

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE LA MADERA

**VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN ALBURA,
DURAMEN Y ALTURA DE MADERA PULPABLE DE *Eucalyptus*
globulus PROVENIENTE DE MONTE ALTO Y MONTE BAJO.**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

GERALDINE LORENA BARAHONA OLMOS

Profesor Guía: Ing. Forestal, Sr. René Carmona Cerda

SANTIAGO – CHILE

2005

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE LA MADERA**

**VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN ALBURA, DURAMEN Y
ALTURA DE MADERA PULPABLE DE *Eucalyptus globulus* PROVENIENTE
DE MONTE ALTO Y MONTE BAJO.**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

GERALDINE LORENA BARAHONA OLMOS

Calificaciones	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. René Carmona C.	7,0
Prof. Consejero Sr. Ricardo Silva S.	6,8
Prof. Consejero Sr. Javier González M.	6,5

SANTIAGO – CHILE
2005

RESUMEN

El presente trabajo consistió en caracterizar la composición química de madera pulpable de *Eucalyptus globulus*, de manera de establecer parámetros que faciliten el proceso de pulpaje. Se determinó además, la densidad básica y el porcentaje de duramen.

Para llevar a cabo este estudio se utilizó madera proveniente de monte alto y de monte bajo, considerándose las variables altura, albura y duramen. Los árboles fueron obtenidos de rodales ubicados en la provincia de Arauco, materia prima que emplea la empresa Bosques Arauco para el abastecimiento de la planta de celulosa.

En cuanto al procedimiento experimental, se trabajó con la norma NCh 176/2 para determinar la densidad básica. El volumen porcentual de duramen se obtuvo midiendo el volumen de duramen con respecto al volumen total del árbol, y la composición química de la madera se determinó de acuerdo a los procedimientos indicados en las normas TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry).

Los resultados obtenidos indican que el contenido de α -celulosa disminuye con la altura, tanto en monte alto como en monte bajo, encontrándose valores mayores de este componente en la albura que en el duramen.

En relación al contenido de holocelulosa en monte alto, este no presenta variaciones importantes con la altura, ni en albura ni en duramen. En el caso de monte bajo sí se detectaron algunas diferencias en el contenido de holocelulosa con la altura en la albura, no así en el duramen.

Si se analiza el contenido de lignina en monte alto al aumentar la altura, este no presenta diferencias en la albura, sin embargo, disminuye en el caso del duramen. Para monte bajo el contenido de lignina, en términos generales, es creciente con la altura. Además, el contenido de lignina es mayor en el duramen que en la albura, en ambos tipos de manejo.

El contenido de extraíbles al aumentar la altura es creciente en la albura de monte alto, y decreciente en la de monte bajo. En el duramen de ambos tipos de manejo los valores son, en general, decrecientes con la altura. Así también, el porcentaje de extraíbles es mayor en el duramen que en la albura, tanto en monte alto como en monte bajo.

El volumen porcentual de duramen fue, en promedio, de 37,16% para monte alto y 45,84% para monte bajo. Además, no fue posible establecer una relación clara entre el volumen porcentual de duramen y la altura total del árbol.

La densidad básica en monte alto fluctuó entre 0,418 g/cm³ y 0,677 g/cm³. En monte bajo los valores oscilan entre 0,410 g/cm³ y 0,734 g/cm³. En ambos tipos de manejo esta propiedad presenta valores crecientes, tanto de medula (duramen) a corteza (albura) como al aumentar en altura.

PALABRAS CLAVES

Celulosa

Lignina

Extraíbles

Albura

Duramen

SUMMARY

This work consisted of characterizing the chemical composition of *Eucalyptus globulus* wood, of way to establish parameters that facilitate the pulping process. In addition, it was determined the basic density and the percentage of heartwood.

In order to carry out this study seedling forest and coppice forest wood was used, considering the variables height, sapwood and heartwood. The trees were obtained from stands located in the province of Arauco, raw material that uses the company Bosques de Arauco for the supplying of the pulp mill.

As far as the experimental procedure, the standard NCh 176/2 was used to determine the basic density. The percentage volume of heartwood was obtained measuring the volume of heartwood with respect to the total volume of the tree, and the chemical composition of the wood was determined according to the procedures indicated in norms TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry).

The obtained results indicate that the α -cellulose content diminishes with the height, as much in seedling forest as in coppice forest, being greater values of this component in the sapwood than in heartwood.

In relation to the content of holocellulose in seedling forest, this it did not show important variations with the height, neither in sapwood nor in heartwood. In the case of coppice forest there were some differences in the content of holocellulose with the height in the sapwood, but not thus in heartwood.

If the content of lignin is analyzed in seedling forest when the high is increasing, this it did not present differences in the sapwood, nevertheless, diminished in the case of heartwood. For coppice forest the lignin content, in general, it increased with the height. In addition, the lignin content is greater in heartwood than in the sapwood, in both types of management.

The content of extractives when increasing the height is increasing in the seedling forest sapwood, and decreasing in the coppice forest. In the heartwood values of both types of

management were, in general, decreasing with the height. Thus also, the percentage of extractives was greater in heartwood than in the sapwood, as much in seedling forest as in coppice forest.

The percentage volume of heartwood was, in average, of 37.16% for seedling forest and 45.84% for coppice forest. In addition, it was not possible to establish a clear relation between the percentage volume of heartwood and the overall height of the tree.

The basic density in seedling forest fluctuated between 0.418 g/cm³ and 0.677 g/cm³. In coppice forest the values oscillate between 0.734 g/cm³ and 0.410 g/cm³. In both types of management this property presents increasing values, as much of pith (heartwood) to bark (sapwood) like an increasing in height.

Key Words

Cellulose

Lignin

Extractives

Sapwood

Heartwood

A mis padres Inés y Freddy,
mis hermanas Linette y Valeska,
mi esposo Manuel
y a mi hija Arlette

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada deseo agradecer a mis padres, quienes me han brindado siempre su apoyo incondicional, no solamente durante mi paso por Antumapu, sino que durante toda mi vida, gracias por todo...y por ser lo que soy... LOS AMO.

A mis queridas hermanas Linette y Valeska por su cariño, apoyo y ayuda en todo momento...Las Quiero Mucho. Gracias.

No puedo dejar de dar mis agradecimientos a mis suegros, quienes me han apoyado en el desarrollo tanto, de esta memoria como en mi vida...Tíos, gracias por quererme como una hija....Los Quiero Mucho.

A mi profesor guía Rene Carmona quien, a pesar de tener su agenda siempre ocupada, me ayudó a entender los enlaces químicos de este trabajo....Gracias profe por su ayuda, y a Muriel por su apoyo en el laboratorio.

A mi amigo consejero Ricardo Silva, por dedicar largas horas en ayudarme a que mi mal escrito quedara como una perfecta memoria.....Gracias por tus consejos, querido amigo.

A mi profesor consejero Javier González, quien ayudó en el desarrollo de esta memoria...Gracias.

Como no acordarme de Luis Frías, quien me dio su apoyo, ayuda y su buen consejo justo y siempre cuando lo necesitaba, y su infaltable cafecito que acompañaban esas largas tardes de trabajo....Luchito...Gracias de corazón.

A mis amigos que me acompañaron en este largo camino, Ximena Calderón, Anita Forselledo, Pamela Encina, mi compadre chico Mario, a mi amigo Rambo, Ingrid Espinoza y el chico José Suárez, a Carmen Gloria y como no nombrar a mi súper amiga Magda Orell quien siempre estuvo cuando la necesite, sin importar el día, la hora y su dolor de espalda..Magdita gracias...Y a todos los demás gracias por compartir bellos momentos conmigo.

