D. Don señala que existe una correlación negativa entre peso específico y latitud.

### **3.7 PROPIEDADES BIOMÉTRICAS**

Las fibras leñosas son el elemento más común en latifoliadas (ESPINOSA, 1997), son células alargadas, dotadas generalmente de pared gruesa, desempeñan el rol de elementos de sostén, dando resistencia y solidez a la madera, funciones estas directamente relacionadas al espesor de las paredes, longitud, forma de la sección y entrelazamiento de las fibras en el tejido (TORTORELLI, 1940).

Las fibras leñosas contenidas en la madera son la materia básica a partir de la cual se fabrican pasta, papel y cartones en la industria de la celulosa. Las fibras están dispuestas en líneas aproximadamente paralelas donde cumplen la función de resistencia al tallo o tronco (CONSUEGRA, 1994). Las fibras leñosas en latifoliadas constituyen entre el 50 y el 80 % del tejido, dependiendo de la especie. Todas sus propiedades son muy variables y juegan un importante rol (BOUREAU 1957, citado por ULLOA y RALLO, S.A.). Tres características de las fibras son de gran importancia en la fabricación de pulpa y papel: la longitud, el diámetro y el espesor de la pared (PANSWIN, 1970; PRADO y BARROS, 1989).

#### **3.7.1 Longitud de fibra**

La longitud de fibras ha sido extensamente estudiado, desde los trabajos realizados en resinosas, por Sanio en 1872, cuyos postulados son referidos por diversos autores (IGARTUA et al., 2000)

En su forma física, las fibras leñosas pueden ser comparadas con tubos ya que son largas y huecas. Las dimensiones de las células y sus relaciones, desempeñan un rol importante en la determinación de la calidad para la fabricación de papel (LIBBI, 1967).

La longitud de traqueidas ya no es un criterio tan importante que determine la calidad de la madera como lo fue hace algunos años. La necesidad de fibra larga ha disminuido gracias a los avances tecnológicos en la fabricación del papel, pero sin embargo, sigue siendo importante puesto que confiere resistencia a la madera y le da al papel resistencia al rasgado y al doblado (DANIEL et al., 1982). PANSWIN (1970), señala

que la inclusión de fibra corta en la fabricación de pulpa provee uniformidad en las propiedades de resistencia de la hoja.

Las fibras cortas dan papeles y cartones con buenas propiedades mecánicas o de resistencias, aunque se debe tener en cuenta que no se pueden obtener altos valores en resistencia al rasgado con este tipo de pulpas (MOLINA, 1996).

GELDRES (1988), citando a MELO (1973), señala que la longitud de fibras es el factor que controla la resistencia al rasgado de un papel, es decir, a mayores longitudes de fibras se producen papeles con mayores resistencias al rasgado. En general se busca una fibra de mayor longitud para producir una pulpa de mayor resistencia físico – mecánica. Sin embargo, GONZALEZ (1980), señala que al aumentar la proporción de fibra corta en la fabricación de pulpas, el índice de rasgado y el índice de ruptura disminuyen, pero a su vez el volumen específico del papel se ve potenciado.

Generalmente, en los procesos de pulpado son afectadas las propiedades intrínsecas de la madera y de las fibras en particular (PANSHIN, 1970), a su vez GONZALEZ (1980), al respecto, señala que la longitud de fibras se ve afectada por el proceso de refinado.

Para el largo de fibras ESPINOSA (1997), señala rangos establecidos donde las fibras son clasificadas de la siguiente manera:

- Extremadamente cortas hasta 750  $\mu$
- Muy cortas, entre 760 y 1.000  $\mu$
- Cortas, entre 1.100 y 1.500  $\mu$
- Largas, entre 1.600 y 2.000  $\mu$
- Muy largas, mayores a 2.000  $\mu$

LIBBY (1967), señala que los rangos promedios de largos de fibra para coníferas son 3 a 5 mm y para latifoliadas entre 1 y 2 mm.

La longitud de las fibras no es nunca alta en el género *Eucalyptus*, en especies cultivadas en Australia, el promedio de dicha longitud en la madera adulta de diversas especies varía desde 0,7 a 1,4 mm (GONDELLES, 1954), lo cual favorece la

elaboración de ciertos tipos de papeles como son los de impresión y escritura, en los cuales son de gran importancia características como la suavidad, opacidad y lisura de la hoja (CONSUEGRA, 1994).

La variabilidad de la estructura de la madera dentro de una misma especie puede ser ocasionada por factores del medio. Entre ellos se encuentran: clima, altitud, latitud, suelo, además de diferentes tipos de factores bióticos. Todos ellos en conjunto condicionan la nutrición del árbol, afectando el tamaño de las células y la proporción de los respectivos tejidos leñosos (NORMAND, 1972).

En el curso del desarrollo de las formaciones primarias y secundarias del xilema y floema de un mismo individuo, la variación de los elementos verticales de la madera, es evidente, pero discontinuo. Esto se hace mayormente notorio en dicotiledóneas, donde la diferencia de longitud es muy brusca al pasar de los últimos elementos de madera de primavera a los primeros de madera de verano (NORMAND, 1972).

GONDELLES (1954), señala que en especies del género *Eucalyptus*, al igual que en otras especies, se producen cambios en las dimensiones de las células durante los primeros 15 años, sin embargo, estos cambios no solo ocurren en las primeras etapas de la vida del árbol, sino también en años subsiguientes, a consecuencia del aumento del incremento radial, originado por las variaciones en las condiciones de crecimiento.

Según PRADO y BARROS (1989), citando a diversos autores como HILLIS, (1978); NICHOLLS y PEDERICK, (1979) y Mc KIMM e ILIC, (1987), señalan que en eucaliptos, las diferencias de longitud de fibras presentes dentro del árbol pueden ser mayores que las diferencias entre especies del mismo género, donde las mayores diferencias se producen en sentido radial, aumentando la longitud desde la medula hacia la corteza. Al respecto GONDELLES (1954), afirma que, en *Eucalyptus gigantea* y en otras especies del género, que poseen anillos de crecimiento marcados, se producen cambios notables en la longitud y diámetro de las células en cada anillo; por ello, se modifican las propiedades de un anillo de crecimiento a otro y en cada anillo en particular, desde la medula hacia la corteza. Al respecto NORMAND (1972), señala que en *Eucalyptus gigantea* se ha encontrado que las fibras de madera final son alrededor de un 60% más largas que las fibras de madera inicial.

TOMAZELLO FILHO (1985b), citado por DE CASTRO (2002), afirma que como regla general el modelo de variación en sentido radial para árboles del género *Eucalyptus*, se caracteriza por el aumento de las dimensiones de las fibras en los primeros años de crecimiento, estabilizándose estas alrededor de los 10 años.

IGARTUA et al., (2000), estudiando largo de fibras en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*, determinaron que el largo de fibras evolucionó con aumentos desde la médula a la corteza siendo la posición en el radio la única fuente de variación significativa, en coincidencia con lo indicado para el género y la especie. También evidenció una leve tendencia a la estabilización de sus valores en el sentido radial, a partir del 50% de la longitud del radio.

JULIO (1962), citando a RENDLE (1960), señala que la razón por la cual es posible encontrar fibras de una menor longitud en los alrededores de la médula, se debe a que el núcleo central del árbol se haya formado por madera juvenil, caracterizada por el desarrollo de cambios progresivos en las dimensiones, forma y estructura de las células.

Según PRADO y BARROS (1989), citando a diversos autores como HILLIS, (1978); NICHOLLS y PEDERICK, (1979) y Mc KIMM e ILIC, (1987), señalan que el largo de fibras en eucaliptos presenta diferencias aunque menos marcadas a distintas alturas, pero marcando una leve tendencia a aumentar a medida que se incrementa la altura del árbol. IGARTUA et al., (2000), determinaron que la longitud de las fibras evidenció una leve disminución hacia el 30% de la altura comercial para luego aumentar, débilmente, hacia el extremo del fuste, tendencia que resultó más notoria en la madera madura.

CONSUEGRA (1994), observo en su estudio en *Eucalyptus globulus* Labbil un aumento del largo de fibras en las primeras alturas, para luego descender a medida que esta aumenta. Coincidiendo con esto CARDENAS (1995), en su estudio en tres especies exóticas encontró la misma tendencia.

Por su parte JULIO (1963), estudiando largos de fibras en *Populus* observo que en general para el género existe una correlación positiva entre el largo de fibras y la velocidad de crecimiento, pero que al parecer no sería de gran importancia. Otro factor

importante que puede provocar cambios en la longitud de las traqueidas se refiere a las prácticas silviculturales (CARDENAS, 1995).

HILLIS (1978), citado por PRADO y BARROS (1989), señala que en eucaliptos la fertilización produciría una disminución en el largo de fibra y en la densidad, pero que el raleo, en cambio, produciría un efecto contrario. PRADO y BARROS (1989), citando a diversos investigadores, señalan que existe una apreciable relación entre el largo de fibras y las procedencias de especies de *Eucalyptus*.

Así como los factores climáticos y los factores intrínsecos de la madera, la calidad del sitio también es un factor que puede influir directamente sobre la longitud de fibras. Al respecto MORALES (1968), en su estudio variación largo de traqueidas según edad y sitio en plantaciones de *Pinus radiata* D.DON., determinó que existe una relación positiva entre la calidad del sitio y el largo de traqueidas.

COWN y Mc CONCHIE (1980), señalan que existe una importante influencia de la ubicación geográfica del sitio sobre las características propias de la madera, señalando que las maderas provenientes de distintas regiones tienen diferentes potenciales en la fabricación de pulpa y papel.

Por otra parte DANIEL et al., (1982), citando estudios anteriores, señalan que, en general, la longitud de traqueidas y fibras tiende a disminuir de sur a norte. Por su parte MELO et al., (1981) encontró que para *Eucalyptus globulus* sucedía lo contrario.

Un estudio relativo a la influencia de los puntos cardinales sobre el largo de las fibras y traqueidas ha puesto de manifiesto el efecto de la iluminación en los troncos. Las fibras del lado soleado son netamente más cortas que las situadas en el lado, sombrío, con diferencias de 50 micrones en latifoliadas y hasta 350 micrones en coníferas (RICHTER, 1982).

### 3.7.2 Espesor de pared y diámetro de fibras

No solo la longitud de la fibra es importante en la determinación de la calidad de la madera como materia prima industrial; el diámetro y principalmente el espesor de la pared de la fibra también afectan la resistencia y trabajabilidad de la madera, influyendo en varias propiedades de la pulpa y el papel (PANSHIN, 1970; HILLIS 1978, citado por PRADO y BARROS, 1989).

CONSUEGRA (1994), corroborando lo señalado por JULIO (1963), estudiando *Eucalyptus globulus* Labill, señala que existe una alta relación entre la textura de la madera y el peso específico de ésta.

El espesor de las fibras, carácter que tiene suma importancia puesto que contribuye a dar mayor solidez a la madera y esta en directa relación con el diámetro del lumen y el diámetro total de la fibra (TORTORELLI, 1940). ESPINOSA (1997) y TORTORELLI (1940), señalan que para espesor de pared, los rangos establecidos son los siguientes:

- Muy delgadas, lumen  $\frac{3}{4}$  o más del diámetro total de la fibra.
- Delgadas, lumen  $\frac{3}{4}$  -  $\frac{1}{2}$  del diámetro total de la fibra.
- Gruesas, lumen  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{3}$  del diámetro total de la fibra.
- Muy gruesas, lumen menor de  $\frac{1}{3}$  del diámetro total de la fibra.

El espesor de pared varía considerablemente en diferentes especies, donde normalmente se encuentra entre  $2 \mu\text{m}$  y  $6 \mu\text{m}$ , pudiendo a veces salirse de esos límites (METCALFE, 1983). Para el género *Eucalyptus* GONDELLES (1954), señala que las paredes celulares varían desde medianas a gruesas

CONSUEGRA (1994), por su parte, estudiando *Eucalyptus globulus* Labill, encontró variaciones entre 2,51 y 4,86 micrones en el espesor de pared. METCALFE (1983), señala que el espesor de pared va aumentando a medida que se desarrolla la elongación de las fibras, a medida que evolucionan las fibras desde fibro- traqueidas a fibras libriformes y el mismo autor citando estudios anteriores, hace referencia a que el incremento en la pared celular también esta relacionada inversamente con el largo de las fibras.

El espesor de pared generalmente aumenta desde la medula hacia la periferia, pero en algunos casos puede ocurrir lo contrario (METCALFE, 1983). Según ESPINOSA (1997), el diámetro total de las fibras puede ser clasificado de la siguiente manera:

- Estrechas, menos de 24  $\mu$
- Medianas, de 24 a 40  $\mu$
- Anchas, más de 40  $\mu$

METCALFE (1983), señal que el diámetro de fibras para dicotiledóneas se encuentra entre 10 y 50  $\mu\text{m}$ .

Al igual que el largo de fibra, el diámetro de la fibra aumenta desde la médula hacia la corteza, presentando también variaciones a lo largo del fuste (METCALFE, 1983; PRADO y BARROS, 1989).

MARTINEZ y PACHECO (1990), señalan que para *Pinus radiata* creciendo en nuestro país, las características biométricas de las traqueidas (longitud de fibras, espesor de pared, diámetro de fibras y coarseness) aumentan con la edad del árbol.

### **3.7.3 Masa lineal (coarseness)**

El coarseness o masa lineal de fibras es definido como el peso por unidad de longitud expresado en mg x 100 m (o decigramos x 10 km) y llamado decigrex, que se abrevia como dg. (TAPPI T234 cm-84, 1984). La masa lineal se define como la masa de fibras por unidad de longitud. Expresa el peso de una longitud dada de fibras si están colocadas extremo a extremo en un filamento continuo (COCHAUX, 1991).

La masa lineal representa el grosor o delgadez de las fibras. Es una de las propiedades fundamentales que afectan las propiedades del papel, está directamente relacionado con el espesor de las paredes de las fibras, con la longitud y con la densidad de las paredes (COCHAUX, 1991).

El mismo autor, señala que la masa lineal no es un valor constante sino más bien una función dependiente de:

- Tipo vegetal
- Procedencia
- Ritmo de crecimiento
- Posición en el árbol
- Tipo de pulpa
- Estado morfológico de la pulpa.

CARDENAS (1995), en su estudio realizado en tres coníferas, observo que el coarseness de traqueidas muestran una tendencia progresiva, pero un tanto irregular al aumento en los valores promedios del coarseness de traqueidas a medida que aumenta la distancia radial de medula a corteza. El mismo autor revela en forma clara que para el caso de coníferas el coarseness promedio de traqueidas disminuye con la altura del árbol.

FOELKEL (1988), señala que este parámetro es de importancia para las propiedades ópticas, formación de la hoja, refinación y conformabilidad de la hoja (habilidad de las fibras para entrelazarse, ordenarse y ajustarse). Al tener un número mayor de fibras en una pulpa, hay mas interfaces aire – fibras lo que se traduce en una mayor área superficial, lo que a su vez proporciona alta opacidad, alta resistencia y en general mejora considerablemente las propiedades del papel.

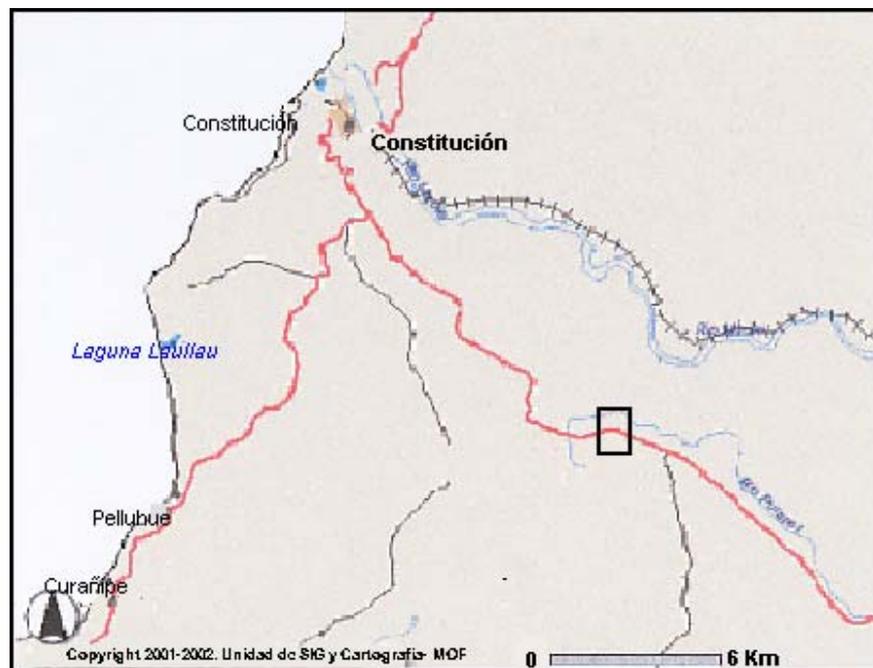
En el ambiente nacional, para este concepto GONZALEZ (2002), sostiene que cada masa lineal es apropiada para calidades de papeles distintos. Por ejemplo un bajo coarseness 5 a 7 dg servirá para papeles de impresión y escritura, un coarseness medio de 8 a 9 dg, para soportes de papeles livianos (LWC) y valores de coarseness sobre 10 dg para la fabricación de papeles sanitarios. Esto en el mercado de fibras cortas.