He dejado para el final a una persona que ha sido muy importante en mi vida, y que me ha sabido comprender, entender y esperar el tiempo necesario para que yo me realice profesionalmente...mi esposo Manuel (mi Lolo)...Amor..Gracias por todo, TE AMO, y a mi hija Arlette quien me ama mucho....Gracias hija, yo también TE AMO.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Generalidades sobre el sector forestal y la industria de celulosa y papel	11
2.2. <i>Eucalyptus globulus</i> (LABILL)	12
2.3. Manejo de plantaciones.....	13
2.3.1. Tipos de manejo. Referencias en relación al <i>Eucalyptus globulus</i>	13
2.4. Composición química de la madera	15
2.4.1. Estructura química general.....	15
2.4.2. Composición química del <i>Eucalyptus globulus</i>	23
2.5. Duraminización	26
2.5.1. Tipos de duramen.....	28
2.5.2. Diferenciación del tejido duraminizado	29
2.5.3. Variación del tamaño del duramen en los árboles	30
2.6. Densidad básica.....	30
2.6.1. Factores que determinan la densidad de la madera	31
2.6.2. Densidad básica del <i>Eucalyptus globulus</i>	32
3.1. Materiales	34
3.1.1. Madera	34
3.1.2. Obtención de las muestras.....	35
3.1.3. Reactivos	39
3.1.4. Equipos.....	39
3.2. Método	40
3.2.1. Objetivo específico 1	40
3.2.2. Objetivo específico 2	40
3.2.3. Objetivo específico 3	40
3.2.4. Análisis estadístico.....	41
4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
4.1. Valores promedio de las características físico-químicas de la madera de <i>Eucalyptus globulus</i>	42
4.2. Variación de las características físico-químicas de la madera de <i>Eucalyptus globulus</i>	44
4.2.1. Extraíbles: Variación en altura en monte alto y monte bajo	44
4.2.2. Lignina: Variación en altura en monte alto y monte bajo	45
4.2.3. Holocelulosa: Variación en altura en monte alto y monte bajo	47
4.2.4. α -celulosa: Variación en altura en monte alto y monte bajo.....	48
4.2.5. Volumen de duramen en monte alto y monte bajo	49
4.2.6. Densidad básica en monte alto y monte bajo	51
5. CONCLUSIONES	53
6. BIBLIOGRAFIA	54
APENDICES.....	59
APENDICE 1: VALORES OBTENIDOS DEL ESTUDIO.....	60
APENDICE 2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	66

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas y con el fin de satisfacer las necesidades industriales, el sector Forestal en Chile ha incrementado la superficie de plantaciones de especies introducidas y de importancia económica, como lo son *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, teniendo este último una participación más reciente en el abastecimiento de la industria de celulosa y papel.

En nuestro país la industria de celulosa y papel se ha desarrollado utilizando casi exclusivamente las plantaciones de *Pinus radiata*, este hecho se debe entre otras a las siguientes razones:

- La excelente calidad de esta madera como material fibroso.
- La disponibilidad de esta materia prima a un precio relativamente bajo.
- La ubicación de dichas plantaciones cercanas a centros industriales.
- La extraordinaria velocidad de crecimiento de esta especie.

Eucalyptus globulus cumple ampliamente con tres de los cuatro requisitos indicados en el caso del *Pinus radiata*, considerando su aprovechamiento en este mismo rubro. Con respecto al primer punto se debe tener presente la creciente demanda del mercado por fibra corta, las características que la especie presenta, entre las cuales se pueden destacar su rápido crecimiento y aptitud pulpable. El interés por diversificar las plantaciones actuales, considerando, entre otros, aspectos fitosanitarios, hace que se vea al *Eucalyptus* como el género más viable para su utilización en la industria del celulosa y papel (Consuegra, 1994).

En la actualidad existen en Chile aproximadamente 376.919 ha de eucaliptos, correspondientes al 18,5% del total de las plantaciones, distribuidas entre la I y X Regiones. De estas la mayor superficie se concentra en las Regiones VIII y V (INFOR, 2003).

Los antecedentes anteriores, sumados a la creciente preocupación en la sociedad y la industria, particularmente la de la pulpa y papel, por aspectos relacionados con el medioambiente, han hecho necesaria la búsqueda de procesos productivos más

amigables. Una buena alternativa probada en *Pinus radiata* es el empleo de hongos de pudrición blanca para pretratar la madera, alternativa que también está siendo probada en especies del género *Eucalyptus* (Proyecto FONDEF DO2I-1086: ***Factibilidad de biopulpaje Kraft aplicado a especies del género Eucalyptus***). El presente estudio está financiado y es parte de dicho proyecto, el que se lleva a cabo en el Departamento de Ingeniería de la Madera, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile.

Una condición necesaria para evaluar el efecto de estos organismos es disponer de información básica sobre la composición química de la madera antes del ataque fúngico, de manera de contar con datos reales que permitan relacionar esta composición con variables como la edad, presencia de duramen y de madera juvenil.

En la presente memoria se caracterizó la composición química de madera pulpable de *Eucalyptus globulus*, antecedentes que a futuro se compararán con los que deriven de muestras biotratadas con hongos de pudrición blanca. De este modo, el objetivo general del trabajo fue analizar la composición química y su variabilidad en madera pulpable de *Eucalyptus globulus* proveniente de rodales con distinto tipo de manejo. Los objetivos específicos asociados a este objetivo general fueron:

- Comparar la composición química y su variabilidad en albura, duramen y altura, de madera proveniente de individuos de monte alto y monte bajo.
- Determinar el nivel de duraminización, en porcentaje, en cada caso.
- Comparar la densidad básica, a las distintas alturas, del material bajo estudio.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades sobre el sector forestal y la industria de celulosa y papel

La celulosa constituye el principal producto de exportación del sector forestal chileno. El volumen exportado de celulosa creció en un 14% promedio anual entre 1990 y 2000, alcanzando 1,8 millones de toneladas en este último año (INFOR, 2002).

En las últimas décadas el sector forestal chileno ha experimentado un constante desarrollo, en especial el subsector de la celulosa y el papel, llegando a exportar durante el año 2003 un total de 2.524,0 millones de dólares FOB, valor que representa cerca del 12% de las exportaciones totales del país. Los principales productos exportados son: pulpa blanqueada de pino (25%), pulpa blanqueada de eucalipto (7,7%), madera aserrada de pino (7,4%), pulpa cruda de pino (6,3%), molduras sólidas de pino (6,0%), papel periódico (5%), astillas s/c de eucalipto (4,8%), otros (37,9%). En particular, las pastas químicas participan con un total de 863,2 millones de dólares FOB, es decir, cerca del 40% del valor exportado por este sector (INFOR, 2003).

A nivel latinoamericano Chile es un importante productor de pulpas de madera. Durante el año 2002 se produjeron 409.200 toneladas de pulpa mecánica y 2.278.200 toneladas de pastas químicas, estas últimas provenientes del proceso Kraft, lo que hace un total de 2.687.400 toneladas métricas. De este total se exportaron 2.152.000 toneladas, un 80% de la producción total, equivalentes a US\$ 821,2 millones FOB. Por otra parte, la producción total de pulpas químicas del año 2002 se divide en 1.724.900 toneladas de pulpa de fibra larga (Pino radiata) y 553.300 toneladas de pulpa de fibra corta (Eucalyptus). Las empresas más importantes en este rubro son Celulosa Arauco y Constitución S.A. y empresas CMPC (INFOR, 2003).

En varios países del mundo el abastecimiento de la industria de pulpa y papel está basado en plantaciones del género Eucalyptus, siendo Australia, Brasil, República de Sud África, España y Portugal los países en donde se hace un mayor uso de estas especies (Prado y Barros, 1991). En Chile, el empleo de madera de Eucalyptus en la producción de pulpa ha tenido un incremento sostenido en el tiempo, llegando a ser de 1,836 millones de

m³ ssc durante el año 2002, valor que representa el 23,07% del consumo total de madera por parte de esta industria (INFOR, 2003).

2.2. *Eucalyptus globulus* (LABILL)

El género *Eucalyptus* corresponde botánicamente a la clase Angiospermas, subclase Dicotiledóneas y familia Mirtaceae. Existen en el género más de 500 especies, originarias de Australia y de algunas islas cercanas, encontrándose variadas formas y tamaño dada su amplia distribución natural y gran número de especies. En particular, *Eucalyptus globulus* es originario del sudeste de Australia y Tasmania (Prado y Barros, 1991).

En términos generales las especies de *Eucalyptus* superan normalmente los 45 metros de altura y pueden alcanzar perímetros de más de 6 metros a la altura del DAP (diámetro a la altura del pecho). Un considerable número de ellas, de gran valor comercial, no alcanzan grandes dimensiones, presentando alturas que no superan los 35 m (Prado y Barros, 1991). En particular, los árboles adultos de *Eucalyptus globulus* presentan alturas que pueden variar entre los 45 y 60 m (o más) y diámetro que fluctúa entre 0,9 y 1,5 m (Vita, 1990).

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* presentan, en general, un incremento volumétrico anual de 20 a 30 metros cúbicos por hectárea, pudiendo llegar a los 45 metros cúbicos por hectárea en las condiciones más favorables (FAO, 1973; Vita, 1990). Los árboles poseen corteza rugosa y persistente en la parte baja, y en la parte alta se desprende en largas tiras dejando una superficie lisa de color gris azulado. La madera 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/m³ (INFOR, 1986).

Las propiedades fisicoquímicas de la madera inciden en los procesos y características de la celulosa obtenida con ella. Entre estas se encuentran la densidad básica, contenido de extraíbles, presencia de vasos, contenido de lignina, edad de los árboles y características de las fibras. En el caso de las fibras, tienen gran importancia la longitud, el diámetro y el espesor de pared. *Eucalyptus globulus* presenta una longitud de fibra entre 0,81 y

1,06 mm, diámetros de fibra de 19,59 μm , y espesor de pared de 2,36 μm , valores que aumentan con la edad (Prado y Barros, 1991).

2.3. Manejo de plantaciones

2.3.1. Tipos de manejo. Referencias en relación al *Eucalyptus globulus*

Los objetivos en términos productivos y la condición fisiológica de las especies, la capacidad de retoñación, determinan el esquema de manejo que puede aplicarse a una plantación. Como esquema de manejo se entiende al conjunto de tratamientos aplicados al rodal a lo largo de la rotación (Prado y Barros, 1991).

2.3.1.1. Monte Alto

El término “Monte Alto” se aplica a los bosques que se han creado o regenerado a partir de semillas. Normalmente cada árbol consta de un solo fuste, el cual puede o no bifurcarse. El término también sería aplicable a un bosque establecido empleando plantas producidas por propagación vegetativa (Prado y Barros, 1991).

Si se utiliza una técnica adecuada de establecimiento, el espaciamiento es un factor de gran importancia en el futuro manejo de la plantación, afectando así a los otros dos elementos fundamentales del manejo, que son los raleos y las podas (Prado y Barros, 1991).

Espaciamiento, raleos y podas dependen fundamentalmente del objetivo de la plantación y este debe definirse antes o dentro de los primeros años, ya que una vez iniciado el tipo de manejo resulta difícil cambiar su orientación, o este cambio puede conducir a importantes pérdidas económicas (Prado y Barros, 1991).

2.3.1.2. Monte Bajo

El término “Monte Bajo” se aplica a los bosques que se han regenerado a partir de los rebrotes de los tocones dejados por la explotación anterior. Este tipo de manejo se emplea con éxito en un amplio grupo de especies del género *Eucalyptus*, y particularmente en el caso de rodales de *Eucalyptus globulus* (Prado y Barros, 1991).

Los brotes que dan origen al bosque de monte bajo se originan de yemas laterales, situadas en la corteza del tocón, o de yemas ubicadas en los lignotubérculos que presentan algunas especies. Cuando el tronco está creciendo, estas yemas están inhibidas por la acción de auxinas que produce el árbol; en cuanto éste es cortado, el flujo de auxinas cesa, activando las yemas laterales (Prado y Barros, 1991).

La capacidad de rebrote ha permitido la conservación de la vegetación leñosa en muchos sectores del país que han sido afectados por explotaciones, incendios u otras causas destructivas, que eliminan un rodal antes que los individuos de la especie presenten una edad para reproducirse por semillas (González, 2000).

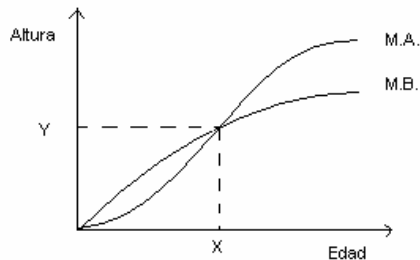
La capacidad de retoñación y las veces que un tocón puede retoñar se ven afectados por diferentes factores, entre estos la época de corta (cosecha), el modelo de volteo y tipo de corte, y algunas características propias del tocón, como su altura de corte, diámetro y edad (Bonney y Venegas, 1999).

Existen varias ventajas en la utilización de este método de regeneración, ya que los individuos presentan un rápido crecimiento y vigor en el rebrote. Además, la ocupación es continua en el espacio de crecimiento, producción de grandes volúmenes de madera en periodos cortos de rotación y por último existe una pequeña o ninguna inversión en preparación del sitio y stock de crecimiento (Cole, 1983).

Por otra parte, la cantidad y calidad del volumen de madera obtenida, producto del manejo del bosque en rotaciones cortas, hace que su permanencia en el tiempo no sea constante, debido a un desgaste natural de la cepa (González, 2000).

En la Figura 1, se compara el desarrollo en el tiempo de monte bajo y monte alto, al comienzo y en igualdad de condiciones de sitio, los retoños crecen más rápidamente que las plántulas provenientes de semillas, debido a que la cepa tiene un sistema radicular completo con gran reservas de nutrientes que son utilizadas para su desarrollo. Sin embargo, esta ventaja no se mantiene a lo largo de la rotación, ya que existe un punto en que el sistema radicular viejo o proveniente de cepa es superado por el sistema radicular nuevo (Vita, 1996). Esta evolución sucede también para *Eucalyptus ssp.*

Figura 1: Comparación del desarrollo en el tiempo de monte alto (M.A.) y monte bajo (M.B.), según Vita (1996).



El monte bajo es de aplicación muy simple y, generalmente, la reproducción es más segura y más económica que la proveniente de semilla, obteniéndose además, fustes con mayor rectitud. No obstante, según Matthews (1991) en ciertas ocasiones es fuertemente afectado por hongos a partir de la cepa.

Las plantaciones de *Eucalyptus spp.* que han sido cortadas y manejadas como monte bajo en Chile son escasas. La mayoría han retoñado pero no muy vigorosamente, lo que indica que existen factores tales como procedencia, época y sistemas de cosecha, entre otros, que estarían incidiendo en la rebrotación de estas especies (Bonnefoy y Venegas, 1999).

2.4. Composición química de la madera

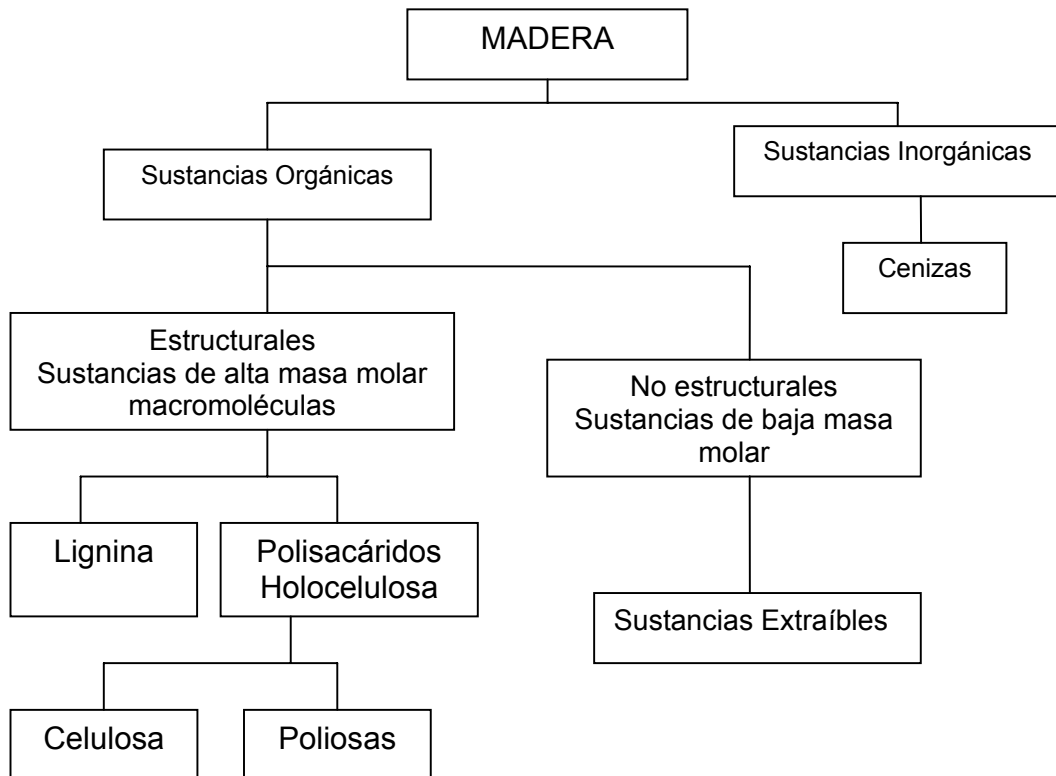
2.4.1. Estructura química general

En la composición química básica de la madera se consideran los componentes estructurales que constituyen la pared celular, y los componentes ocasionales contenidos en los lúmenes y espacios intersticiales. El crecimiento estructural y las propiedades naturales de la madera surgen de la organización y la composición química de las paredes de las células (Panshin y De-Zeeuw, 1970).