## 4. MATERIAL Y MÉTODO

### 4.1 MATERIAL

La recolección de muestras en terreno se llevo a cabo en rodales de *Eucalyptus globulus* Labbil de 14 años del Predio Pantanillos propiedad de la Universidad de Chile, ubicado en la zona costera de la VII región del Maule, provincia del Talca, cuya ubicación esta comprendida aproximadamente entre las coordenadas UTM (según carta "Constitución" del IGM): 744.000 y 748.000 metros este-oeste y entre los 6.071.000 y 6.076.000 norte-sur (35°25' Lat. S y 72°18 Lon. O. Dirección de Centros Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile) Proyecto FDI/CORFO Escalamiento de las Técnicas de Producción y Manejo de las Principales Especies de Eucalipto Plantados en Chile. Convenio INFOR – Universidad de Chile.

Figura N° 2. Mapa de Ubicación General



Fuente: SIG de Vialidad. Ministerio de Obras Publicas ([www.vialidad.cl](http://www.vialidad.cl))

El clima de Pantanillo, con influencia marina, es de carácter templado cálido con una precipitación promedio de 1.240 mm al año y con estación seca en verano. El período libre de heladas dura aproximadamente unos 10 meses. El régimen termico del predio se caracteriza por una temperatura máxima promedio de 25,2°C y una mínima promedio de 5,1°C (CESAF, 1999).

En el predio las plantaciones cubren el 56% de la superficie, donde el 45% corresponde a *Pinus radiata*, el 3% a Eucaliptos (*Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus camaldulensis*) y el 8% a ensayos de investigación forestal (CESAF, 1999).

#### 4.1.1 Determinación de las parcelas.

Se eligieron cuatro parcelas de 45 x 45 m cada una, con densidades de plantación de 2 x 2 m y 4 x 4 m, con y sin raleo para cada tipo de espaciamiento. Las parcelas intervenidas han sido sometidas a raleo en dos ocasiones a los 4 y 6 años desde su plantación en 1988.

Cuadro N° 1. Caracterización de las Parcelas

Año Plantación	Parcela	Superficie Parcela ha	Densidad Inicial arb/ ha	1 <sup>er</sup> Raleo 1992 arb/ ha	2 <sup>do</sup> Raleo 1994 arb/ ha	Cosecha arb/ha
1988	1) 2x2, T	0,2	2500	2500	2500	2500
1988	2) 2x2, I	0,2	2500	1500	400	400
1988	3) 4x4, T	0,2	625	625	625	625
1988	4) 4x4, I	0,2	625	300	200	200

T: Testigo.

I.: Intervenido con Raleo.

#### 4.1.2 Elección de las muestras.

Dentro de cada parcela se muestrearon tres árboles con DAP muy similar al valor promedio de la parcela. A cada uno de los árboles se le extrajo una rodela de tres centímetros de espesor a 1,3 metros de altura, de las rodelas obtenidas se sacó una probeta de 1 cm<sup>3</sup> en los anillos 4, 8, 12 y 14 donde se efectuaron las mediciones tanto de peso específico como de características biométricas de las fibras.

Cuadro N° 2. Caracterización de los árboles estudiados.

Parcela	Árbol	Altura total (m)	DAP (cm)
1) 2x2 T	1	28.5	17
	2	27	17
	3	27.5	16.5
2) 2x2 I	4	22.2	17
	5	25.3	16
	6	26.9	17
3) 4x4 T	7	18.3	19
	8	19	18
	9	17.4	19
4) 4x4 I	10	33	28
	11	30	28
	12	28.5	29

Se consideró realizar el estudio en los anillos 4, 8, 12 y 14, ya que las tres primeras edades, son en las cuales se efectúan normalmente las intervenciones silviculturales en un rodal.

## **4.2 METODOLOGÍA**

### **4.2.1 Objetivo específico 1**

#### 4.2.1.1 Peso específico

El peso específico se determinó calculando la razón entre el peso anhidro de la madera por su volumen saturado.

El estado de saturación se obtuvo por inmersión en agua en cámara de vacío, para luego, las probetas ser sumergida en agua por varios días hasta lograr el estado de saturación. El volumen verde se determinó por el método de desplazamiento de agua.

Posteriormente las probetas se secaron en la estufa a 105°C  $\pm$ 1°C por el periodo de tiempo necesario para lograr el peso anhidro estable.

#### 4.2.1.2 Propiedades biométricas

Las fibras se obtuvieron por maceración de pequeñas y delgadas astillas (3mm a 25mm), las cuales fueron extraídas de la probeta mediante cortes realizados con un elemento filoso en el mismo sentido de la fibra, con el fin de dañar las fibras lo menos posible.

Luego las astillas fueron introducidas en tubos de ensayo, los cuales contenían una solución de ácido acético y agua oxigenada (30%) en relación 1:1. En seguida los tubos fueron tapados con algodón, para así ser introducidos a la estufa a 60°C, por dos semanas, agitándolos cada día hasta lograr disgregar las fibras completamente.

Al observar que las fibras ya estaban disgregadas, el contenido de los tubos se colocó en filtros sobre un embudo, donde se lavaron las fibras con agua destilada. Inmediatamente después las fibras lavadas, se colorearon con safranina al 1% acuosa durante cinco minutos para asegurar una buena tinción de los elementos, luego se deshidrataron en alcohol absoluto y posteriormente en xilol.

Las fibras ya teñidas fueron montadas en portaobjetos, a los que se les agregó una gota de bálsamo de Canadá para fijar la muestra.

#### *4.2.1.2.1 Medición de la longitud de fibra.*

Se midieron al azar 25 fibras para cada una de las probetas, con regla milimétrica graduada, mediante la proyección de la muestra en una pantalla con un aumento de 100x.

Figura N° 3. Proyección para medir longitud de fibra.



#### *4.2.1.2.2 Medición espesor de pared, diámetro de fibra y diámetro de lumen.*

Se realizaron 10 mediciones por cada una de las probetas, que es la mínima cantidad de observaciones para este tipo de estudios. Se realizó el mismo método que el utilizado en la medición de largo de fibras. Las mediciones para estas variables fueron realizadas en la parte media de la fibra.

Figura N° 4. Proyección para medir espesor de pared.



## 4.2.2 Objetivo específico 2.

### 4.2.2.1 Masa lineal (Coarseness)

La metodología utilizada estuvo basada en los procedimientos descritos en “TAPPI Test Methods”, volumen n° 2, 1993; publicados por la “Technical Association of the Pulp and Paper Industry”.

La que consiste básicamente en calcular los valores promedios de longitud de fibra, del espesor de pared de la fibra, del diámetro de la fibra. Calcular el número de fibras por  $\text{cm}^2$ , luego las fibras por  $\text{cm}^3$ , luego dividir por el peso específico, lo que va a dar como resultado el peso de las fibras que existen en la probeta y finalmente se calculo el peso para 100 metros de fibras.

### **4.2.3 Objetivo específico 3.**

Este se cumplió determinando el efecto de los tratamientos silviculturales sobre las variables analizadas, comparando su situación antes y después de los raleos, y analizando el efecto que tiene el espaciamiento en el peso específico y en las variables biométricas de la madera de *Eucalyptus globulus*.

Se analizó la evolución del peso específico y de las propiedades biométricas a medida que transcurren los años, midiendo estas propiedades en los anillos 4, 8, 12 y 14. Los valores obtenidos fueron promediados y en función de estos, se establecieron los análisis respectivos.

### **4.2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

A base de los resultados obtenidos de peso específico y de las propiedades biométricas estudiadas en las fibras, se realizó un análisis de varianza para las cuatro parcelas, determinando si existían diferencias significativas entre ellas.

La herramienta utilizada fue un diseño trifactorial de efectos fijos con tres repeticiones. Para cada uno de los factores los niveles son los siguientes:

Factor 1: Tratamiento silvicultural

Nivel 1: con raleo.

Nivel 2: sin raleo.

Factor 2: Espaciamiento.

Nivel 1: 2x2 mts.

Nivel 2: 4x4 mts.

Factor 3: Edad.

Nivel 1: 4 años.

Nivel 2: 8 años.

Nivel 3: 12 años.

Nivel 4: 14 años.

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), para verificar si algunas de las medias comparadas son diferentes entre si. Una vez determinadas las diferencias de las medias, se aplicó la prueba de DUNCAN, para establecer las diferencias significativas entre las medias analizadas en que sus niveles fuesen superiores a dos, en el caso contrario se procedió a realizar una prueba de diferencias de medias (t), para corroborar y determinar qué tratamiento presenta diferencias significativas.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 PESO ESPECÍFICO

Como se ha mencionado anteriormente, el peso específico presenta una alta tasa de variación, ya sea entre especies, dentro de la especie y dentro de un mismo árbol, lo que implica que en la fabricación de pulpa y papel esto toma real importancia, ya que tiene un efecto directo sobre los procesos (ROJAS y ESPEJO, 1990).

Un muy bajo peso específico implicaría lo siguiente:

- Bajo rendimiento en cocción (menos celulosa por volumen de madera consumida).
- Mayor generación de sólidos a quemar lo que implica sobrecargar la caldera recuperadora.
  - Gran generación de finos en el astillado, lo que representa una pérdida significativa.
  - Mayor consumo de reactivos en procesos de blanqueo y cocción debido a que este tipo de maderas es más ácida.
  - Bajos valores en las propiedades físico – mecánicas (ALERT, 2002).

Sin embargo, CONSUEGRA (1994), citando a BUSTAMANTE (1981), señala que existe un criterio extendido de que las pastas fabricadas con maderas de densidades menores, presentan mejores características físicas, lo cual es atribuible al pequeño espesor de las paredes de las fibras. Ello, siempre y cuando el nivel de refinación sea bajo (14-18°SR).<sup>(\*)</sup>

---

<sup>(\*)</sup> Comunicación personal. Ref. Sr. Javier González M. (2003).

Los resultados obtenidos del análisis estadístico para peso específico son los siguientes:

Cuadro N° 3. Análisis de varianza para peso específico.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	Fo	
Trat. Raleo ( A )	0,015	1	0,015	8,604	*
Espaciamiento ( B )	0,016	1	0,016	9,106	*
Edad ( C )	0,139	3	0,046	25,876	*
AB	0,004	1	0,004	2,107	
AC	0,004	3	0,001	0,830	
BC	0,006	3	0,002	1,089	
ABC	0,000	3	0,000	0,052	
Error	0,057	32	0,002		
Total	0,243	47			

\* Significativo al 95%

### 5.1.1 La edad como causa de variación.

Los valores encontrados en este trabajo, apuntan la misma tendencia de variación, que los antecedentes encontrados en la bibliografía. La mayoría de los investigadores, han encontrado en sus trabajos tanto para coníferas y latifoliadas, menores valores de peso específico en las porciones mas cercanas a la médula, debido a la mayor proporción de madera juvenil en esta zona, destacándose un incremento sistemático a medida que se avanza con la edad estabilizándose con la madurez, justificándose esto ultimo por las variaciones en la constitución química y anatómica de la madera con la edad (De CASTRO, 2000).

De los resultados obtenidos en esta memoria, se puede determinar que el peso específico para *Eucalyptus globulus* Labbil, aumenta en forma relativamente notoria desde la médula hacia la corteza, encontrándose esta tendencia en las cuatro parcelas, donde se presenta un incremento alto en los primeros años tendiendo a estabilizarse

hacia los últimos años. Este aumento sistemático de la densidad encontrado en este estudio, concuerda plenamente con trabajos anteriores realizados con esta especie por otros investigadores (CONSUEGRA, 1994; IGARTUA, 2000; DE CASTRO, 2002; MIRANDA *et al.*, 2003).

A continuación se presentan los valores ponderados de peso específico obtenidos para las cuatro parcelas.

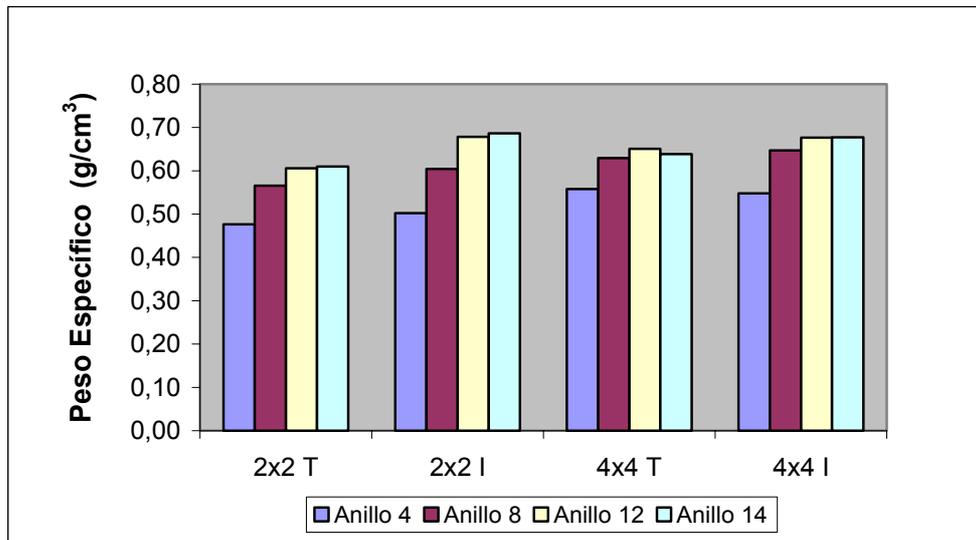
Cuadro N° 4. Valores promedios obtenidos de peso específico en g/cm<sup>3</sup>.

Anillo Tratamiento	4	8	12	14	Promedio
2x2 T	0,476	0,566	0,606	0,610	0,564
2x2 I	0,502	0,604	0,679	0,687	0,618
4x4 T	0,558	0,629	0,651	0,639	0,619
4x4 I	0,548	0,647	0,676	0,677	0,637
Promedios	0,521	0,612	0,653	0,653	
Media Gral.					<b>0,610</b>

Considerándose los valores presentados en el cuadro N° 4, la mayor diferencia encontrada (17,46%) corresponde a la madera de 4 a 8 años de edad, seguida por la variación de 6,7% entre la madera de 8 a 12 años y prácticamente la diferencia entre los 12 y 14 años fue nula. MORALES (1968), señala que este fenómeno se debe a dos factores cuya intervención se hace sentir en forma independiente, por una parte la disminución del ancho del anillo con la edad y la otra al efecto propio de la edad que se refleja en el aumento de la textura y un posible incremento del grosor de las paredes con los años.

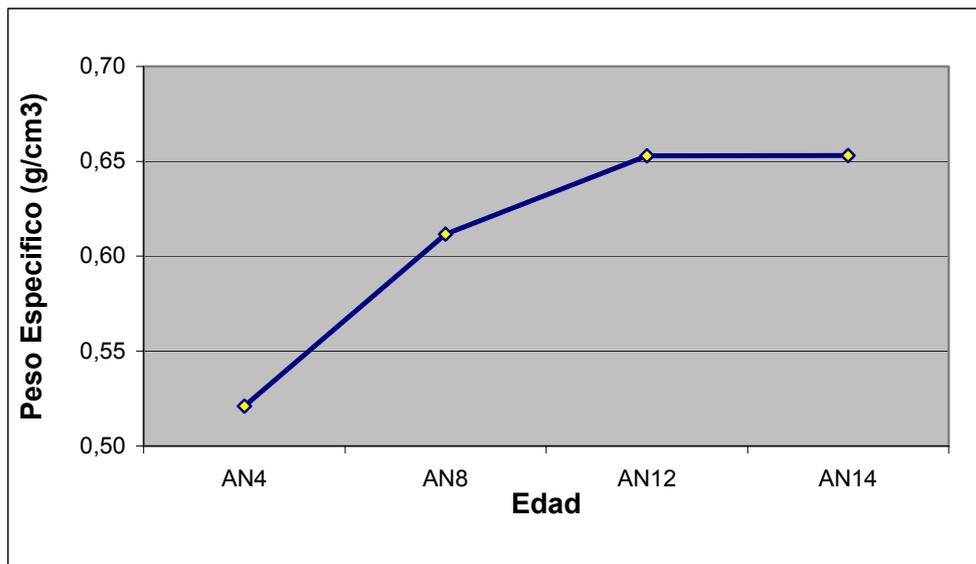
El valor medio de peso específico encontrado para *Eucalyptus globulus* Labill fue de 0,610 g/cm<sup>3</sup>, encontrando que los valores mínimo y máximo para los árboles estudiados, corresponde a 0,530 g/cm<sup>3</sup> y 0,685 g/cm<sup>3</sup> respectivamente.

Gráfico N° 2. Variación del peso específico con la distancia radial de médula a corteza.



Del gráfico N° 2 se puede apreciar que las cuatro parcelas presentan un comportamiento similar en la variación del peso específico, aumentando rápidamente en los primeros años, para estabilizarse en los últimos, lo que coincide perfectamente con los estudios realizados por otros investigadores.

Gráfico N° 3. Variación del peso específico con la distancia radial de médula a corteza.



Del gráfico N° 3 se puede verificar que los menores valores fueron encontrados en la posición más cercana a la médula, donde los valores encontrados en esta zona son totalmente inferiores a la media general. Mediante el análisis de varianzas se pudo establecer que existen diferencias significativas con respecto a la edad y utilizando la prueba de Duncan se logró determinar que para las medias de 12 y 14 años las diferencias son mínimas, ocurriendo todo lo contrario para el resto de las combinaciones con un 95% de confiabilidad.