Entre los componentes estructurales se consideran tres biopolímeros, cuya presencia porcentual en la madera es mayoritaria. Estos son: celulosa, poliosas (hemicelulosas) y lignina. Por otra parte, los componentes secundarios, también llamados extraíbles,

agrupan a un conjunto de sustancias entre las cuales se cuentan taninos, aceites volátiles, resinas, ácidos grasos, gomas, látex, alcaloides y otros compuestos orgánicos complejos. En la figura 2 se describen brevemente los principales componentes de la madera.

Figura 2: Esquema general de los componentes químicos de la madera, según Browning (1967) y Fengel (1984).



2.4.1.1. Celulosa

La celulosa es un homopolisacárido cuya fórmula química general corresponde a $(C_6H_{10}O_5)_n$. Es el principal componente de la pared celular en gran parte de la planta, la sustancia más importante producida por este organismo vivo y representa entre un 42 a 46% en peso en madera de coníferas y entre un 43 a un 50% en madera de latifoliadas. Este compuesto originado a partir del proceso de fotosíntesis, constituye el esqueleto de la pared celular. Este es el resultado de la combinación de agua y dióxido de carbono, que en presencia de luz solar forman glucosa, unidad básica de la celulosa. Está constituida por moléculas de anhidro D-glucosa unidas por enlaces β -1,4 glucosídicos, por lo que se puede describir como un polímero lineal de glucanos, siendo el biopolímero más

abundante en la biosfera. Dos unidades de glucosa se unen entre sí eliminando una molécula de agua entre los grupos hidroxilo del C₁ y C₄ de la unidad adyacente, formando la celobiosa. La unión de varias celobiosas conforma una molécula de celulosa (Higuchi, 1990).

El grado de polimerización es del orden de los 15.000, lo que equivale a una masa molar en el orden de los 2,3 millones. Debido al tipo de enlace (β -1-4) la molécula de celulosa tiene una forma lineal, estabilizada por la formación de numerosos puentes de hidrógeno intracadenales e intercadenales. Entre 40 y 70 moléculas se encuentran agrupadas en fibrillas elementales de un espesor de 3,5 y 7,5 μm y una longitud de varios μm . En ellas las moléculas de celulosa están orientadas longitudinalmente formando un agregado cristalino fuertemente ordenado, en el que todas las moléculas presentan la misma polaridad, lo que indica que tienen su extremo reductor orientado hacia el mismo extremo de la microfibrilla. En estos agregados las moléculas de celulosa no están unidas covalentemente, estabilizándose su estructura solamente por puentes de hidrógeno (C₃-C₆) y (C₂-C₅), que aunque muy débiles individualmente, su elevado número hace de la fibra de celulosa una estructura muy firme y poco sensible a la degradación (Guardiola y Amparo, 1995).

La celulosa presenta un alto grado de cristalinidad, pero no es 100% cristalina, y esto depende de la especie que se analice. La presencia de hemicelulosas en la madera parece causar disturbios en la cristalinidad de la celulosa. Además, cuanto más cristalina es la celulosa mayor es su densidad (Browning, 1967).

La cristalinidad de la celulosa se encuentra en función de la gran cantidad de puentes de hidrógeno, hecho que además explica por qué la celulosa no es soluble en los sistemas de solventes usuales. Ella es la responsable de determinadas propiedades físicas y mecánicas de las maderas por constituir el material de sostén del árbol, confiriéndole resistencia y tenacidad (Coronel, 1994).

2.4.1.2. Poliosas

Las poliosas o hemicelulosas son heteropolisacáridos de alta masa molecular y es otro constituyente químico estructural presente en la madera, agrupando a todos los polisacáridos no celulósicos. Son compuestos de más fácil solubilidad y termodegradación que la celulosa y poseen diferente composición y distinto grado de polimeración. Constituyen cadenas cortas de heteropolisacáridos y están formados por pentosas (xilosa, arabinosa) y hexosas (glucosa, manosa, galactosa), junto con pectinas, constituidas por ácidos glucurónicos y galacturónicos. Se unen entre sí a través de enlaces glucosídicos 1-3, 1-4 y 1-6, formando estructuras ramificadas y en general amorfas. La gran mayoría son solubles en soluciones alcalinas y fácilmente hidrolizables en ácidos (Panshin y De-Zeeuw, 1970; Higuchi, 1990).

En general, son compuestos de mayor higroscopicidad que la celulosa, y se encuentran íntimamente ligados a la lignina y a las zonas más paracristalinas de las microfibrillas celulósicas (Díaz-Vaz, 2003).

La presencia de esta clase de heteropolisacáridos en las paredes de las células tiene una gran influencia en las propiedades físicas de la madera. Su presencia porcentual en las coníferas es de un 25 a un 30%, y de un 20 a 35% en las latifoliadas (Panshin y De-Zeeuw, 1970; Higuchi, 1990).

Las hemicelulosas se encuentran asociadas con la celulosa mediante fuertes interacciones polisacárido – polisacárido. El contenido de poliosas varía radialmente en la madera aumentando hacia el centro y cambiando en su composición de azúcares (Fengel, 1984).

El tipo y contenido de hemicelulosas presentes en la madera varía con la especie, la edad, y parte del árbol, y en muchas especies su regularidad está relacionada con criterios taxonómicos. Las hemicelulosas de las coníferas no son las mismas que las de las latifoliadas, siendo las de las coníferas más complejas. También existen diferencias entre las hemicelulosas del tronco, de las ramas, de las raíces y de la corteza del propio árbol, así como diferencias en cuanto a contenido y composición entre la madera de compresión, tracción y normal (Sjöström, 1981).

En las maderas de fibra corta o latifoliadas, sólo pueden separarse dos tipos de hemicelulosa en cantidades significativas y por extracción alcalina directamente de la madera, ellas son los xilanos y los arabinogalactanos (Sjöström, 1981).

La función de las hemicelulosas en la madera parece ser de intermediario entre la celulosa y la lignina, tal vez facilitando la incrustación de las microfibrillas. Probablemente no exista enlace químico alguno entre las hemicelulosas y la celulosa, mas que la suficiente adhesión mutua que es fortalecida por los puentes de hidrógeno y las fuerzas de Van der Waals (Fuller, 1996).

Las hemicelulosas son importantes en la fabricación de pulpa ya que aumentan el rendimiento del proceso y la resistencia del papel. Algunas, como los arabinogalactanos, después de separados pueden constituir un subproducto de la fabricación de celulosa, y ser utilizadas como tensioactivos en la industria de tintas (Guardiola y Amparo, 1995; Kottes - Andrews y Reinhardt, 1996).

2.4.1.3. Lignina

La lignina es una macromolécula (Figura 3) con un elevado peso molecular, presente en un 25 a 31% en la madera de coníferas y en un 17 a 26% en la madera de latifoliadas. Es un biopolímero constituido por unidades fenilpropano, resultantes de la oxidación de tres alcoholes aromáticos: p-cumaril, coniferil y sinapil (los precursores fenilpropánicos de la lignina, Figura 4), que son incorporados al polímero como unidades H (parahidroxifenil), G (guayacil) y S (siringil). Las ligninas difieren en la proporción relativa de los tres monómeros y éstos por su grado de metoxilación (Sjöström, 1993; Higuchi, 1990).

La lignina es, de entre los compuestos principales de la madera, el más resistente a la degradación térmica y a los solventes químicos, presentando la menor higroscopicidad. Es un compuesto termoplástico, característica relevante para la fabricación de productos de madera tales como tableros y madera densificada (Diaz-Vaz, 2003).

Figura 3: Representación esquemática parcial de la molécula de lignina de conífera, según Gold *et al.* (1989).

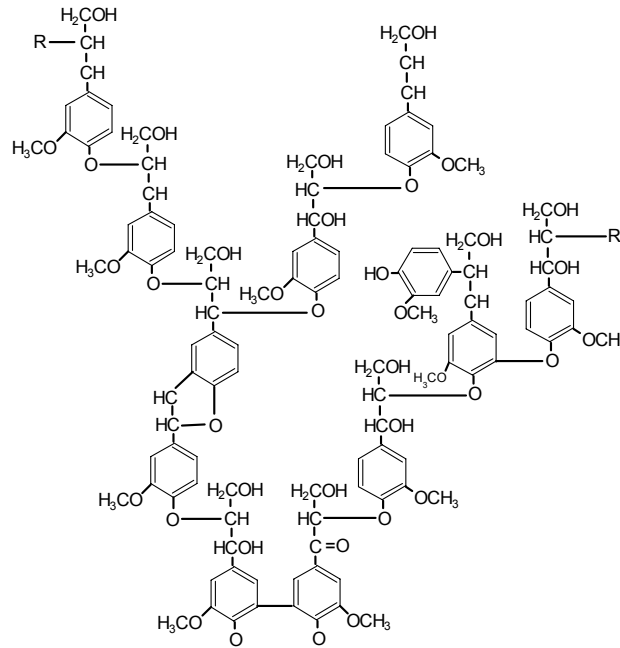
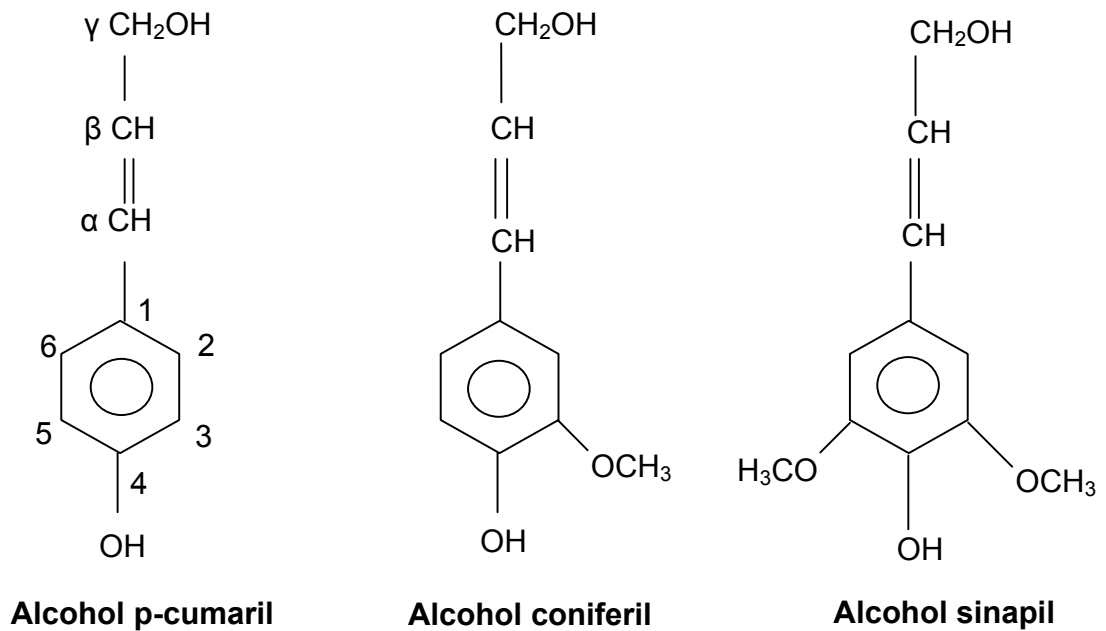


Figura 4: Monómeros fenilpropánicos precusores de la lignina, según Sjöstrom (1981).



Las ligninas son fracciones no carbohidratadas de la madera libres de extraíbles, extremadamente complejas y difíciles de caracterizar. Constituyen un polímero aromático, heterogéneo y ramificado, donde no existe ninguna unidad repetida definidamente. Las ligninas de la madera se clasifican en ligninas de coníferas y ligninas de latifoliadas (Carballo, 1990).

La madera de coníferas presenta ligninas del tipo G-H, con 85-90% de unidades aromáticas de guayacil, mientras que la madera de latifoliadas presenta ligninas del tipo G-S en razón de 1:5 aproximadamente (Carballo, 1990).

Las ligninas poseen propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de las maderas (revistiendo las células del xilema), donde realizan la función mecánica de sostén. Su composición depende de muchos factores, entre ellos, el método utilizado para aislarlas, la especie que se estudie, la edad, parte del árbol, condiciones ambientales en que se ha desarrollado el árbol, etc. (Browning, 1967; Carballo, 1989).

Esta sustancia amorfa es localizada como componente de la lámina media y también en la pared secundaria. Durante el desarrollo de la célula, la lignina es incorporada como último componente de la pared celular interpenetrando las fibrillas y fortaleciendo la pared celular (Fengel, 1984).

La lignina, cuya principal función en el árbol es mantener las fibras unidas, posee una estructura compleja que la hace poco deseable como constituyente de la pulpa. También confiere a la fibra un cierto grado de rigidez, dificultando algunos procesos (Melo y Paz, 1978).

2.4.1.4. Extraíbles

Los extraíbles representan un gran número de componentes orgánicos. El grupo más importante en términos de cantidad son los polifenoles y las resinas. Los polifenoles están presentes en angiospermas y gimnospermas, e incluyen a un gran número de componentes químicos orgánicos, entre estos los taninos. Estos materiales orgánicos están presentes en formas mezcladas (Panshin y De-Zeeuw, 1970).

Los extraíbles pueden estar infiltrados completamente dentro de las paredes de las células, depositados en la superficie o tapando los lúmenes celulares, particularmente del duramen. En la madera se encuentran en proporciones muy bajas, que varían de 0,4 a 5,6% según la especie, aunque existen excepciones. Por ejemplo, se han reportado valores de entre un 20 a 25% de taninos en madera de quebracho (*Schinopsis quebracho-colorado*) (Panshin y De-Zeeuw, 1970).

A pesar de que la cantidad de extraíbles es muy baja, estos influyen en varias propiedades de la madera, como el olor y el color. Sin la presencia de los extraíbles, el reconocimiento macroscópico no sería posible, por lo que la madera se reconocería únicamente por un estudio anatómico microscópico (Panshin y De-Zeeuw, 1970).

Las maderas que poseen cantidades importantes de extraíbles, presentan cierto grado de resistencia natural al ataque de hongos e insectos, ya que los extraíbles incluyen compuestos tóxicos en su composición química que inhiben el ataque de estos. Además, influyen en la permeabilidad y en las propiedades físicas de la madera, como por ejemplo en la densidad básica, dureza y en la resistencia a la compresión (Panshin y De-Zeeuw, 1970).

Los extraíbles se pueden agrupar de acuerdo al solvente utilizado para la extracción. Es así como se reconocen extracciones en agua fría, en agua caliente, en etanol-tolueno y en soda (Díaz-Vaz, 2003).

La extracción en agua fría elimina las sales orgánicas presentes en los lúmenes celulares. Del mismo modo, se extraen los azúcares, gomas, galactanos, porciones de taninos y de pigmentos. Por otra parte, la extracción en agua caliente incrementa los solubles con agua fría y además hidroliza algunos polisacáridos (Díaz-Vaz, 2003).

La extracción con etanol-tolueno elimina de la madera ceras, grasas, resinas, aceites, colorantes orgánicos, taninos, gomas e incluso materiales solubles en agua (Díaz-Vaz, 2003).

Los solubles en soda, esto es, hidróxido de sodio al 1%, corresponden a poliosas (pentosanos y hexosanos), productos de degradación de celulosa, de lignina y algo de resinas (Díaz-Vaz, 2003).

En comparación con muchas otras especies, la madera de *Eucalyptus* tiene un alto contenido de extraíbles, que varía considerablemente según la especie. La cantidad de extraíbles fenólicos aumenta desde la médula hacia el exterior en el duramen, y disminuye en la albura. El mismo patrón de distribución se encuentra en todo el árbol, aún cuando los contenidos de extraíbles son menores en la parte superior (Hillis, 1978).