### **5.1.2 El raleo como causa de variación.**

Los esquemas de manejo en términos generales afectan de manera importante el peso específico de la madera. La bibliografía afirma que una alta intensidad de raleo en Pino insignis influiría positivamente en la tasa de crecimiento lo que traería como consecuencia una disminución en el peso específico en el corto plazo, disminuyendo su efecto para rotaciones largas (COWN, 1974). Sin embargo, para el género Eucalyptus las condiciones de espacio y competencia no parecen influir negativamente en el peso específico (MIRANDA *et al.*, 2003), muy por el contrario, los valores tienden a aumentar.

Concordando con la literatura (PRADO y BARROS 1989, citando a HILLIS, 1978, ), los datos encontrados en este estudio coinciden que la densidad no se vería afectada negativamente para la especie por el efecto de los raleos realizados en el cuarto y sexto año, donde la intensidad del esquema aplicado a los cuatro años disminuyó de 2500 a 1500 arb/ ha en la parcela 2 y de 625 a 300 arb/ ha en la parcela 10, para luego disminuir la densidad de plantación a los seis años a 400 arb/ ha en la parcela 2 y a 200 arb/ ha en la parcela 10, sino por el contrario ya que se puede apreciar una visible diferencia entre las parcelas intervenidas y las parcelas sin intervención, apreciándose un incremento del peso específico en las parcelas raleadas luego de ocurridas las intervenciones.

Gráfico N° 4. Efecto del raleo en el peso específico en parcelas con espaciamiento 2x2.

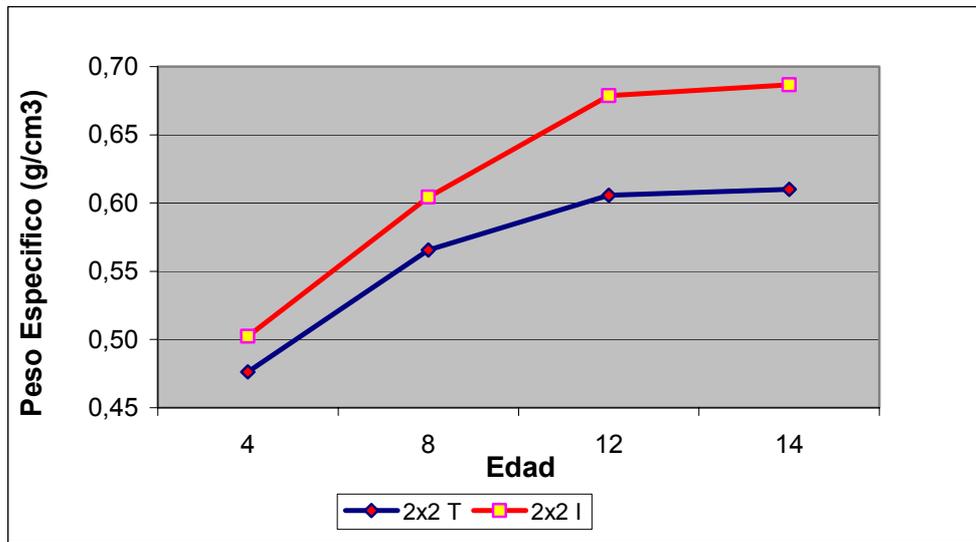
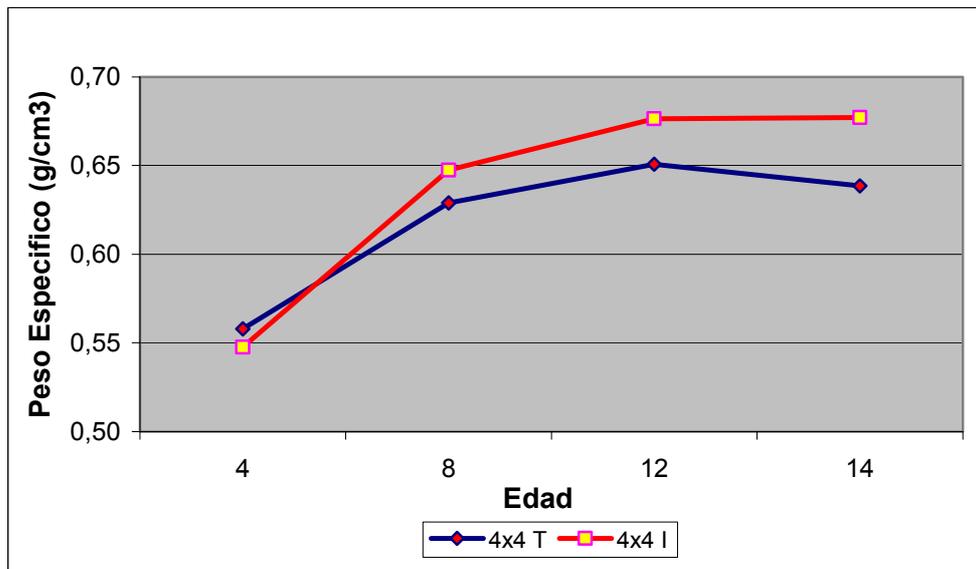


Gráfico N° 5. Efecto del raleo en el peso específico en parcelas con espaciamiento 4x4.



Cuadro N° 5. Valores ponderados obtenidos de peso específico en g/cm<sup>3</sup>.

Anillo Tratamiento	4	8	12	14
S/ Raleo	0,517	0,604	0,630	0,624
C/ Raleo	0,525	0,623	0,676	0,682

Del cuadro N° 5, se puede apreciar que las diferencias de peso específico entre ambos tratamientos van aumentando a tasa decreciente a medida que se incrementa la edad, lográndose la mayor diferencia en el último año estudiado (9,3%).

Mediante un análisis de varianzas se pudo establecer que existen diferencias significativas entre las medias de las parcelas intervenidas y las parcelas testigos, pudiéndose determinar por medio de una prueba de diferencia de medias (t) con una significancia del 5%, que las parcelas con intervención presentan valores superiores a las parcelas no intervenidas, lo que para el caso de *Eucalyptus globulus* concordaría con la bibliografía en que el aumento de espacio y la mejora de las condiciones de crecimiento no afectan negativamente el peso específico (MIRANDA *et al.*, 2003).

De los resultados obtenidos en este ensayo se puede concluir con un 5% de significancia que el tratamiento de raleo influye positivamente sobre el peso específico de la madera de *Eucalyptus globulus* Labbil.

### 5.1.3 El espaciamiento como causa de variación.

El tipo de espaciamiento corresponde a un tratamiento silvicultural que influye fuertemente en el crecimiento del *Eucalyptus globulus*, pero existen muy pocos estudios al respecto, por lo que la información es limitada y controversial (MIRANDA *et al.*, 2003). Los mismos autores estudiando la influencia del espaciamiento sobre las propiedades de la madera de *Eucalyptus globulus* Labbil, determinaron que existe una tendencia del peso específico a aumentar a medida que disminuye la densidad de plantación, encontrando una variación en valores promedios para árboles de 18 años, desde 565 kg/m<sup>3</sup> a 594 kg/m<sup>3</sup> para espaciamientos de 3x2 y 4x5 respectivamente, sin embargo, su estudio no presentó valores estadísticamente significativos. En este

estudio coincidiendo con MIRANDA *et al.*, (2003), se puede apreciar que los valores promedios para las parcelas con espaciamiento 4x4 son superiores a los valores encontrados para las parcelas con espaciamiento de 2x2.

Gráfico N° 6. Efecto del espaciamiento en el peso específico para parcelas no intervenidas.

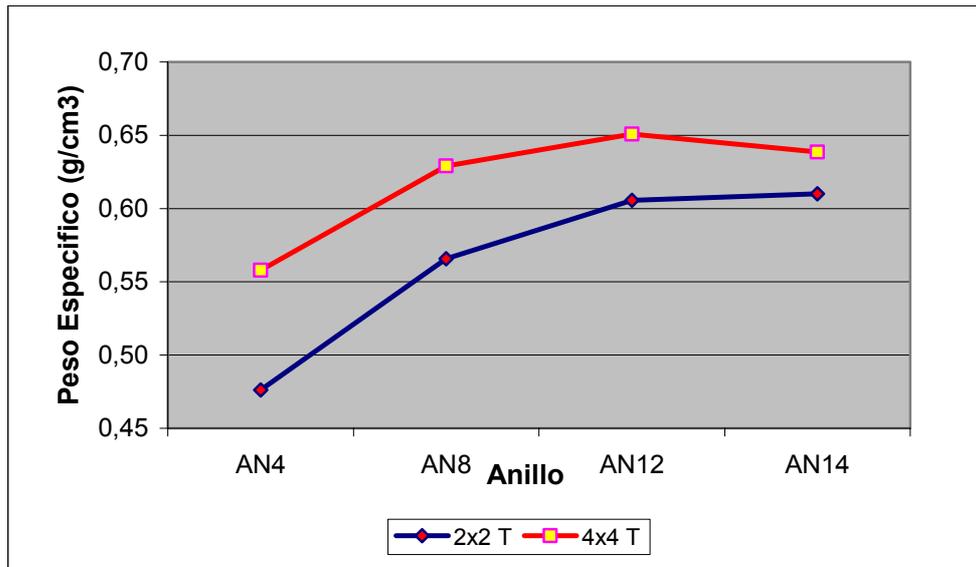
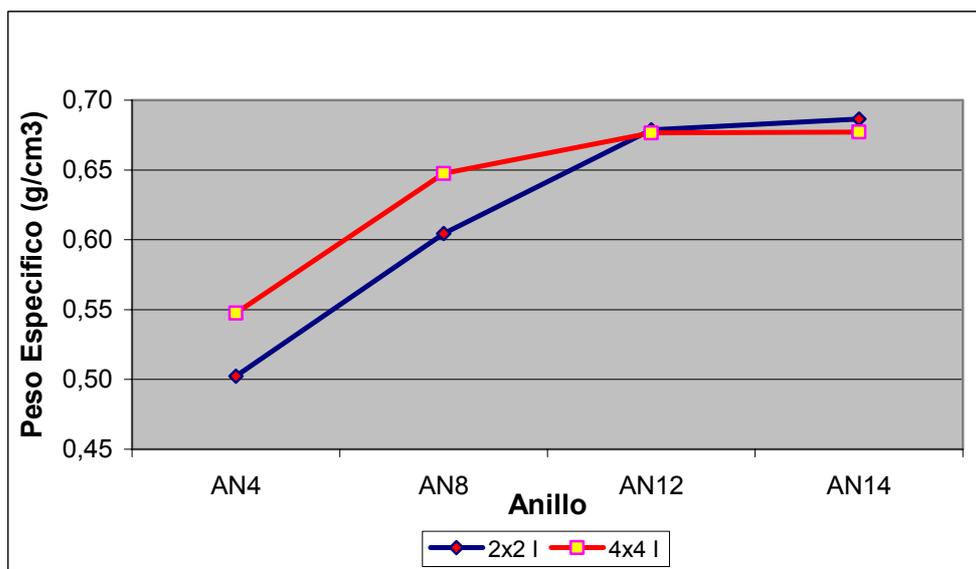


Gráfico N° 7. Efecto del espaciamiento en el peso específico para parcelas intervenidas.



MIRANDA *et al.*, (2003), citando a Wilkins and Horne (1991), señala que estos autores estudiando variación de densidad básica en *Eucalyptus grandis*, determinaron que tratamientos silviculturales que presentan altas tasas de crecimiento están asociados directamente con densidades básicas medias más altas.

Cuadro N° 6. Valores promedios obtenidos de peso específico en g/cm<sup>3</sup>.

Anillo Tratamiento	4	8	12	14
2x2	0,490	0,584	0,644	0,647
4x4	0,552	0,642	0,663	0,659

De los valores presentados en el cuadro N° 6, se puede establecer que las mayores diferencias encontradas entre los tratamientos ocurren en los anillos más cercanos a la médula donde se logran diferencias entre 10 y 13% aproximadamente.

Mediante un análisis de varianzas se pudo establecer que existen diferencias significativas entre las medias de las parcelas con espaciamientos de 2x2 y 4x4 m, pudiéndose determinar por medio de una prueba de diferencia de medias (t) con una significancia del 5%<sup>(\*)</sup>, que las parcelas con espaciamiento de 4x4 m presentan valores superiores en peso específico, a las parcelas plantadas con espaciamiento de 2x2 m, lo que concordaría en parte con los resultados obtenidos por MIRANDA *et al.*, (2003).

Los mismos autores determinaron en su estudio, en *Eucalyptus globulus*, que a mayores espaciamientos los valores de contenidos de extraíbles aumentan, lo que podría explicar lo antes señalado.

De los resultados obtenidos en este ensayo se puede concluir con un 5% de significancia que el aumento de espacio de plantación influye positivamente sobre el peso específico de la madera de *Eucalyptus globulus* Labbil, marcándose las mayores diferencias en los anillos mas cercanos a la médula para estabilizarse luego de los 10 años.

---

(\*) Ver apéndice 1

## **5.2 LONGITUD DE FIBRAS**

Como ha sido determinado anteriormente por distintos autores, la longitud de fibra presenta una alta variación ya sea entre especies como dentro de la misma, lo que genera real importancia por el efecto directo que produce sobre la mayoría de las propiedades del papel.

ALERT (2002), citando a HARRIS (1965), señala que para *Pinus radiata* la correlación de la longitud de fibra con las otras propiedades de la madera hace deseable obtener fibras lo más largas posible ya que estas no sólo son importantes en la producción de papel, sino que también conllevan a ángulos fibrilares y contracciones longitudinales menores. Sin embargo el mismo autor afirma que no existe correlación entre el peso específico y la longitud de fibra.

Para un mismo tratamiento, un mayor peso específico corresponde a una longitud de fibra mayor, ya que esta asociado a una mayor edad. Sin embargo, para tratamientos distintos, por ejemplo, terrenos con pésimo sitio, con baja tasa de crecimiento, peso específico alto, pueden presentarse fibras relativamente mas cortas.<sup>(\*)</sup>

---

<sup>(\*)</sup> Comunicación personal. Ref. Sr. Javier González M. (2003).

Los resultados obtenidos del análisis estadístico para longitud de fibra son los siguientes.

Cuadro N° 7. Análisis de varianza para longitud de fibra.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	Fo	
Trat. Raleo ( A )	0,004122	1	0,00412	1,276	
Espaciamiento ( B )	0,000768	1	0,00077	0,238	
Edad ( C )	0,319078	3	0,10636	32,918	*
AB	0,165487	1	0,16549	51,218	*
AC	0,004661	3	0,00155	0,481	
BC	0,003786	3	0,00126	0,391	
ABC	0,015404	3	0,00513	1,589	
Error	0,103392	32	0,00323		
<b>Total</b>	<b>0,61670</b>	<b>47</b>			

\* Significativo al 95%

### 5.2.1 La edad como causa de variación.

Todos los trabajos de investigación de longitud de fibra realizados anteriormente por diversos autores, coinciden al concluir que esta propiedad aumenta al aumentar su posición en el radio, para el caso particular de *Eucalyptus globulus*, estudios realizados por CONSUEGRA (1994) e IGARTUA (2000), han llegado a la misma conclusión determinando que la longitud de fibra aumenta con la edad notoriamente en los primeros años para luego estabilizarse luego de los 10 años.

En el presente estudio los resultados obtenidos coinciden plenamente con lo mencionado anteriormente, donde la evolución de las fibras presenta la misma tendencia que la encontrada por los autores antes mencionados.

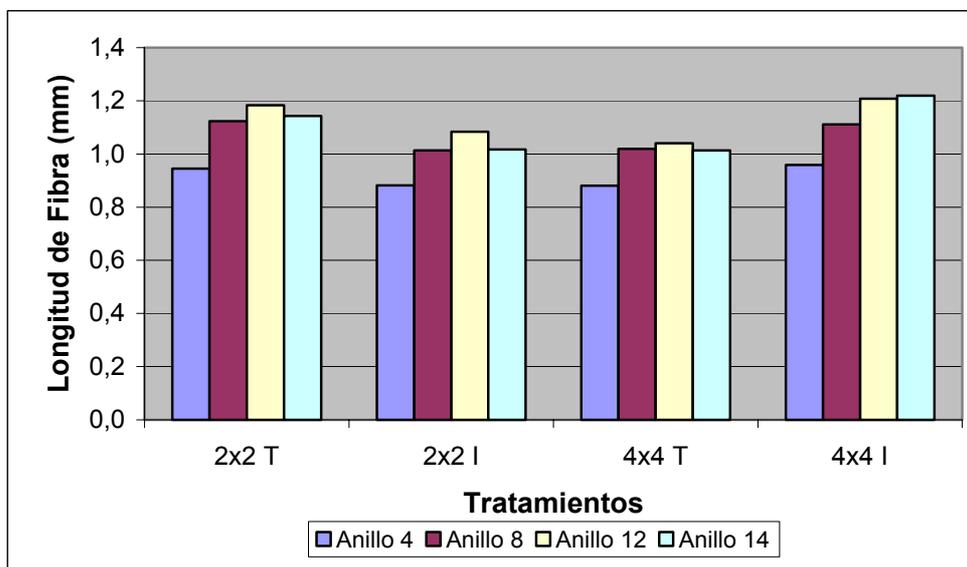
A continuación se presentan los valores promedios de longitud de fibra obtenidos para las cuatro parcelas.

Cuadro N° 8. Valores promedios obtenidos de longitud de fibra en mm.

<b>Anillo</b> <b>Tratamiento</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>Promedio</b>
<b>2x2 T</b>	0,944	1,123	1,183	1,143	1,100
<b>2x2 I</b>	0,882	1,014	1,084	1,017	0,999
<b>4x4 T</b>	0,881	1,019	1,040	1,014	0,989
<b>4x4 I</b>	0,959	1,111	1,208	1,219	1,125
<b>Promedios</b>	0,917	1,069	1,129	1,098	
<b>Media Gral.</b>					<b>1,053</b>

De acuerdo a los valores presentados en el cuadro 8, se puede establecer que la mayor diferencia encontrada corresponde a la madera de 4 a 8 años de edad la cual es de un 14,21%, seguida por la variación de 5,61% entre la madera de 8 a 12 años y ocurriendo la mínima diferencia entre los 12 y 14 años la que alcanza solo a un 2,74%. El valor medio para el largo de fibra fue de 1,053 mm encontrándose los límites ponderados promedios superior e inferior respectivamente de 1,17 mm y de 0,93 mm, con una diferencia del 25,81%. Los datos presentados en la tabla N° 4 evidencian un aumento en la longitud de fibras en función de la edad y principalmente en sentido médula a corteza. Esta situación concuerda plenamente con los resultados obtenidos anteriormente por CONSUEGRA, (1994); IGARTUA, (2000); DE CASTRO, (2002) y MIRANDA *et al.*, (2003).

Gráfico N° 8. Variación de la longitud de fibra con la distancia radial de medula a corteza.

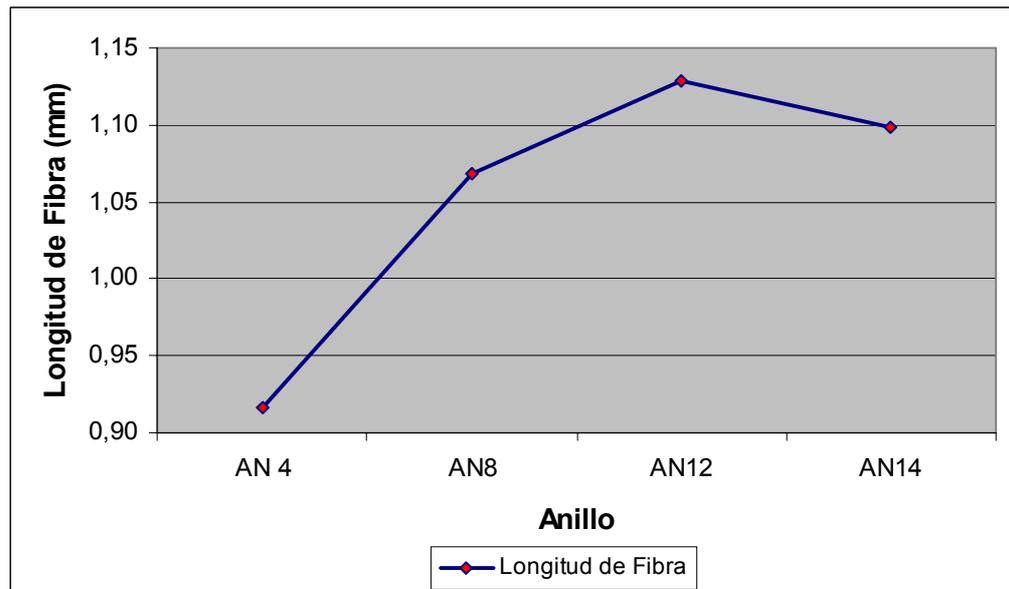


Del gráfico N° 8, se puede observar que las cuatro parcelas muestran la misma tendencia antes mencionada, aumentando claramente la longitud de fibra de médula a corteza para estabilizarse en la zona más cercana a ésta última, lo que es confirmado por el análisis de varianza, mediante el cual se pudo establecer con un 95% de confiabilidad que existen diferencias significativas con respecto a la edad y utilizando la prueba de Duncan se pudo determinar que para esta propiedad todas las medias de las edades presentan diferencias significativas con respecto a la media de cuatro años. Sin embargo la media de doce años no presenta diferencias significativas con la media de catorce años pero sí con la de ocho.

ALERT (2002), citando a DINWOODIE, (1961), señala que la estabilización de la longitud de las fibras se debería posiblemente a una pérdida de vigor en la actividad generadora del cambium originada por la madurez del árbol. En el caso de *Eucalyptus globulus* IGARTUA (2002) en su estudio con esta especie determinó al igual que investigadores anteriores que la estabilización comienza tenuemente a partir del 50% de la longitud del radio. Además el mismo autor citando particularmente a JORGE, (2000) señala que este último encontró esta misma tendencia en árboles de 12 y 15 años, coincidiendo con los resultados obtenidos por MIRANDA *et al.*, (2003). Con respecto a la rapidez de crecimiento CONSUEGRA (1994), señala que en algunas especies

latifoliadas, la elongación post-cambial, que alcanza a veces valores de hasta 400%, no es poco común, de ahí que el largo de fibra podría estar determinado por el tiempo que dura la diferenciación.

Gráfico N° 9. Variación de la longitud de fibra con la distancia radial de médula a corteza.



Del gráfico N° 9, se puede extraer que todas las medias correspondientes a la edad más cercana a la médula presentan valores inferiores a la media general, lo que coincide con lo establecido

### 5.2.2 El raleo como causa de variación.

La influencia que tienen los esquemas de manejo en la longitud de fibra tanto para coníferas como latifoliadas no presenta antecedentes muy claros en la bibliografía más bien algo contradictorios.

Cuadro N° 9. Valores promedios obtenidos de longitud de fibra en mm.

Anillo \ Tratamiento	4	8	12	14	Promedio
S/ Raleo	0,913	1,071	1,112	1,078	1,043
C/ Raleo	0,921	1,062	1,146	1,12	1,062

Del cuadro N° 9, se puede establecer que al no realizarse raleos posteriores a los 8 años, el crecimiento normal del largo de fibra no se vería afectado por las intervenciones realizadas antes de esta edad.

ALERT (2002), concluye en su estudio en *Pinus radiata*, que la densidad residual después del raleo no es un factor que produzca cambios permanentes en la longitud de las fibras, ya que factores mas importantes como la edad y la calidad del sitio son los que principalmente determinan el largo de fibra final.

Gráfico N° 10. Efecto del raleo en la longitud de fibra en parcelas con espaciamiento 2x2.

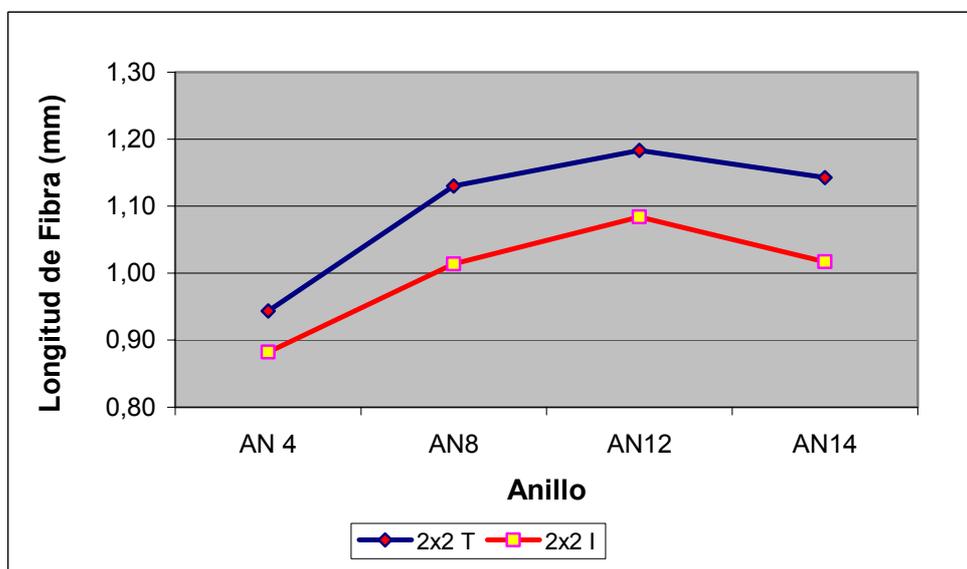
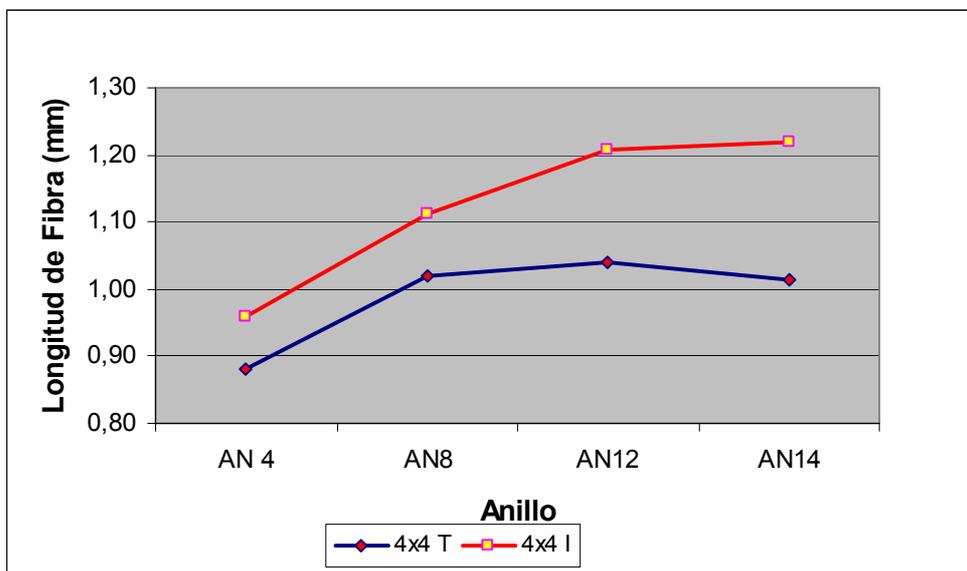


Gráfico N° 11. Efecto del raleo en la longitud de fibra en parcelas con espaciamiento 4x4.



De los gráficos N° 10 y N° 11, se puede inferir que existe una pequeña tendencia a aumentar la longitud de fibra en las parcelas que han sido intervenidas en comparación con las parcelas que no han sido raleadas, lo que impide establecer una tendencia general sobre esta causa de variación.

Sin embargo, del análisis de varianza se puede concluir con un 95% de confiabilidad que los raleos efectuados a los cuatro y seis años, individualmente no afectan significativamente la longitud de fibra, lo que coincidiría con la bibliografía en que no existe una respuesta clara de la longitud de fibra con respecto a los tratamientos silviculturales.

### 5.2.3 El espaciamiento como causa de variación.

En el estudio realizado por MIRANDA *et al.*, (2003), sobre la especie, los autores pudieron determinar que no existe una influencia significativa del espaciamiento con respecto al largo de fibra, lo que coincidiría plenamente con los resultados obtenidos en este estudio.

Gráfico N° 12. Efecto del espaciamiento en la longitud de fibra para parcelas no intervenidas.

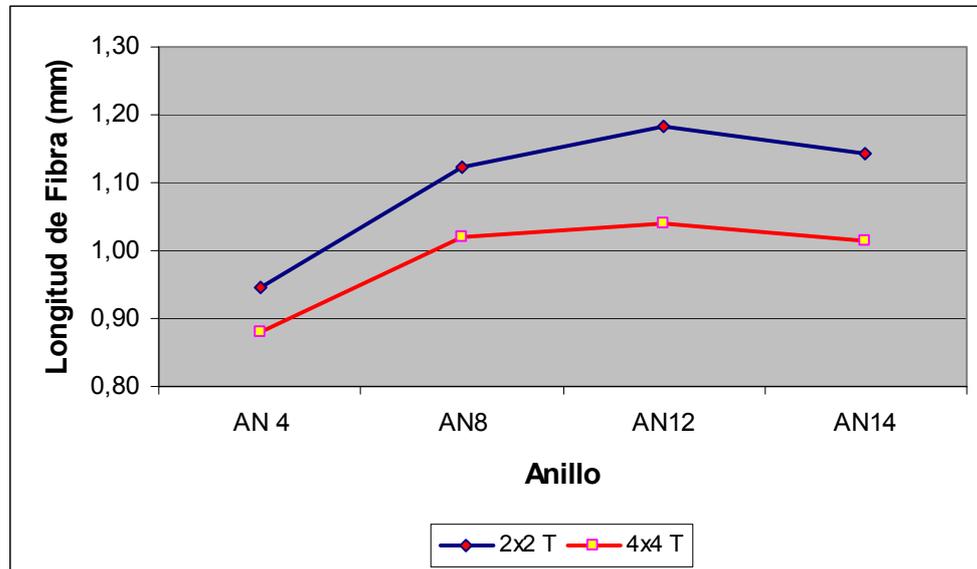
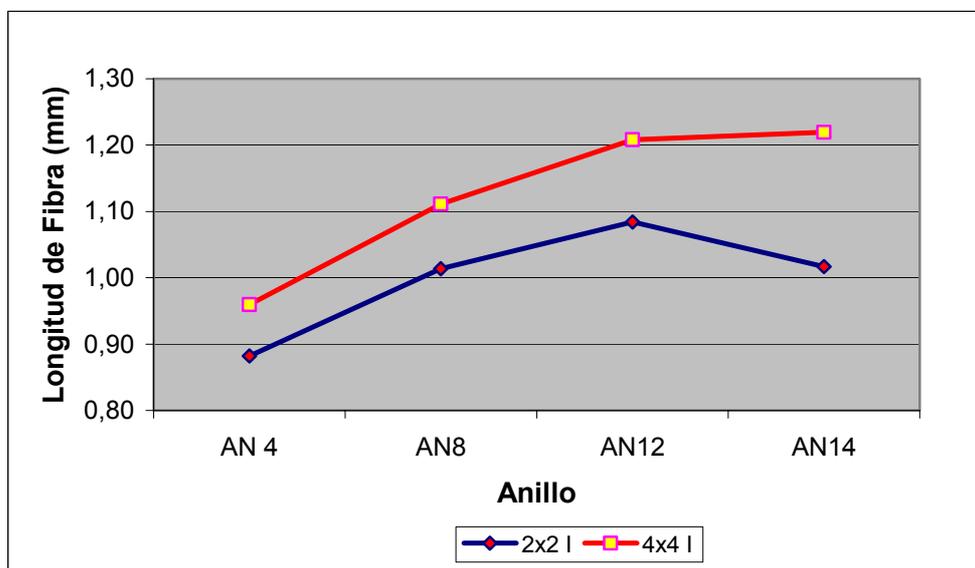


Gráfico N° 13. Efecto del espaciamiento en la longitud de fibra para parcelas intervenidas.



Cuadro N° 10. Valores promedios obtenidos de longitud de fibra en mm.

Anillo Tratamiento	4	8	12	14
	2x2	0,91	1,07	1,13
4x4	0,92	1,07	1,12	1,12

De los valores presentados en el cuadro N° 10, se puede establecer que las diferencias encontradas entre los tratamientos son mínimas, lo que coincidiría tanto con la bibliografía encontrada como con los resultados obtenidos del análisis de varianza, en el cual se obtuvo con un 95% de confiabilidad que el espaciamiento individualmente no tiene efectos significativos sobre la longitud de fibra, ocurriendo lo contrario cuando se combina con tratamientos silviculturales (raleos).

### 5.3 ESPESOR DE PARED

De resultados obtenidos en investigaciones realizadas anteriormente, y como ha sido mencionado en la revisión bibliográfica, se puede establecer que el espesor de pared al igual que las otras características de la madera, presenta variaciones en el árbol y que esta propiedad presenta comportamientos similares al peso específico (CONSUEGRA, 1994; MIRANDA, 2003).