2.4.2. Composición química del *Eucalyptus globulus*

Existe una considerable variación en el contenido de los polímeros estructurales de la madera de las distintas especies del género *Eucalyptus*, debido a la existencia de especies y subespecies, adicionando además el grado de expansión geográfica que ha alcanzado. El contenido de celulosa varía entre 40 y 62 %; las poliosas entre 12 y 22 % y el de lignina entre 15 y 22 %. Además de estas variaciones entre especies, existen variaciones intraespecíficas. Como ejemplo, en el caso de *Eucalyptus globulus* se señala que, entre 260 árboles “plus”, el contenido de celulosa varió entre 30 y 57%, con un valor medio de 47% (Hillis, 1978.)

Pereira (1984), al estudiar la composición química del *E. globulus* Labill en España a seis alturas del fuste, encontró irregularidades en la variación de la composición química de las sustancias extraíbles. A su vez Ona (1997) demostró que los contenidos de sustancias extraíbles para el *Eucalyptus globulus* Labill y el *Eucalyptus camaldulensis* presentan diferencias porcentuales entre ambas especies, diferencias que disminuyen dentro del mismo árbol a las diferentes alturas estudiadas. Este autor, sugiere que este comportamiento está relacionado con las condiciones climáticas en que las plantas crecen, así como con las propias características genéticas de cada especie en particular.

Ona (1995), al estudiar los contenidos de lignina a lo largo del fuste observó también ciertas variaciones, con valores que oscilan entre 21,6% y 42,8%. Este autor realizó diez mediciones a lo largo del fuste del árbol en el *Eucalyptus globulus* Labill procedente de Australia.

Gutmann *et al.* (1971) realizaron estudios de caracterización química de *E. globulus* en un material experimental (aserrín) obtenido de un aserradero ubicado en las cercanías de Santiago, dedicado exclusivamente al procesamiento de madera de eucaliptos. Si bien la

muestra no puede considerarse representativa de la especie crecida a lo largo del país, cumple con la condición de proceder de varios árboles individuales, llegando a determinar los siguientes valores mencionados en el cuadro 1.

Cuadro 1: Composición química de la madera de *Eucalyptus globulus*, según Gutmann *et al.* (1971).

Extraíbles (%)	Lignina (%)	Holocelulosa (%)	Celulosa (%)
4,2	23,2	73,5	41,2

Valores calculados en base a peso seco, en duplicado.

Por otra parte, Mansilla *et al.* (1991) analizaron muestras de *Eucalyptus globulus* provenientes de individuos con edades entre 10 y 25 años y de troncos sin resina ni acumulación de nudos, obteniendo los valores indicados en el cuadro 2.

Cuadro 2: Composición química de la madera de *Eucalyptus globulus*, según Mansilla *et al.* (1991).

Extraíbles (%)	Lignina (%)	Holocelulosa (%)	Celulosa (%)
5,1	20,0	76,5	43,3

Valores calculados en base a peso seco, en duplicado, error < 2%.

Otro investigador (Peredo, 1999) realizó estudios de contenido de extraíbles y de lignina en *Eucalyptus globulus* sobre material proveniente de rodales pertenecientes a Bosques Arauco y Forestal Valdivia. En el caso de los extraíbles, las determinaciones fueron realizadas con el solvente etanol-tolueno, es decir, sólo una de las tres etapas del método de extracción utilizado en la presente memoria. Los resultados obtenidos por este autor se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3: Contenido de extraíbles y lignina según edad y procedencia para *Eucalyptus globulus*, según Peredo (1999).

Especie	Edad (años)	Porcentaje de extraíbles		Porcentaje de lignina	
		Bosques Arauco	Forestal Valdivia	Bosques Arauco	Forestal Valdivia
<i>E. globulus</i>	5-7	0,35	-	-	-
	8-10	0,44	0,58	19,5	20,5
	11-13	0,37	0,42	19,5	19,9
	14-16	0,36	0,36	18,5	19,9

Paz y Pérez (1999) realizaron análisis químicos a *Eucalyptus globulus* y a *Eucalyptus nitens*, detectando un menor contenido de lignina y un mayor contenido de holocelulosa en *Eucalyptus globulus*, lo que sería una característica favorable de esta especie desde el punto de vista de aptitud pulpable. En cuanto a los extraíbles, su presencia fue mayor en *Eucalyptus globulus*, lo que constituye una desventaja relativa. Los valores obtenidos por estos investigadores se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4: Análisis químico de *Eucalyptus globulus*, según Paz y Pérez (1999).

Componente	8 años	10 años	10-13 años	14 años	19 años
Extraíbles (%)					
- Agua fría	--	--	1,5	--	--
- Agua caliente	--	--	4,5	--	--
- Alcohol-Benceno	--	--	2,0	--	--
- Alcohol	1,4	--	--	1,0	1,3
Extraíbles (%) con Diclorometano (D.C.M), base masa seca.	--	0,32 - 0,42	--	--	--
Lignina (%)	23	22 – 23,5	21	19,7	20,4
Holocelulosa (%)	82,6	76 – 80	81	85,2	83,7
α- Celulosa (%)	50,2	--	--	52,0	50,0

A continuación, en el cuadro 5, se entregan los datos obtenidos por Paz (1994) a partir de una muestra compuesta por cinco árboles de *Eucalyptus globulus*, considerando tres procedencias y cuatro edades distintas. Como fue mencionado previamente los extraíbles

se determinan mediante tres extracciones. En el caso de los datos aportados por Paz (1994) los valores de extraíbles fueron determinados empleando sólo alcohol-benceno, mientras que las determinaciones de los demás constituyentes químicos fueron realizadas bajo las mismas normas empleadas en esta memoria.

Cuadro 5: Análisis químico de *Eucalyptus globulus*, según Paz (1994).

Procedencia	Edad	Holocelulosa (%)	α - Celulosa (%)	Lignina (%)	Extraíbles Alcohol-Benceno (%)
Leonera	19	83,7	50,0	20,4	1,3
Antiquina	18	84,8	50,4	20,3	1,0
Escuadrón	14	85,2	52,0	19,7	1,0
Escuadrón	8	82,6	50,2	23,0	1,4

2.5. Duraminización

La presencia de duramen es un tema que aun no tiene una explicación clara, existiendo interrogantes con respecto a su iniciación, periodicidad en su formación y fallas en la transformación de una parte de la albura. Debe hacerse notar que una parte de un determinado anillo de crecimiento puede estar en la albura y que otra puede estar presente en el duramen.

Durante la diferenciación celular las células modifican sus dimensiones y formas. En este proceso todas las células son modificadas, algunas en mayor medida que otras. La más notable es la muerte de las células parenquimáticas (Díaz-Vaz, 2003).

En las maderas duraminizadas se produce una serie de modificaciones, aparte de la muerte de las células parenquimáticas. Estas dicen relación con: la durabilidad natural, la permeabilidad, la oclusión de las punteaduras en coníferas, la formación de tílides en latifoliadas, modificación de la composición de las sustancias volátiles y modificaciones en la composición y proporción de compuestos accesorios (Díaz-Vaz, 2003). En el caso de los Eucaliptos ellos presentan un duramen mucho más ácido y resistente al ataque microbiológico que la albura, y su formación ocurre a temprana edad. Otro fenómeno a considerar en el duramen de estas especies es la presencia de tilosis en los vasos, lo que afecta el movimiento de líquidos dentro de la madera (Paz y Pérez, 1999).

La duraminización y los cambios asociados a ella aparecen en aquellas células que ya tienen varios años de existencia. Los cambios comienzan en las células parenquimáticas. En estas células, las sustancias de reservas que se han almacenado por un cierto tiempo son, en parte, responsables del inicio de la serie de transformaciones químicas, físicas y fisiológicas que caracterizan a este proceso de duraminización (Díaz-Vaz, 2003).

En algunos casos, la presencia de duramen puede considerarse una respuesta a una alteración en alguna de las funciones metabólicas del árbol, como por ejemplo cuando el vegetal es sometido a un factor de estrés. Así, la existencia de duramen congelado en algunos individuos debe su formación a un prolongado tiempo de exposición de este a bajas temperaturas. Según Larcher (1983) luego de que el vegetal genera la respuesta al factor estresante vendría una fase de resistencia, en la cual la planta se adaptará al factor estresante, retornando la función metabólica a la normalidad. Si este factor de estrés continua presente por un largo tiempo, la planta llegará a un estado de agotamiento, en el cual su función puede modificarse nuevamente, o producir la muerte de ella en el caso que el factor estresante se mantenga.