Los resultados obtenidos del análisis estadístico para espesor de pared son los siguientes:

Cuadro N° 11. Análisis de varianza para espesor de pared.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	Fo
Trat. Raleo ( A )	0,20163	1	0,20163	2,976
Espaciamento ( B )	0,00689	1	0,00689	0,102
Edad ( C )	8,15174	3	2,71725	40,105
AB	0,00125	1	0,00125	0,018
AC	0,08630	3	0,02877	0,425
BC	0,07828	3	0,02609	0,385
ABC	0,01356	3	0,00452	0,067
Error	2,16809	32	0,06775	
<b>Total</b>	<b>10,70774</b>	<b>47</b>		

\* Significativo al 95%

#### 5.3.1 La edad como causa de variación.

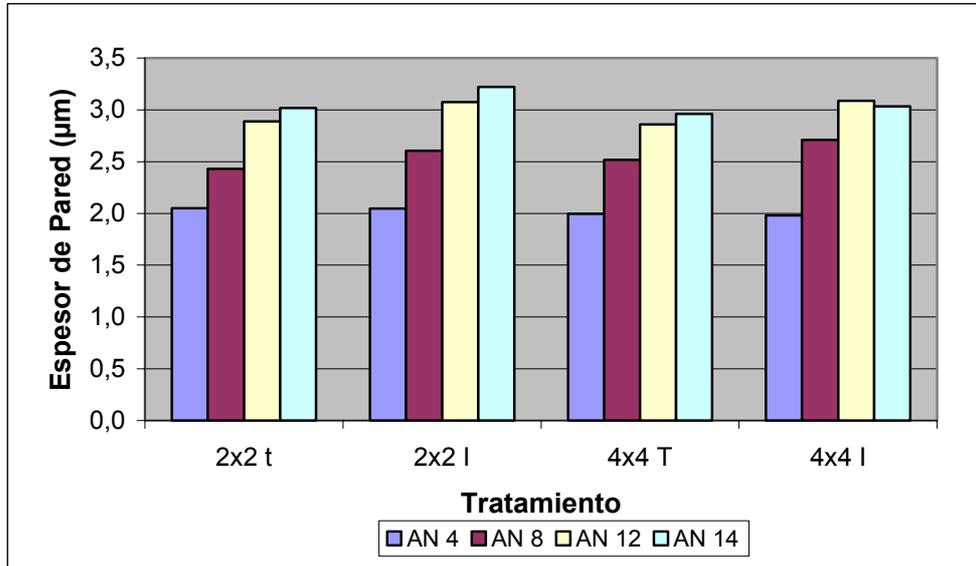
Los resultados obtenidos en esta memoria evidencian un incremento del espesor de pared en función de la edad, lo que concuerda plenamente con los resultados obtenidos por otros investigadores (JULIO, 1963; CONSUEGRA, 1994; De CASTRO, 2002; MIRANDA; 2003), donde los valores obtenidos se encuentran entre los rangos descritos por la literatura.

Cuadro N° 12. Valores promedios obtenidos de espesor de pared en  $\mu\text{m}$ .

Anillo Tratamiento	4	8	12	14	Promedio
2x2 T	2,05	2,43	2,89	3,02	2,60
2x2 I	2,05	2,60	3,07	3,22	2,74
4x4 T	2,00	2,52	2,86	2,96	2,58
4x4 I	1,98	2,71	3,09	3,03	2,70
Promedios	2,02	2,57	2,98	3,06	
Media Gral.					<b>2,65</b>

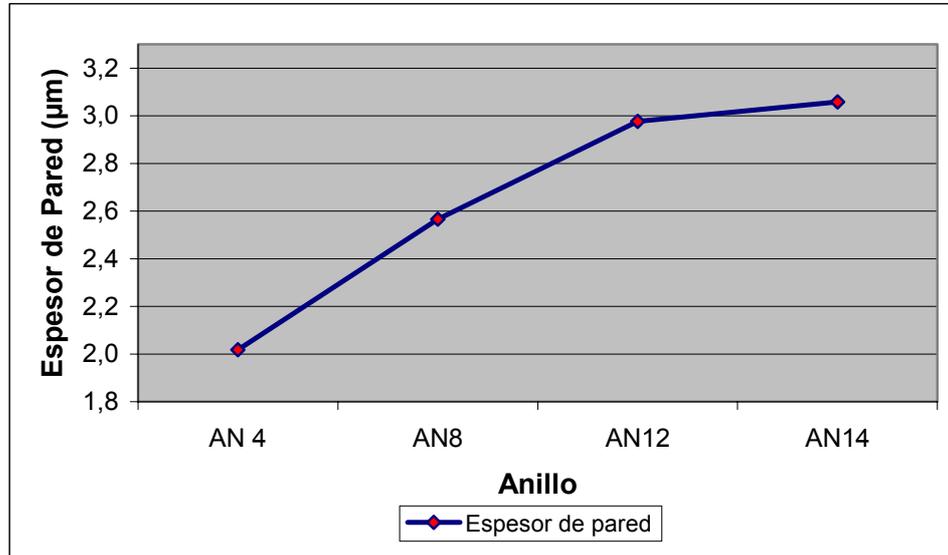
Considerándose los valores presentados en el cuadro N° 12, se puede establecer que el comportamiento del espesor de pared para todas las parcelas es el mismo, aumentando rápidamente en las primeras edades para luego estabilizarse. Del mismo cuadro se puede extraer que las mayores diferencias se presentan en las primeras etapas, donde la mayor diferencia se registra entre la madera de 4 años y la de 8 años (27,23%), seguida por la diferencia que existe entre la de 8 y 12 años (15,95%) y por último la diferencia que se presenta en la última etapa, que es de 2,68%. También se puede observar que para los valores ponderados correspondientes al anillo 4 ningún valor supera la media general. El valor medio para el espesor de pared fue de  $2,65\mu\text{m}$ , encontrándose los valores ponderados promedios, superior e inferior respectivamente de  $2,94\mu\text{m}$  y  $2,38\mu\text{m}$  provenientes ambas de muestras realizadas a la parcela de menor espaciamiento y con intervención. Los valores encontrados se encuentran dentro de los límites descritos en la literatura para dicotiledóneas.

Gráfico N° 14. Variación del espesor de pared con la distancia radial de medula a corteza.



Del gráfico N° 14, se puede corroborar lo antes mencionado, que para todas las parcelas en estudio se presenta el mismo comportamiento con respecto a la edad, donde los menores valores de espesor de pared se encuentran en las zonas más cercanas a la médula, lo que coincide con los resultados obtenidos de la prueba estadística, de la cual se puede concluir con un 95% de confiabilidad, que existen diferencias altamente significativas entre las distintas edades, donde las únicas edades que no presentan esta situación corresponderían a las dos más cercanas a la corteza (12 y 14 años), entre las cuales mediante la prueba de Duncan, se pudo establecer que no existen diferencias significativas entre ellas.

Gráfico N° 15. Variación del espesor de pared con la distancia radial de médula a corteza.



Del gráfico N°15, se puede desprender, el aumento significativo que experimenta el espesor de pared a medida que avanza la edad.

### 5.3.2 El raleo como causa de variación.

De los antecedentes encontrados en la bibliografía, sobre el efecto que tendrían los tratamientos silviculturales en el espesor de pared de fibras, se puede señalar que no existe una información muy clara con respecto a esto, sin embargo, los valores obtenidos en estudios anteriores (MIRANDA, 2003), concuerdan plenamente con los resultados obtenidos en esta memoria.

Cuadro N° 13. Valores promedios obtenidos de espesor de pared en  $\mu\text{m}$ .

Anillo \ Tratamiento	4	8	12	14	Promedio
S/ Raleo	2,023	2,474	2,873	2,989	2,590
C/ Raleo	2,013	2,657	3,081	3,127	2,719

Del cuadro N° 13, se puede establecer que al no realizarse raleos posteriores a los 8 años, el crecimiento normal del espesor de pared de fibras no se vería afectado por las intervenciones realizadas antes de esta edad.

Gráfico N° 16. Efecto del raleo en el espesor de pared en parcelas con espaciamiento 2x2.

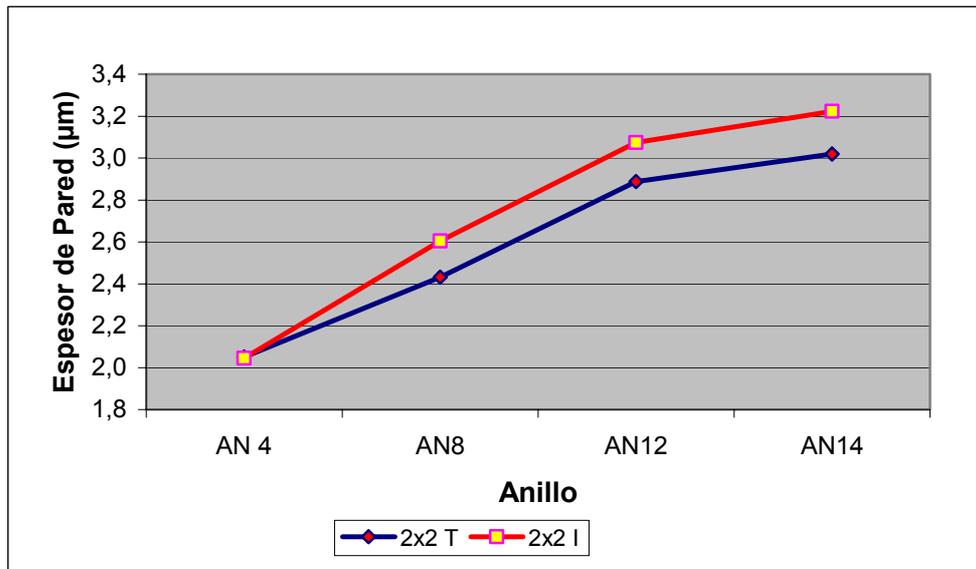
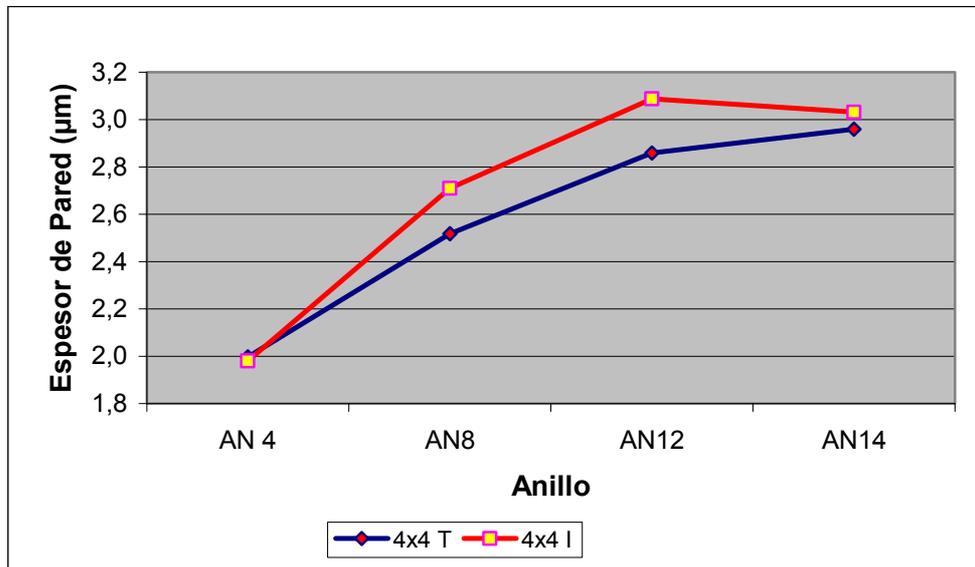


Gráfico N° 17. Efecto del raleo en el espesor de pared en parcelas con espaciamiento 4x4.



De los gráficos N° 16 y N° 17, se puede desprender que existe una pequeña tendencia al aumento del espesor de pared, en las parcelas que han sido sometidas a raleo, en comparación con las parcelas no intervenidas, pero este aumento estadísticamente no es significativo al 95% de confiabilidad. Con lo que se puede concluir que el espesor de pared no se vería afectado por las intervenciones silviculturales aplicadas.

### 5.3.3 El espaciamiento como causa de variación.

Como se mencionaba en el ítem anterior, con respecto a la influencia de los tipos de manejo aplicados a plantaciones de Eucalyptus en el desarrollo del espesor de pared, la información en la literatura no es muy clara. La poca información disponible coincide plenamente con los resultados obtenidos en este estudio (MIRANDA, 2003).

Cuadro N° 14. Valores promedios obtenidos de espesor de pared en  $\mu\text{m}$ .

Anillo \ Tratamiento	4	8	12	14
2x2	2,048	2,518	2,981	3,120
4x4	1,989	2,613	2,973	2,995

De los valores presentados en el cuadro N° 14, se puede establecer que las diferencias encontradas entre los tratamientos son mínimas, lo que coincidiría tanto con la bibliografía encontrada como con los resultados obtenidos del análisis de varianza, en el cual se obtuvo con un 95% de confiabilidad que el espaciamiento no tiene efectos significativos sobre el espesor de pared.

Gráfico N° 18. Efecto del espaciamiento en el espesor de pared de fibras para parcelas no intervenidas.

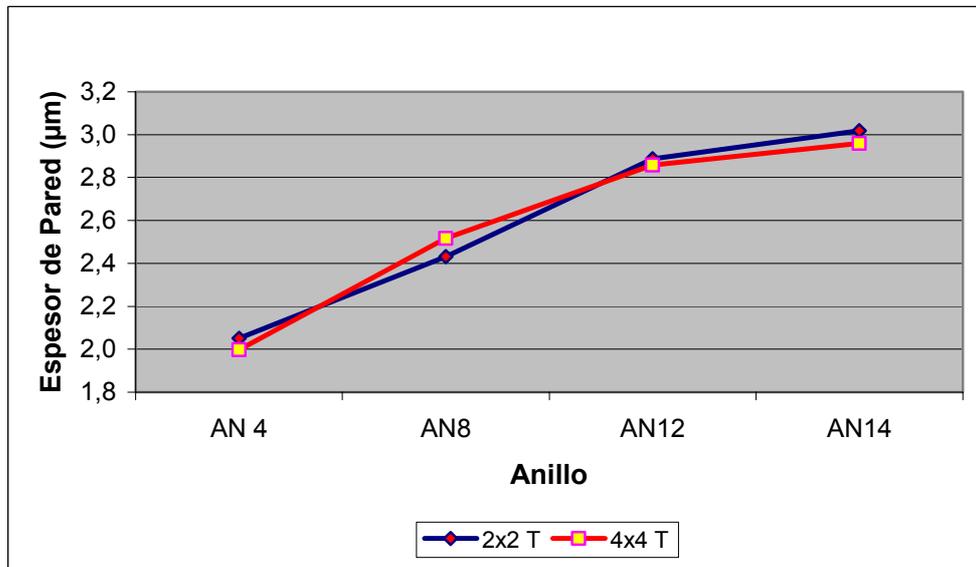
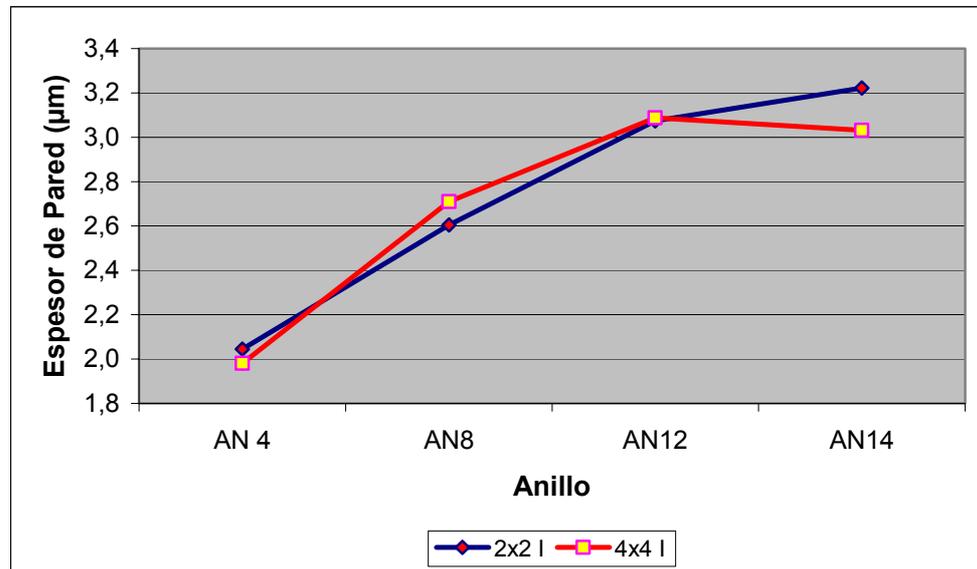


Gráfico N° 19. Efecto del espaciamiento en el espesor de pared de fibras para parcelas intervenidas.



De los gráficos N° 18 y N° 19, se puede inferir que el desarrollo del espesor de pared no presenta marcadas diferencias entre las parcelas con mayor espaciamiento y las parcelas con mayor densidad de plantación, lo que esta totalmente en paridad con los resultados obtenidos estadísticamente.

## 5.4 COARSENESS

La masa lineal de fibras o coarseness, al igual que las otras propiedades de la madera presenta variaciones dentro del árbol (COCHAUX ,1991), situación que ha sido corroborado en el presente estudio, ya que, esta variable presento comportamientos similares a los establecidos por otros autores (FOELKEL, 1988; CARDENAS, 1995), donde todos los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos descritos para el género y la especie por FOELKEL, (1988),

Los resultados obtenidos del análisis estadístico para coarseness son los siguientes:  
Cuadro N° 15. Análisis de varianza para espesor de pared.

Fuente de Variacion	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	Fo	
Trat. Raleo ( A )	0,10222	1	0,10222	0,117	
Espaciamiento ( B )	4,06209	1	4,06209	4,653	*
Edad ( C )	52,35532	3	17,45177	19,992	*
AB	0,01355	1	0,01355	0,016	
AC	7,84115	3	2,61372	2,994	*
BC	1,25514	3	0,41838	0,479	
ABC	0,57780	3	0,19260	0,221	
Error	27,93348	32	0,87292		
<b>Total</b>	<b>94,140738</b>	<b>47</b>			

- Significativo al 95%

### 5.4.1 La edad como causa de variación.

Los valores obtenidos en el presente estudio, marcan claramente la tendencia de incrementar el coarseness a medida que se avanza de medula a corteza, lo que estaría completamente de acuerdo con los resultados obtenidos por CARDENAS, (1995), en su estudio realizado en tres tipos de coníferas y confirmando lo establecido por la literatura, en que esta propiedad estaría estrechamente relacionada con las demás propiedades biométricas de la madera (COCHAUX, 1991).

Cuadro N° 16. Valores promedios obtenidos de coarseness en dg.

Anillo / Tratamiento	4	8	12	14	Promedio
2x2 T	7,144	8,014	8,120	10,637	8,479
2x2 I	7,205	8,074	10,253	9,288	8,705
4x4 T	6,099	7,469	7,922	9,540	7,758
4x4 I	6,501	7,733	9,124	8,265	7,906
Promedios	6,737	7,823	8,855	9,432	
Media Gral.					<b>8,212</b>

Del cuadro N° 16, se puede inferir que el comportamiento del coarseness, presenta una tendencia progresiva a aumentar desde las zonas más cercanas a la medula hacia la corteza, estabilizándose estos valores en las zonas más periféricas.

Considerándose los valores del mismo cuadro, se puede extraer que las diferencias más significativas se presentan en la zona de menor edad entre los 4 y 8 años (16,12%), seguida por la diferencia establecida entre los 8 y 12 años (13,19%) y finalmente por la diferencia que existe entre los 12 y 14 años, la que es de 6,52%. También del mismo cuadro, se puede desprender que los valores ponderados correspondientes a los anillos 4 y 8 no superan en ninguna situación la media general encontrada para todas las observaciones.

El valor medio encontrado para coarseness de *Eucalyptus globulus* Labill, fue de 8,21 dg, encontrándose los valores ponderados extremos para los arboles estudiados, máximo y mínimo respectivamente de 9,57 dg y de 7,40 dg.

Gráfico N° 20. Variación del coarseness con la distancia radial de médula a corteza.

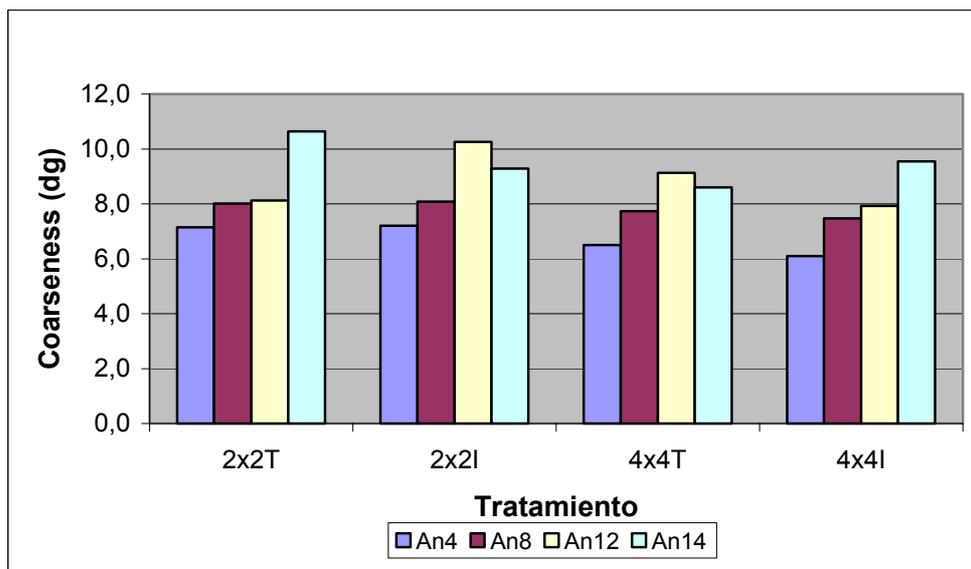
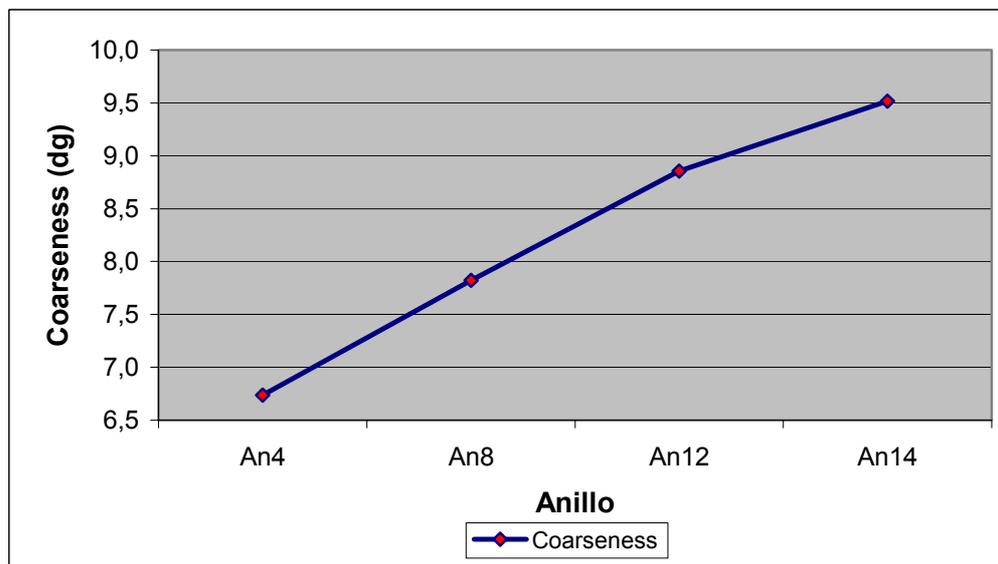


Gráfico N° 21. Variación del coarseness con la distancia radial de médula a corteza.



Los antecedentes antes mencionados, pueden ser inferidos de los gráficos N° 20 y N° 21, en donde se manifiesta claramente la tendencia que sigue el coarseness en el transcurso del tiempo.

Del análisis estadístico, se pudo determinar con un 95% de confiabilidad que para el coarseness existen diferencias significativas con respecto a la edad y utilizando la prueba de Duncan se logro establecer que para las edades mas cercanas a la corteza (12 y 14 años), no hay diferencias relevantes entre si.

#### 5.4.2 El raleo como causa de variación.

A continuación se presentan los valores ponderados para las parcelas sin intervención y las parcelas raleadas respectivamente.

Cuadro N° 17. Valores promedios obtenidos de coarseness en dg.

<b>Anillo</b> <b>Tratamiento</b>	<b>4</b> <b>(s/ Raleo)</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>Promedio</b>
<b>S/ Raleo</b>	6,853	7,904	9,689	8,777	8,305
<b>C/ Raleo</b>	6,622	7,742	8,021	10,088	8,118

Del cuadro N° 17, se puede establecer que al no realizarse raleos posteriores a los 8 años, el coarseness no se vería afectado por las intervenciones realizadas antes de esta edad. Lo que concuerda con los resultados obtenidos del análisis estadístico.

Gráfico N° 22. Efecto del raleo en el coarseness en parcelas con espaciamiento 2x2.

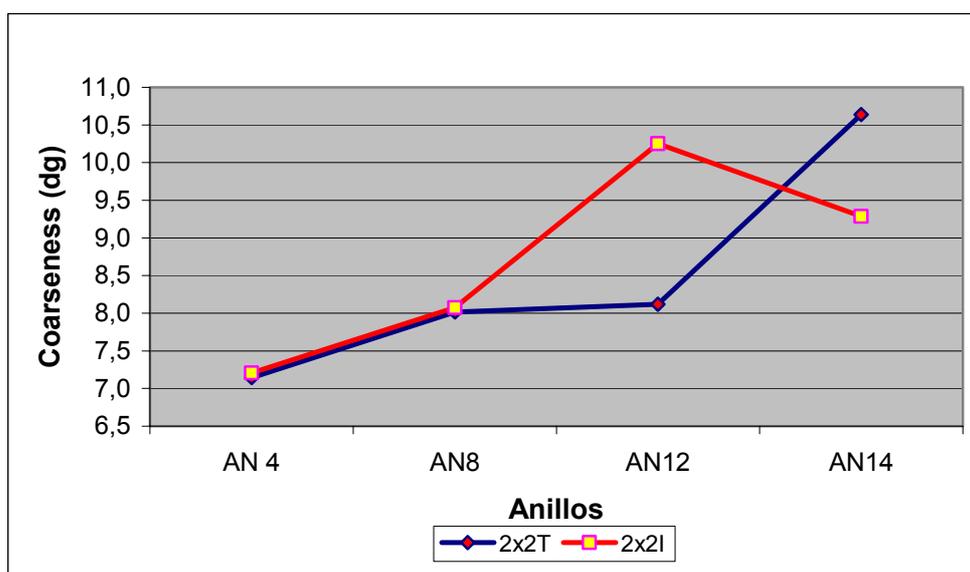
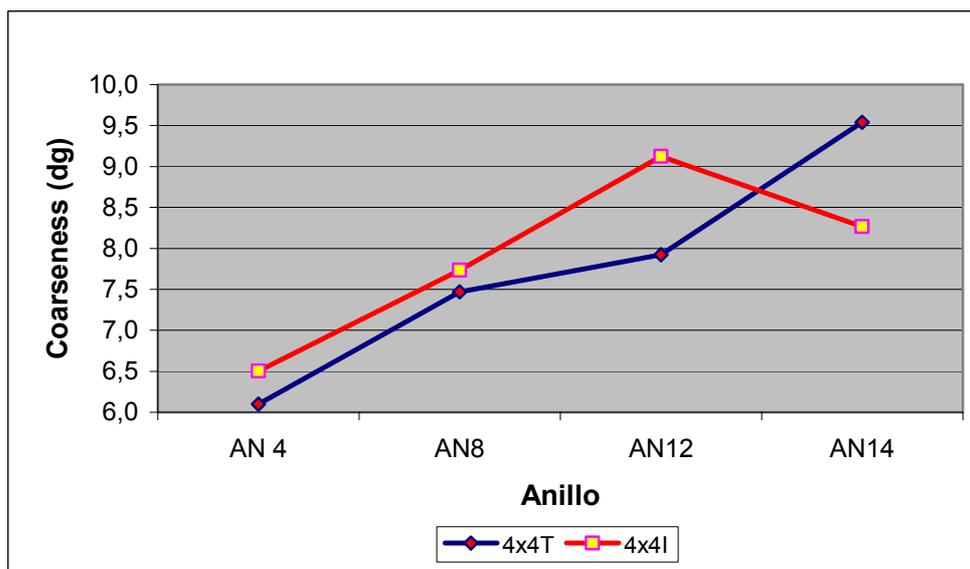


Gráfico N° 23. Efecto del raleo en el coarseness en parcelas con espaciamiento 4x4.



De los gráficos N° 22 y N°23, se puede inferir que las parcelas raleadas presentan mayores valores de coarseness, que las parcelas testigo, pero estadísticamente esta diferencia no es significativa, ya que el comportamiento de esta variable para las distintas parcelas es un tanto irregular, lo que puede estar sujeto a otras causas.

Del análisis estadístico se puede concluir con un 95% de confiabilidad, que el raleo individualmente no afecta significativamente al coarseness.

### 5.4.3 El espaciamiento como causa de variación.

Los resultados obtenidos con respecto a la variación que experimenta el coarseness entre las parcelas con distinta densidad de plantación, presentan una tendencia contraria a lo ocurrido con las otras variables, ocurriendo en esta una pequeña inclinación a entregar valores mayores para las parcelas con el menor espaciamiento, lo que implicaría, que con los manejos de plantación se podría orientar de una mejor manera la materia prima para los distintos papeles requeridos.

Cuadro N° 18. Valores promedios obtenidos de coarseness en dg.

Anillo \ Tratamiento	4	8	12	14	Promedios
2x2	7,174	8,044	9,186	9,962	8,592
4x4	6,300	7,601	8,523	8,903	7,832

De los valores presentados en el cuadro N° 18, se puede visualizar claramente lo antes mencionado, corroborando esto, los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico, en donde se obtuvo con un 95% de confiabilidad que el espaciamiento afecta negativamente el coarseness o masa lineal de fibras.

Gráfico N° 24. Efecto del espaciamiento en el coarseness en parcelas no intervenidas.

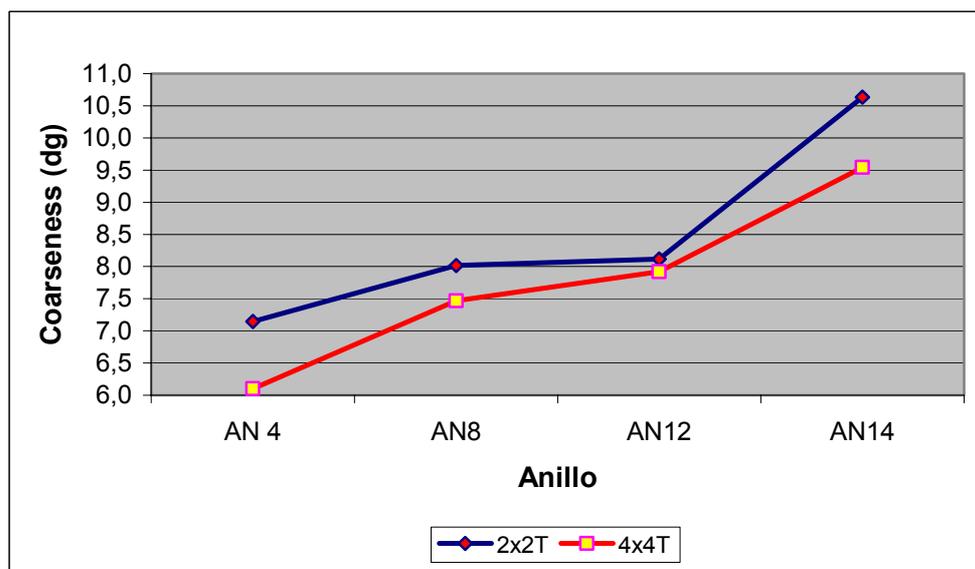
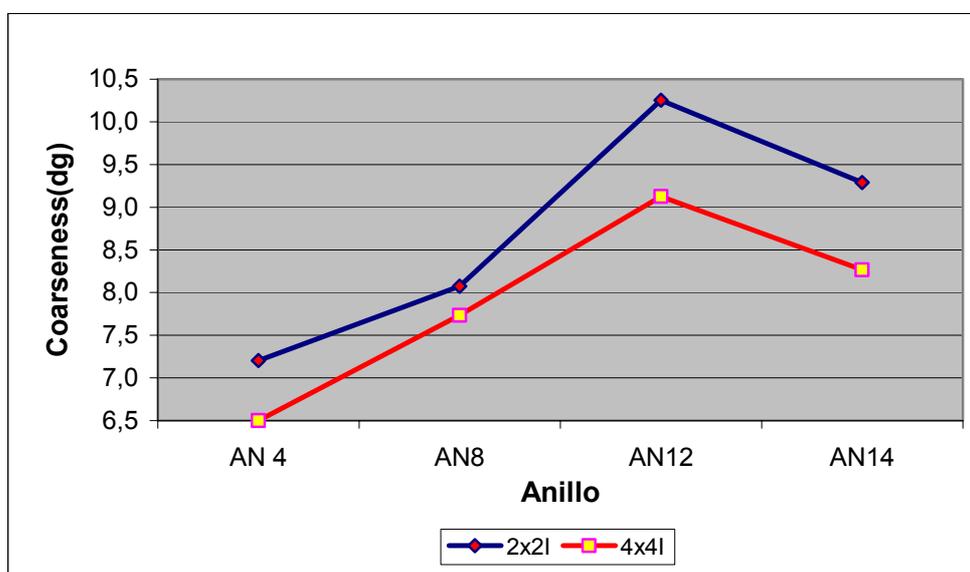


Gráfico N° 25. Efecto del espaciamiento en el coarseness en parcelas intervenidas.



De los gráficos N° 24 y 25, se pueden verificar los resultados obtenidos en este ítem, en donde se puede apreciar una clara superioridad de las parcelas con mínimo espaciamiento.

## **6. CONCLUSIONES**

### **6.1 DEL PESO ESPECÍFICO**

Se pudo observar que el peso específico de la madera de *Eucalyptus globulus* Labill, estudiada en esta memoria fluctúa entre  $0,530 \text{ g/cm}^3$  y  $0,685 \text{ g/cm}^3$ , presentando un valor medio de  $0,610 \text{ g/cm}^3$ .

Se observa que existe una notoria tendencia del peso específico a aumentar con la edad, obteniéndose los mayores incrementos en las etapas más cercanas a la médula, estabilizándose a medida que se acerca a la corteza.

Se observa una tendencia de que el peso específico aumenta a medida que se favorecen las condiciones de crecimiento. Por lo que se puede concluir que existe una tendencia significativa, de que con mayores espaciamientos y con aplicación de raleos, se favorece el peso específico.

### **6.2 DE LA LONGITUD DE FIBRAS**

La longitud de fibra ponderada promedio fluctúa para los árboles estudiados en esta memoria entre  $0,93 \text{ mm}$  y  $1,17 \text{ mm}$ , siendo la media para todos los árboles de  $1,053 \text{ mm}$ .

En este estudio se corroboran los antecedentes mencionados en la bibliografía, en que el largo de fibra aumenta con la edad.

No se observa influencia significativa de los esquemas de manejo individualmente en el largo de fibra, sin embargo la combinación de raleo y espaciamiento es estadísticamente significativa.