Estudios realizados por Scurlock *et al.* (1987) señalan que existe una relación cuantitativa entre la fotosíntesis y la productividad de las plantas. En cualquier especie, cuatro factores determinan el aumento de biomasa o productividad neta:

$$P_n = Q * b * e - R \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

P_n: Productividad neta.

Q: Cantidad de luz incidente.

b: Proporción de la luz incidente que es interceptada por los órganos verdes de la planta.

e: Eficiencia de la conversión fotosintética de la luz interceptada en la biomasa.

R: Pérdidas respiratorias de la biomasa.

Según este autor, en la ecuación 1 sugiere tres posibles formas por las cuales se podría incrementar la productividad. Se podrían modificar tres factores: R, b y e. La cantidad de luz incidente (Q) está determinada por el clima, y por lo tanto es independiente. La pérdida respiratoria de biomasa (R) en el mantenimiento de los tejidos existentes continúa siendo una de las mayores fuentes de pérdida de la productividad. La eficiencia de la

intersección de la luz (b) es una función del tamaño, estructura y color del dosel del vegetal. La eficiencia de la conversión de energía (e) está determinada directamente por el proceso fotosintético y expresa la relación directa entre productividad y fotosíntesis.

2.5.1. Tipos de duramen

Todas las especies inician la duraminización en algún momento de su desarrollo. Esto significa que todos los árboles pueden duraminizar, a pesar de que la duraminización no siempre signifique modificaciones perceptibles a simple vista o modificaciones en las propiedades de este material. A continuación se mencionan y caracterizan los principales tipos de duramen existentes (Diaz-Vaz, 2003).

Duramen coloreado: Este tipo corresponde a una modificación notoria del color o tonalidad de la albura como resultado de la duraminización. Madera con este duramen es, por ejemplo, la de *Fitzroya cupressoides* (alerce), cuyo color café rojizo oscuro homogéneo contrasta notoriamente con el color amarillo claro que tiene la madera de albura. En algunas especies el duramen también puede tener una coloración heterogénea, con bandas irregulares de tono más oscuro como ocurre en algunos individuos de *Nothofagus dombeyi* (coigüe).

Duramen no coloreado: Es este caso el duramen no presenta un cambio notorio de coloración luego de la duraminización. Este tipo de duramen se encuentra en *Araucaria araucana* (araucaria) y *Podocarpus sp.* (mañío), maderas que no tienen mayores diferencias de color entre duramen y albura.

Duramen verdadero: Se espera que con la duraminización la madera adquiera una serie de singularidades además de su coloración, entre las que se pueden mencionar una mayor durabilidad, reducción de la permeabilidad y diversos cambios físicos, químicos, anatómicos y fisiológicos. La presencia de estos cambios producen un duramen que permite denominarlo “duramen verdadero”.

Duramen falso: Contrario a lo anterior, algunas maderas muestran un tipo de duramen que, a pesar de presentar cambios en el color, no tiene las singularidades típicas que se

esperan de un duramen verdadero, como por ejemplo mayor durabilidad y menor permeabilidad. A este tipo de duramen se le denomina “duramen falso”.

Duramen obligatorio: Otra forma de diferenciar los durámenes se relaciona con la presencia de ciertas características de la madera en los árboles, luego que estos alcanzan una cierta edad o diámetro. Al respecto, cuando todos los árboles de una especie a una edad o diámetro determinado presentan un duramen distinguible, se considera que tienen un duramen obligatorio. Este es el tipo de duramen que presenta la mayor parte de las especies forestales chilenas.

Duramen facultativo: contrario a lo anterior, se le denomina árboles con duramen facultativo a aquellos en que, luego de cierta edad o diámetro, y en condiciones de crecimiento comparable, sólo algunos individuos de la especie presentan un duramen perceptible. La madera de *Laurelia philippiana* (tepa) puede catalogarse dentro de las que tienen este tipo de duramen.

Duramen congelado: es un duramen anormal e irregular formado en algunas especies de *Acer*, *Fagus sylvatica* y *Fraxinus excelsior* como una respuesta a los severos inviernos europeos de 1928-1929 y 1941-1942, cuando las temperaturas llegaron a ser inferiores a -30 °C (Hillis, 1987).

Duramen húmedo: este último tipo de duramen se puede encontrar tanto en coníferas como en latifoliadas. El duramen húmedo se asocia a la presencia de bacterias que colonizan esta parte del árbol.

2.5.2. Diferenciación del tejido duraminizado

Poder distinguir el límite entre albura y duramen en especies de duramen coloreado es un trabajo fácil de realizar de manera visual, sin embargo, en algunas especies de duramen no coloreado, la albura y el duramen presentan el mismo color, por lo que no se distingue con facilidad el tejido duraminizado. En estos casos es necesario recurrir a tinciones diferenciales, las cuales intensifican las diferencias entre los dos tipos de maderas, permitiendo así definir la frontera entre albura y duramen. Entre las tinciones conocidas se pueden mencionar: azul de bromo fenol, verde de bromo cresol, rojo de

metilo, hematoxilina, tornasol, alizarina, rojo de clorofenol y rojo de fenol, entre otros (Giordano, 1971).

2.5.3. Variación del tamaño del duramen en los árboles

El momento en que comienza la formación de duramen varía según la especie, en algunas se inicia a corta edad, mientras que en otras sólo se produce cuando se alcanzan edades mayores o diámetros de cierta envergadura. Tales diferencias también pueden presentarse dentro de individuos de una misma especie. Por otra parte, la variación del diámetro del duramen aumenta desde la base del árbol hacia el DAP, para luego decrecer con la altura en el fuste. No siempre es posible apreciar esta disminución a medida que se incrementa en altura. En madera de renovales de especies con duramen obligatorio y coloreado no se encontraron diferencias importantes del diámetro de duramen, entre las tres primeras trozas correspondientes a diferentes alturas en el fuste (Diaz-Vaz, 2003).

Además de la influencia de la edad y del diámetro, el duramen también es afectado por la posición sociológica de los árboles. En el caso de *Pinus radiata* (pino insigne) los diámetros de duramen en árboles dominantes son mayores, cualquiera sea la altura dentro del fuste, cuando se comparan con los diámetros de duramen en los árboles codominantes. Lo anterior podría asociarse a una mayor tasa de conversión de las sustancias que se transforman en la pared celular en el caso de los árboles dominantes, lo que incidiría en una más pronta aparición de duramen; en cambio, los codominantes transformarían menos y almacenarían mayor cantidad de estas sustancias (Diaz-Vaz, 2003).

2.6. Densidad básica

La densidad básica o peso específico de la madera es el cociente entre el peso seco de una muestra de madera y su volumen verde o saturado (Libby, 1969) y depende de varios factores, muchos de ellos propios de cada especie y otros relacionados con el medio ambiente. Además, la densidad de la madera tiene relación con cada una de las propiedades físicas, mecánicas y químicas (Prado y Barros, 1991).

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 clima templado, la razón principal de que aparezca el anillo de crecimiento está dada por la diferencia en el crecimiento entre las células formadas inicialmente y las constituidas al final del período 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).

Una de las causas por las cuales la madera tiende a aumentar su densidad desde la médula 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 el largo del árbol, y las características de esa madera se relacionan estructuralmente con la edad (Daniel *et al.*, 1982).

El estudio de la densidad se hace importante cuando se relaciona estrechamente con el rendimiento por unidad de volumen que se puede obtener de una madera destinada como materia prima pulpable (Consuegra, 1994).

La densidad de la madera presenta una gran influencia en muchas propiedades y procesos de conversión, incluyendo el aserrío, secado, encolado y en el rendimiento en la fabricación de pulpa y papel, siendo un buen indicador de la resistencia, dureza y durabilidad de la madera (Prado y Barros, 1991).