### **6.3 DEL ESPESOR DE PARED**

El espesor de pared ponderado promedio para los árboles, fluctúa entre 2,38  $\mu\text{m}$  y 2,94  $\mu\text{m}$ , presentándose un valor promedio para todos los árboles estudiados de 2,65  $\mu\text{m}$ .

Se observa una marcada tendencia a aumentar con la edad, disminuyendo las diferencias a medida que se avanza en el radio para estabilizarse en las zonas más cercanas a la corteza.

No se observan influencias directas significativas ni del espaciamiento ni de las intervenciones silviculturales en el desarrollo de esta propiedad.

### **6.4 DE LA MASA LINEAL (Coarseness)**

El coarseness para los árboles estudiados se encuentra entre 7,40 dg y 9,57 dg, siendo el promedio para todos los individuos de 8,212 dg.

Se observa una clara tendencia de aumentar esta propiedad con la edad, lo que en parte es esperado ya que esta propiedad depende de las otras variables estudiadas.

Existe un efecto directo del espaciamiento sobre esta propiedad, disminuyendo ésta a mayor espacio de plantación.

Se observa una pequeña influencia de la combinación entre edad y raleo, especificando que las muestras provenientes de las parcelas intervenidas y de los anillos más externos se presentan diferencias estadísticamente significativas con el resto de las observaciones.

De los resultados obtenidos en este trabajo se puede establecer, que para efectuar raleos comerciales con fines pulpables, lo ideal es realizar las intervenciones después de los ocho años (9 años), ya que generalmente éstas se realizan entre los 4 y 9 años, luego de esta edad los valores de peso específico, longitud de fibra, espesor de pared y coarseness se empiezan a estabilizar. Además que se obtienen buenos rendimientos volumétricos.

Por otra parte se puede concluir que la mejor combinación de las propiedades antes mencionadas, se obtiene con menor densidad de plantación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**ALERT, C. 2002.** Influencia de los Esquemas de Manejo en el Peso Específico y Largo de Fibra en Madera de *Pinus radiata* (D. Don). Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 66 p.

**CARDENAS, M. 1995.** Determinación de Patrones de Variación en Peso Específico, Longitud y Coarseness de Traqueadas en Tres Especies Exóticas Crecidas en la Reserva Forestal de Malleco, Sector Los Guindos. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 115 p.

**CESAF. 1999.** Principales Sectores de Obtención de Semillas. [ en línea ].  
<[http://www.uchile.cl/facultades/cs\\_forestales/publicaciones/cesaf/n9/6.html](http://www.uchile.cl/facultades/cs_forestales/publicaciones/cesaf/n9/6.html)>  
Consulta: [07 de Agosto del 2003].

**CLARK, J. 1962.** d' A., Tappi 45 (8) : 628

**COCHAUX, A. 1991.** ¿Que decir de la masa lineal de las fibras? Revisión Bibliográfica. Laboratorio GP2. Física del Papel. INP Grenoble. URA CNRS.

**CONSUEGRA, R. 1994.** Caracterización del *Eucalyptus globulus* (Labill) Como Materia Prima Pulpable. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 93 p.

**CORMA. 1999.** Chile, País Forestal. *Eucalyptus globulus* Labill. [ en línea ].  
<[http://www.corma.cl/chile\\_pais\\_forestal/eucalip.html](http://www.corma.cl/chile_pais_forestal/eucalip.html)> Consulta: [28 de Julio del 2003].

**CORMA. 2002.** Chile, País Forestal. [ en línea ].  
<<http://www.cormachile.cl/pabellon%20forestal/estadisticas.htm>>  
Consulta: [28 de Julio del 2003].

**COWN, D. 1974.** Comparison of the Effect of two thinning regimes on some wood properties of *Radiata pine*. New Zealand Journal Of Forestry Science. 4 (3) : 540 – 551.

**COWN, D. 1980.** A Note on the Estimation of Basic Density of Fresh Woods Chips. New Zealand Journal of Forestry Science. 10 (3) : 502 – 503.

**COWN, D. and Mc CONCHIE, D. 1980.** Wood Properties in an old crop stand of *Radiata pine*. New Zealand Journal of Forestry Science. 10 (3) : 509 – 520.

**DANIEL, P. HELMS, U. y BAKER, F. 1982.** Principios de Silvicultura. Traducido de la Segunda Edición Inglesa por Ramón Elizondo Mata. Mc Graw – Hill. Mexico, D.F. 492 p.

**DE CASTRO, J. 2002.** Caracterização da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden de Diferentes Idades, Visando a Sua Utilização na indústria moveleira. Tese Doutor em Ciências Florestais. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Brazil. 181 p.

**DELMASTRO, R.; DIAZ – VAZ, J. SCHLATTER, J. 1979.** Variabilidad de las Características Tecnológicas Hereditarias del *Pinus radiata* D.DON. Fase I. Revisión Bibliográfica. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal, Serie Técnica, Informe de Convenio N° 2 CONAF/ PNUD/ FAO. 156 p.

**DELMASTRO, R.; DIAZ – VAZ, J. SCHLATTER, J. 1980.** Variabilidad de las Características Tecnológicas Hereditarias del *Pinus radiata* D.DON. Revisión Bibliográfica. Documento de Trabajo N° 34. Proyecto CONAF/ PNUD/ FAO/ CHI/ 76/ 003. 157 p.

**DELMASTRO, R.; DIAZ – VAZ, J. SCHLATTER, J. 1982.** Variabilidad de las Características Tecnológicas Hereditarias del *Pinus radiata* D.DON. Documento de Trabajo N° 43. CONAF/ PNUD/ FAO/ CHI/ 76/ 003. 89 p.

**DIAZ – VAZ, J. 1981.** Delimitación de Madera Temprana – Tardía y Juvenil – Madura en Pino oregon. Bosque. 4 (1) : 55 -58.

**ESPINOSA, M. 1997.** Estudio de Algunas Propiedades Básicas de la Madera de *Acacia melanoxylon* R. BR. Creciendo en la IX Región de Chile. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 82 p.

**FOELKEL, C. 1988.** Aspectos Forestales del *Eucalyptus*. Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel

**GELDRES, E. 1988.** Pulpas Kraft de *Larix decidua* Creciendo en Valdivia. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 61 p.

**GONDELLES, R. 1954.** El Género Eucalyptus en Australia. Ministerio de Agricultura y Cría. Dirección Forestal. Caracas. Venezuela.

**GONZÁLEZ, J. 1980.** Variables que Determinan el Índice de Rasgado. Ciencias Forestales. 2 (1) : 9 - 13

**GONZÁLEZ, J. 2000.** “Celulosa y Papel”. Apuntes de clases. Ingeniería de la Madera

**GONZÁLEZ, J.; DONOSO, J.; ALLISON, B.; VALENZUELA, C. 2001.** Biotechnologies for Kraft Pulp Production: Results of Experiences in Chile and Future Perspectives. Atip. 55 (5) : 14 – 17.

**GONZÁLEZ, J. y MOLINA, J. 1989.** Consideraciones Sobre los Tratamientos Silviculturales y los Rendimientos Cuantitativos y Cualitativos en Madera Pulpable de *Pinus radiata* D.Don. Revista Chile Forestal. Documento Técnico n° 38 y n° 39.

**GULLICHSEN, J. Y FOGELHOLM, C. 1999.** Chemical Pulping. Papermarking Science and Technology. Finlandia.

**GUTIÉRREZ, M. 2000.** Proyección de Estados Financieros y Valoración de Empresas. Tesis Magíster en Finanzas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 68 p.

**IGARTUA, D.; RIVERA, S.; MONTERUBBIANESI, M.; MONTEOLIVA, S.; FARINA, S.; CARRANZA, S., VILLEGAS, M. 2000.** Calidad del Leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. Variación de la Densidad Básica y la Longitud de Fibra en Una Estación del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. La Plata. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.

**LOEWE, M.; TORAL, I.; MERY, A.; GONZÁLEZ, O.; DELARD, R.; PINEDA, B.; LÓPEZ, L.; URQUIETA, N. 1997.** Monografía de Eucalipto, *Eucalyptus regnans*. 173 p.

**INFOR. [S.a].** Ficha de Especies Introducidas. [en línea ] Chile.

<[http://www.laesferaverde.cl/bo\\_fdei.htm](http://www.laesferaverde.cl/bo_fdei.htm)> [Consulta: 31 Julio 2002]

**INFOR. 1986.** Especies Forestales Exóticas de Interés Económico Para Chile. 168 p.

**INFOR. 2002.** Boletín Estadístico n° 84. Estadísticas Forestales. INFOR. Santiago. Chile.

**JARDIN BOTANICO DE CORDOBA. 2000.** Especies Maderables Cites Versión (1).[en línea] España.

<<http://www.uco.es/jardin-botanico/cd1/Maderas%20CITES/peso.htm>>.

[Consulta: 19 de Junio del 2003]

**JULIO, G. 1962.** Variaciones del Largo de Fibras y Peso Específico en Álamo. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 82 p.

**KOLLMANN, F.; CÔTE, W. 1968.** Principles of Wood Science and Tecnolgy. Berlím: Springer – Verlag. Vol. 1. 592 p.

**LIBBY, C. 1967.** Ciencia y Tecnología Sobre Pulpa y Papel . 1ªEdición Vol. 1. 519 p.

**MARTINEZ, A. 1981.** Indices de Sitio para *Eucalyptus globulus* (LAB.) de la Zona de Concepción y Arauco. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 72 p.

**MARTINEZ, F. y PACHECO, L. 1990.** Una Visión de la Pulpa Kraft de Pino radiata Chileno. Caracterización, Ventajas Comparativas y Potencialidad. Asociación Técnica de la Celulosa y Papel (ATCP). Chile. Celulosa y Papel 6 (3) : 6 - 14

**MARCOLIN, M. 2002.** Primer Inventario Brasileño de Emisiones Antropicas de Gases de Efecto Invernadero. Informes de Referencia. Fundación Brasileña Para el Desarrollo Sostenible. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Brasil. 48 p.

**MELO, R.; PAZ, J.; SOLIS, A.; CARRASCO, V. ROJAS, M.; RIVERA, G.; BARRIGA, A. 1979.** Evaluación de loa Recursos Fibrosos de la Sub-Región Andina. Suplemento Parte II: "Los Eucalyptus en Chile". Organización de Estados Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Proyecto Especial Celulosa y Papel. Lab. Prod. Forestales. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Escuela de Ingeniería, Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 66 p.

**MELO, R.; PAZ, J.; SOLIS, A.; CARRASCO, V. ROJAS, M.; RIVERA, G.; BARRIGA, A. 1981.** Evaluación de los Recursos Fibrosos de la Sub-Región Andina. Suplemento Parte II: "Los Eucalyptus en Chile". Organización de Estados Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Proyecto Especial Celulosa y Papel. Lab. Prod. Forestales. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Escuela de Ingeniería, Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 39 p.

**MELO, R.; PAZ, J.; SOLIS, A.; CARRASCO, V. 1991.** Ensayos de Pulpaje y Blanqueo de Madera de Eucaliptos (*Eucalyptus spp.*). Celulosa y Papel. 7 (1) : 10-19.

**METCALFE, C. and CHALK, L. 1983.** Anatomy of the Dicotyledons. Vol 2. Wood Structure and Conclusion of the General Introduction. Clarendon Press. Oxford.

**MIRANDA, I.; TOME M. y PEREIRA H. 2003.** The Influence of Spacing on Wood Properties for *Eucalyptus globulus* Labill Pulpwood. Appita Journal. 56 (2) : 140 – 144.

**MOLINA, S. 1996.** Aptitud pulpable de madera de *Eucalyptus globulus* ssp. (*maidenii*) y *Eucalyptus nitens* a diferentes alturas mediante pulpaje Kraft. Tesis Ingeniero Forestal, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

**MORALES, R. 1968.** Variación del Peso Específico y Largo de Traqueadas Según Edad y Sitio en Plantaciones de *Pinus radiata* (D.DON). Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 58 p.

**NORMAND, D. 1972.** Manuel d'Identification des Bois Commerciaux. Tome 1 Generalites. Centre technique forestier tropical. France.

**PANSHIN, A. and De ZEEUW, C. 1970.** Textbook of Wood Technology. Vol. 1. Structure, Identification, Uses and Properties of the Commercial Woods of the United States and Canada. Mc Graw - Hill Series in Forest Resources. United States.

**PINILLA, J. ULLOA, I. 2000.** Nuevos Resultados en un Ensayo de Espaciamiento y Raleo con *Eucalyptus globulus* en Constitución (VII Región). INFOR – Universidad de Chile.

**PINOCHET, R. 1995.** Evaluación Técnica de Cocciones Kraft Modificadas, en las Propiedades de Pastas Crudas de Pino radiata. Tesis Ingeniero Forestal, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 49 p.

**PRADO, A. Y BARROS, S. 1989.** Eucaliptos: Principios de Silvicultura y Manejo. INFOR – CORFO. Santiago, Chile. 200 p.

**RICHTER, H. 1982.** The Wood Structure of Couratari Aubl. And Couroupita Aubl. Iawa Bull. n. s. 3 (1) : 45 - 56

**ROJAS, P. y ESPEJO, C. 1990.** Variación Genética de la Densidad Básica de la Madera de Eucalipto. Celulosa y Papel 6 (4) : 22-29

**ROJAS, N. 1994.** Pulpaje en Medio Básico de Pino radiata. Tesis Para Optar al Grado de Doctor en Ciencias con Mención en Química, Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 1994.

**TAPPI Test Methods. 1984.** TAPPI T 234 cm-84.

**TORTORELLI, L. 1940.** Maderas Argentinas. Estudio Xilológico y Tecnológico de las Principales Especies Arbóreas del País. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina. 205 p.

**ULLOA, I. y RALLO, M. [s.a.].** Anatomía y Estructura de la Madera. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 88 p.

**ULLOA, I. 1962.** Variación del Largo de Traqueadas en Relación al Peso Específico en Pino insignis (*Pinus radiata* D.Don). Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 46 p.

**VALENTE, C. ; MENDES DE SOUSA, A. ; FURTADO , F. AND CARVALHO, P. 1992.** Improvement program for *Eucalyptus glubulus* at Portucel: Technological component. Appita 45 (6) : 403-407

**ZOBEL, B. Y TALBERT, J. 1988.** Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Editorial Limusa S.A. de C.V. México. 545 p.

## **8. APENDICES**

***APENDICE N°1: ANALISIS ESTADISTICO***

### Análisis estadístico para Peso Específico. Diseño trifactorial.

Peso Específico																	
ESPACIAMIENTO ( B )																	
2x2																	
4x4																	
RALEO ( A )	EDAD ( C )								EDAD ( C )								Yi...
	4		8		12		14		4		8		12		14		
S/ RALEO	0,51		0,58		0,62		0,60		0,58		0,63		0,65		0,65		14,20
	0,46	<b>1,43</b>	0,60	<b>1,70</b>	0,63	<b>1,82</b>	0,65	<b>1,83</b>	0,60	<b>1,67</b>	0,67	<b>1,89</b>	0,69	<b>1,95</b>	0,65	<b>1,92</b>	
	0,46		0,52		0,56		0,58		0,49		0,59		0,62		0,62		
C/ RALEO	0,48		0,54		0,62		0,66		0,51		0,61		0,66		0,66		15,06
	0,48	<b>1,51</b>	0,62	<b>1,81</b>	0,70	<b>2,04</b>	0,70	<b>2,06</b>	0,59	<b>1,64</b>	0,73	<b>1,94</b>	0,72	<b>2,03</b>	0,70	<b>2,03</b>	
	0,54		0,66		0,71		0,70		0,54		0,61		0,65		0,67		
		<b>2,94</b>		<b>3,51</b>		<b>3,85</b>		<b>3,89</b>		<b>3,32</b>		<b>3,83</b>		<b>3,98</b>		<b>3,95</b>	29,26

Totales B x C

Y.jk.

Y.j..	14,19	15,07	29,26
-------	-------	-------	-------

Totales Ax B

Yij..

		B	
		2x2	4x4
A	S/R	6,77	7,43
	C/R	7,42	7,65
		14,2	15,1

Totales Ax C

Yi.k.

		C			
		4	8	12	14
A	S/R	3,10	3,58	3,77	3,75
	C/R	3,15	3,76	4,07	4,09
		6,25	7,34	7,83	7,84

### Análisis múltiple de medias "Prueba de DUNCAN"

DUNCAN										
Factor c							y3	y4	y2	y1
	4	8	12	14			0,6534	0,6531	0,6132	0,5208
	0,508	0,593	0,627	0,603	y1	0,5208	0,1326	0,1322	0,0924	0
	0,456	0,597	0,641	0,647	y2	0,6132	0,0401	0,0398	0	
	0,459	0,523	0,555	0,581	y4	0,6531	0,0003	0		
	0,489	0,526	0,628	0,655	y3	0,6534	0			
	0,482	0,622	0,713	0,694						
	0,545	0,646	0,701	0,703						
	0,582	0,635	0,654	0,654	p	2	3	4		
	0,606	0,678	0,695	0,646	Rp	2,88	3,03	3,11		
	0,492	0,595	0,611	0,617	Raiz (cme/n*a*b)	0,0122				
	0,506	0,605	0,648	0,652	RP	0,0352	0,0371	0,0380		
	0,590	0,724	0,722	0,699						
	0,536	0,615	0,644	0,685						
PR	0,521	0,613	0,653	0,653						
	y1	y2	y3	y4						

**Análisis estadístico para Longitud de Fibra. Diseño trifactorial.**

Longitud de Fibra																
ESPACIAMIENTO ( B )																
RALEO ( A )	2x2								4x4							
	EDAD ( C )								EDAD ( C )							
	4		8		12		14		4		8		12		14	
S/ RALEO	0,87		1,14		1,16		1,15		0,93		1,09		1,12		1,15	
	1,02	<b>2,83</b>	1,10	<b>3,37</b>	1,21	<b>3,55</b>	1,20	<b>3,43</b>	0,88	<b>2,64</b>	0,98	<b>3,06</b>	0,99	<b>3,12</b>	0,99	<b>3,04</b>
	0,94		1,12		1,17		1,07		0,83		0,99		1,01		0,91	
C/ RALEO	0,90		1,04		1,12		1,06		0,97		1,12		1,14		1,20	
	0,88	<b>2,65</b>	1,02	<b>3,04</b>	1,09	<b>3,25</b>	0,99	<b>3,05</b>	1,02	<b>2,88</b>	1,16	<b>3,33</b>	1,26	<b>3,62</b>	1,22	<b>3,66</b>
	0,87		0,99		1,05		1,00		0,90		1,05		1,22		1,23	
		<b>5,48</b>		<b>6,41</b>		<b>6,80</b>		<b>6,48</b>		<b>5,52</b>		<b>6,39</b>		<b>6,74</b>		<b>6,70</b>

Totales B x C

Y.jk.

Y.j..	25,16								25,36								50,52
-------	-------	--	--	--	--	--	--	--	-------	--	--	--	--	--	--	--	-------

		B	
Totales Ax B		2x2	4x4
Yij..	S/R	13,18	11,86
	C/R	11,99	13,49
		25,16	25,36

		C			
Totales Ax C		4	8	12	14
Yi.k.	S/R	5,47	6,43	6,67	6,47
	C/R	5,52	6,37	6,88	6,71
		11,00	12,80	13,55	13,18

## Análisis múltiple de medias "Prueba de DUNCAN"

DUNCAN							y3	y4	y2	y1
Factor c	4	8	12	14			1,129	1,098	1,067	0,917
	0,87	1,14	1,16	1,15	y1	0,917	0,212	0,182	0,150	0
	1,02	1,10	1,21	1,20	y2	1,067	0,062	0,032	0	
	0,94	1,12	1,17	1,07	y4	1,098	0,031	0		
	0,90	1,04	1,12	1,06	y3	1,129	0			
	0,88	1,02	1,09	0,99						
	0,87	0,99	1,05	1,00						
	0,93	1,09	1,12	1,15	p	2	3	4		
	0,88	0,98	0,99	0,99	Rp	2,88	3,03	3,11		
	0,83	0,99	1,01	0,91	Raiz (cme/n*a*b)	0,016				
	0,97	1,12	1,14	1,20	RP	0,047	0,050	0,051		
	1,02	1,16	1,26	1,22						
	0,90	1,05	1,22	1,23						
PR	0,92	1,0666	1,1288	1,0981						
	y1	y2	y3	y4						

DUNCAN								
Factor AC	sr/4	sr/8	sr/12	sr/14	cr/4	cr/8	cr/12	cr/14
	8,61	9,09	7,48	11,24	5,59	7,32	9,63	8,40
	6,91	8,01	8,16	9,31	7,53	8,27	9,36	10,08
	5,90	6,95	8,71	11,36	8,49	8,63	9,76	9,39
	6,12	9,22	8,01	9,41	5,94	8,92	9,09	9,24
	5,94	6,89	8,91	9,38	7,97	7,21	9,42	8,48
	6,24	6,29	8,11	9,82	5,59	7,08	8,87	8,07
PR	6,62	7,74	8,23	10,09	6,85	7,90	9,35	8,94
	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8

		y4	y7	y8	y3	y6	y2	y5	y1
		10,09	9,35	8,94	8,23	7,90	7,74	6,85	6,62
y1	6,62	3,47	2,73	2,32	1,61	1,28	1,12	0,23	0
y5	6,85	3,24	2,50	2,09	1,38	1,05	0,89	0	
y2	7,74	2,35	1,61	1,20	0,49	0,16	0		
y6	7,90	2,18	1,45	1,04	0,33	0			
y3	8,23	1,86	1,12	0,71	0				
y8	8,94	1,145	0,41	0					
y7	9,35	0,74	0						
y4	10,09	0							
p	2	3	4	5	6	7	8		
Rp	2,88	3,03	3,11	3,19	3,24	3,28	3,31		
Raiz (cme/n*b)	0,3814								
RP	1,099	1,156	1,186	1,217	1,236	1,251	1,263		

### Análisis estadístico para Espesor de Pared. Diseño trifactorial.

Espesor de pared																	
ESPACIAMIENTO ( B )																	
2x2																	
4x4																	
RALEO ( A )	EDAD ( C )								EDAD ( C )								Yi...
	4		8		12		14		4		8		12		14		
S/ RALEO	2,23		2,44		2,86		3,07		2,10		2,63		2,88		3,00		62,16
	2,09	6,15	2,70	7,29	3,07	8,66	2,90	9,06	2,03	5,99	2,66	7,55	3,01	8,58	3,00	8,88	
	1,84		2,16		2,73		3,09		1,87		2,26		2,69		2,88		
C/ RALEO	1,64		2,24		2,63		3,03		1,88		3,14		3,13		2,93		65,27
	2,26	6,14	2,79	7,81	3,18	9,22	3,30	9,67	2,21	5,94	2,87	8,13	3,24	9,26	2,81	9,09	
	2,24		2,78		3,42		3,34		1,86		2,13		2,90		3,36		
		12,29		15,11		17,89		18,72		11,93		15,68		17,84		17,97	127,43

Totales B x C

Y.jk.

Y.j..	64,00	63,43	127,43
-------	-------	-------	--------

Totales Ax B

		B		
		2x2	4x4	
Yij..	A	S/R	31,16	31,00
		C/R	32,84	32,43
			64,00	63,43

Totales Ax C

		C				
		4	8	12	14	
Yi.k.	A	S/R	12,14	14,84	17,24	17,94
		C/R	12,08	15,95	18,49	18,76
			24,22	30,79	35,73	36,70

### Análisis múltiple de medias "Prueba de DUNCAN"

DUNCAN							y4	y3	y2	y1
Factor c	4	8	12	14			3,06	2,98	2,57	2,02
	2,23	2,44	2,86	3,07	y1	2,02	1,04	0,96	0,55	0
	2,09	2,70	3,07	2,90	y2	2,57	0,49	0,41	0	
	1,84	2,16	2,73	3,09	y3	2,98	0,08	0		
	1,64	2,24	2,63	3,03	y4	3,06	0			
	2,26	2,79	3,18	3,30						
	2,24	2,78	3,42	3,34						
	2,10	2,63	2,88	3,00	p	2	3	4		
	2,03	2,66	3,01	3,00	Rp	2,880	3,030	3,110		
	1,87	2,26	2,69	2,88	Raiz ( $cme/n^*a*b$ )	0,075				
	1,88	3,14	3,13	2,93	RP	0,216	0,228	0,234		
	2,21	2,87	3,24	2,81						
	1,86	2,13	2,90	3,36						
PR	2,02	2,57	2,9771	3,0581						
	y1	y2	y3	y4						

**Análisis estadístico para Coarseness. Diseño trifactorial.**

Coarseness																	
ESPACIAMIENTO ( B )																	
RALEO ( A )																	
EDAD ( C )																	
2x2									4x4								
EDAD ( C )									EDAD ( C )								Yi...
4		8		12		14		4		8		12		14			
<b>S/ RALEO</b>	8,61		9,09		7,48		11,24		6,12		9,22		8,01		9,41		
	6,91	<b>21,43</b>	8,01	<b>24,04</b>	8,16	<b>24,36</b>	9,31	<b>31,91</b>	5,94	<b>18,30</b>	6,89	<b>22,41</b>	8,91	<b>25,03</b>	9,38	<b>28,62</b>	
	5,90		6,95		8,71		11,36		6,24		6,29		8,11		9,82		
<b>C/ RALEO</b>	5,59		7,32		9,63		8,40		5,94		8,92		9,09		9,24		
	7,53	<b>21,61</b>	8,27	<b>24,22</b>	9,36	<b>28,75</b>	10,08	<b>27,87</b>	7,97	<b>19,50</b>	7,21	<b>23,20</b>	9,42	<b>27,37</b>	8,48	<b>25,79</b>	
	8,49		8,63		9,76		9,39		5,59		7,08		8,87		8,07		
	<b>43,05</b>		<b>48,26</b>		<b>53,10</b>		<b>59,77</b>		<b>37,80</b>		<b>45,61</b>		<b>52,40</b>		<b>54,41</b>	<b>394,42</b>	

Totales B x C

Y.jk.

Y.j..	<b>204,19</b>	<b>190,23</b>	<b>394,42</b>
-------	---------------	---------------	---------------

Totales Ax B

		B	
		2x2	4x4
Yij..	A	S/R	101,74      94,36
		C/R	102,45      95,87
			204,19      190,23

Totales Ax C

		C			
		4	8	12	14
Yi.k.	A	S/R	39,73      46,45      49,39      60,53		
		C/R	41,12      47,42      56,12      53,66		
			80,85      93,87      105,51      114,19		

## Análisis múltiple de medias "Prueba de DUNCAN"

DUNCAN							y4	y3	y2	y1
Factor c	4	8	12	14			9,52	8,79	7,82	6,74
	8,61	9,09	7,48	11,24	y1	6,74	2,78	2,06	1,09	0
	6,91	8,01	8,16	9,31	y2	7,82	1,69	0,97	0	
	5,90	6,95	8,71	11,36	y3	8,79	0,72	0		
	5,59	7,32	9,63	8,40	y4	9,52	0			
	7,53	8,27	9,36	10,08						
	8,49	8,63	9,76	9,39						
	6,12	9,22	8,01	9,41	p	2	3	4		
	5,94	6,89	8,91	9,38	Rp	2,88	3,03	3,11		
	6,24	6,29	8,11	9,82	Raiz (cme/n*a*b)	0,27				
	5,94	8,92	9,09	9,24	RP	0,777	0,817	0,839		
	7,97	7,21	9,42	8,48						
	5,59	7,08	8,87	8,07						
PR	6,74	7,82	8,79	9,52						
	y1	y2	y3	y4						

DUNCAN								
Factor AC	sr/4	sr/8	sr/12	sr/14	cr/4	cr/8	cr/12	cr/14
	8,61	9,09	7,48	11,24	5,59	7,32	9,63	8,40
	6,91	8,01	8,16	9,31	7,53	8,27	9,36	10,08
	5,90	6,95	8,71	11,36	8,49	8,63	9,76	9,39
	6,12	9,22	8,01	9,41	5,94	8,92	9,09	9,24
	5,94	6,89	8,91	9,38	7,97	7,21	9,42	8,48
	6,24	6,29	8,11	9,82	5,59	7,08	8,87	8,07
PR	6,62	7,74	8,23	10,09	6,85	7,90	9,35	8,94
	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8

		y4	y7	y8	y3	y6	y2	y5	y1
		10,09	9,35	8,94	8,23	7,90	7,74	6,85	6,62
y1	6,62	3,47	2,73	2,32	1,61	1,28	1,12	0,23	0
y5	6,85	3,24	2,50	2,09	1,38	1,05	0,89	0	
y2	7,74	2,35	1,61	1,20	0,49	0,16	0		
y6	7,90	2,18	1,45	1,04	0,33	0			
y3	8,23	1,86	1,12	0,71	0				
y8	8,94	1,145	0,41	0					
y7	9,35	0,74	0						
y4	10,09	0							

p	2	3	4	5	6	7	8
Rp	2,88	3,03	3,11	3,19	3,24	3,28	3,31
Raiz (cme/n*b)	0,381						
RP	1,099	1,156	1,186	1,217	1,236	1,251	1,263

***APÉNDICE N° 2: VALORES OBTENIDOS***

**Valores ponderados obtenidos de los árboles estudiados**

Parcela	Árbol N°	Altura total (m)	DAP (cm)	Peso Especifico (g/cm <sup>3</sup> )	Longitud de Fibra (mm)	Espesor de Pared (μm)	Coarseness (dg)
1) 2x2 T	1	28.5	17	0,578	1,084	2,649	9,106
	2	27	17	0,586	1,135	2,687	8,099
	3	27.5	16.5	0,530	1,077	2,455	8,230
2) 2x2 I	4	22.2	17	0,575	1,027	2,385	7,735
	5	25.3	16	0,626	0,994	2,884	8,809
	6	26.9	17	0,653	0,976	2,942	9,571
3) 4x4 T	7	18.3	19	0,628	1,072	2,650	9,841
	8	19	18	0,651	0,961	2,676	7,782
	9	17.4	19	0,578	0,933	2,424	7,617
4) 4x4 I	10	33	28	0,609	1,108	2,768	8,296
	11	30	28	0,685	1,166	2,781	8,269
	12	28.5	29	0,618	1,100	2,559	7,402

### Valores obtenidos de Peso Específico

Parcela	Árbol N°	Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )				Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> ) Promedio
		Anillo				
		4	8	12	14	
1) 2x2 T	1	0,509	0,584	0,621	0,598	<b>0,578</b>
	2	0,458	0,596	0,634	0,655	<b>0,586</b>
	3	0,461	0,517	0,562	0,577	<b>0,530</b>
2) 2x2 I	4	0,483	0,535	0,625	0,657	<b>0,575</b>
	5	0,482	0,619	0,703	0,700	<b>0,626</b>
	6	0,542	0,659	0,708	0,702	<b>0,653</b>
3) 4x4 T	7	0,585	0,630	0,649	0,647	<b>0,628</b>
	8	0,599	0,666	0,687	0,653	<b>0,651</b>
	9	0,490	0,591	0,616	0,616	<b>0,578</b>
4) 4x4 I	10	0,507	0,605	0,659	0,664	<b>0,609</b>
	11	0,593	0,728	0,720	0,696	<b>0,685</b>
	12	0,542	0,609	0,650	0,671	<b>0,618</b>

### Valores obtenidos de Longitud de Fibra

Parcela	Árbol N°	Longitud de Fibra (mm)				Longitud (mm) Promedio
		Anillo				
		4	8	12	14	
1) 2x2 T	1	0,874	1,144	1,163	1,154	<b>1,084</b>
	2	1,023	1,101	1,212	1,204	<b>1,135</b>
	3	0,939	1,122	1,174	1,070	<b>1,077</b>
2) 2x2 I	4	0,896	1,038	1,116	1,059	<b>1,027</b>
	5	0,881	1,017	1,087	0,990	<b>0,994</b>
	6	0,870	0,985	1,048	1,001	<b>0,976</b>
3) 4x4 T	7	0,928	1,089	1,124	1,146	<b>1,072</b>
	8	0,881	0,983	0,990	0,989	<b>0,961</b>
	9	0,835	0,986	1,005	0,907	<b>0,933</b>
4) 4x4 I	10	0,966	1,118	1,144	1,202	<b>1,108</b>
	11	1,016	1,164	1,263	1,222	<b>1,166</b>
	12	0,896	1,051	1,217	1,234	<b>1,100</b>

### Valores obtenidos de Espesor de Pared

Parcela	Árbol N°	Espesor de pared ( $\mu\text{m}$ )				Espesor de Pared ( $\mu\text{m}$ ) Promedio
		Anillo				
		4	8	12	14	
1) 2x2 T	1	2,230	2,441	2,857	3,068	2,649
	2	2,085	2,697	3,071	2,895	2,687
	3	1,837	2,155	2,734	3,093	2,455
2) 2x2 I	4	1,643	2,240	2,626	3,029	2,385
	5	2,258	2,793	3,182	3,302	2,884
	6	2,235	2,781	3,415	3,337	2,942
3) 4x4 T	7	2,099	2,626	2,875	2,999	2,650
	8	2,027	2,661	3,012	3,002	2,676
	9	1,865	2,264	2,690	2,878	2,424
4) 4x4 I	10	1,882	3,135	3,125	2,929	2,768
	11	2,206	2,866	3,242	2,809	2,781
	12	1,855	2,130	2,896	3,356	2,559

### Valores obtenidos de Coarseness

Parcela	Árbol N°	Coarseness (dg)				Coarseness (dg) Promedio
		Anillo				
		4	8	12	14	
1) 2x2 T	1	8,613	9,085	7,482	11,244	9,106
	2	6,914	8,012	8,164	9,307	8,099
	3	5,904	6,946	8,713	11,359	8,230
2) 2x2 I	4	5,593	7,320	9,631	8,397	7,735
	5	7,530	8,274	9,355	10,076	8,809
	6	8,491	8,628	11,774	9,391	9,571
3) 4x4 T	7	6,117	9,221	6,742	9,412	7,873
	8	5,943	6,893	8,908	9,383	7,782
	9	6,238	6,293	8,114	9,825	7,617
4) 4x4 I	10	5,941	8,916	9,088	9,239	8,296
	11	7,969	7,206	9,418	8,485	8,269
	12	5,592	7,078	8,866	8,072	7,402