2.6.1. Factores que determinan la densidad de la madera

Existen algunos factores que inciden en la densidad de la madera, tales como cantidad de madera de primavera y verano, tamaño de las fibras, espesor de pared, tipo y diámetro de células y contenido de extraíbles presentes en la madera. La presencia y cantidad relativa de estos últimos está a su vez influenciada por la edad de los árboles y su interacción con el medio ambiente (Prado y Barros, 1991).

Otros factores que también inciden en la densidad de la madera son el sitio y la heredabilidad; este último permite, además, un mejoramiento a través de la selección genética (Prado y Barros, 1991).

2.6.2. Densidad básica del *Eucalyptus globulus*

Estudios realizados por Consuegra (1994) concluyen que la densidad básica para *Eucalyptus globulus* fluctúa entre 0,55 y 0,71 g/cm³, observándose una tendencia a aumentar a medida que se incrementa en altura del fuste. Una situación inversa se produce en el caso del *Pinus radiata*.

Por otra parte, Mansilla *et al.* (1991) obtuvieron un valor promedio de densidad para árboles de *Eucalyptus globulus* entre los 10 y 25 años de 0,71 g/cm³, mientras que Saavedra (2004) obtuvo valores que fluctúan entre 0,530 g/cm³ y 0,685 g/cm³, presentando un valor medio de 0,610 g/cm³. Se observó además, que existe una notoria tendencia de la densidad básica a aumentar con la edad y desde médula a corteza, concordando plenamente con trabajos realizados sobre esta especie por otros investigadores (Consuegra, 1994; Igartua, 2000; De Castro, 2002; Miranda *et al.*, 2003).

Peredo (1999) realizó estudios en rodales de *Eucalyptus globulus* provenientes de Bosques Arauco y de Forestal Valdivia, obteniendo como resultado los datos que se señalan en el cuadro 6.

Cuadro 6: Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus*, según Peredo (1999).

Bosque Arauco			Forestal Valdivia		
Especie	Edad (años)	Densidad (Kg/m ³)	Especie	Edad (años)	Densidad (Kg/m ³)
<i>E. globulus</i>	5-7	466	<i>E. globulus</i>	-	-
	8-10	492		8-10	464
	11-13	522		11-13	488
	14-16	544		14-16	508

Así también, estudios realizados por Paz y Pérez (1999), en *Eucalyptus globulus* de diferentes edades, permitieron determinar los valores de densidad básica que se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7: Densidad básica de *Eucalyptus globulus* a diferentes edades, según Paz y Pérez (1999)

Propiedad	8 años Chile	10-13 años Chile	14 años Chile	19 años Chile
Densidad básica (Kg/m ³)	533	560	561	561

Según Prado y Barros (1991), y concordando con los resultados obtenidos por Peredo (1999), la densidad de *Eucalyptus globulus* tiende a disminuir de norte a sur, aunque manteniéndose dentro de un rango relativamente estrecho, cuyo valor medio es de 540 kg/m³.

Además, la densidad básica de muchas especies presenta valores muy inferiores a los que se encuentran en su hábitat originario. En el caso de *Eucalyptus globulus*, los valores de esta propiedad determinados en Australia fluctúan entre 730 y 800 Kg/m³ (Prado y Barros, 1991).

Paz (1994), dentro de un estudio realizado en *Eucalyptus globulus* con muestras provenientes de árboles de distintas edades y proveniencias, encontró los valores de densidad básica que se indican en el cuadro 9.

Cuadro 9: Densidad básica de *Eucalyptus globulus*, según Paz (1994).

Procedencia	Edad (años)	Densidad básica (Kg/m ³)
Leonera	19	561
Antiquina	18	563
Escuadrón	14	561
Escuadrón	8	533

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Materiales

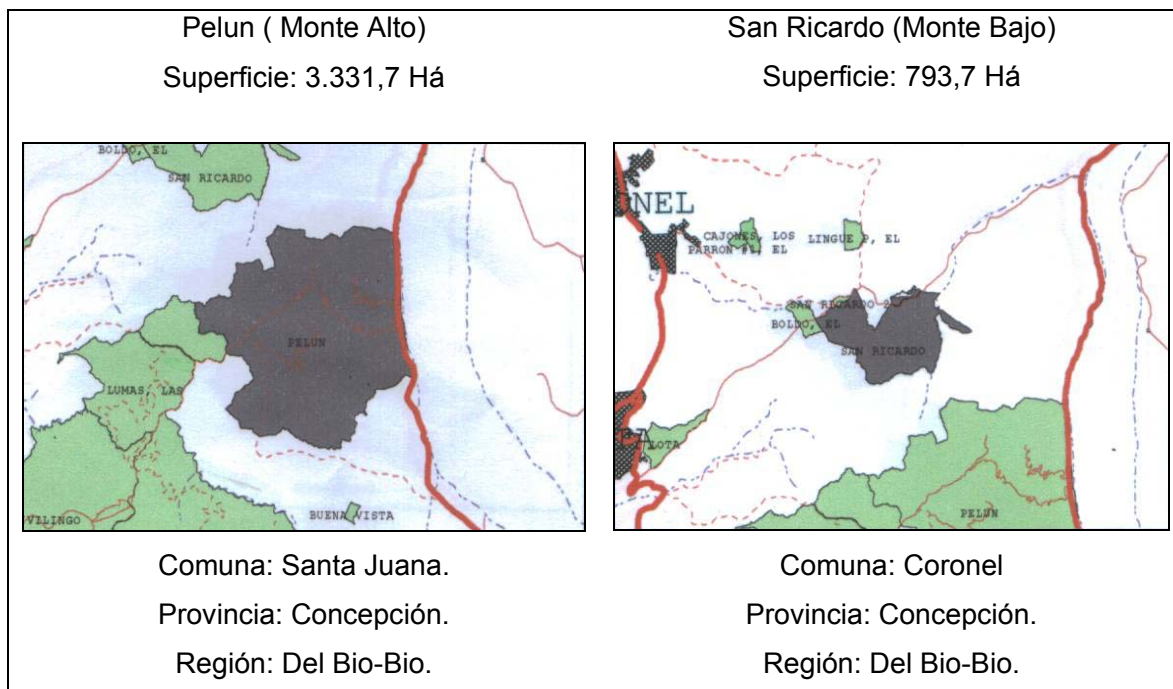
3.1.1. Madera

Para la realización de este estudio se emplearon rodelas de madera pulpable de *Eucalyptus globulus*, de 5 cm de espesor y diámetro que varió entre los 8 y 25 cm, siendo el primero el mínimo diámetro comercial que utiliza Bosques Arauco, empresa que suministró el material para la investigación. Estas rodelas fueron extraídas de diez árboles provenientes de dos rodales, cada uno con diferente tipo de manejo; cinco individuos de monte alto y cinco de monte bajo. La información de cada rodal se presenta en el cuadro 10 y la ubicación geográfica en la figura 5.

Cuadro 10. Antecedentes de los rodales muestreados según inventario de 2001.

Características del rodal	Nombre del predio	
	Pelun (Monte Alto)	San Ricardo (Monte Bajo)
Edad (años)	13	14
Año de plantación	1991	1990
Exposición	NE	N
Pendiente (%)	5	30
Índice de sitio	24,9	25,9
Altura media (m)	16,8	17,9
Diámetro promedio (cm)	14,5	15,0
N° de arb/ha.	640	920
N° de árboles muestreados	5	5

Figura 5: Ubicación geográfica de los rodales de Monte Alto y Monte Bajo.



3.1.2. Obtención de las muestras

El procedimiento que se utilizó para la obtención de las muestras, y que se describe a continuación, es el mismo para la madera proveniente de monte alto y de monte bajo.

En cada uno de los rodales (monte alto y monte bajo) se eligieron 5 árboles al azar, sin considerar las dos primeras corridas de plantación de la zona perimetral, de manera de evitar la elección de individuos no representativos del rodal (“árboles borde”).

Se procedió a la marcación del norte y al volteo de cada árbol (Figura 6) y se retiró la primera rodela basal de 5 cm de espesor, para luego continuar con la obtención de las restantes rodelas, distanciadas una de otra en 2,44 m (longitud del metro ruma). Este procedimiento continuó hasta obtener una rodela de 8 cm de diámetro, considerado éste como el mínimo diámetro comercial. El procedimiento que se utilizó para la obtención de las rodelas se muestra en las figuras 7 y 8.



Figura 6: Volteo de los árboles



Figura 7: Obtención de rodela con motosierra.

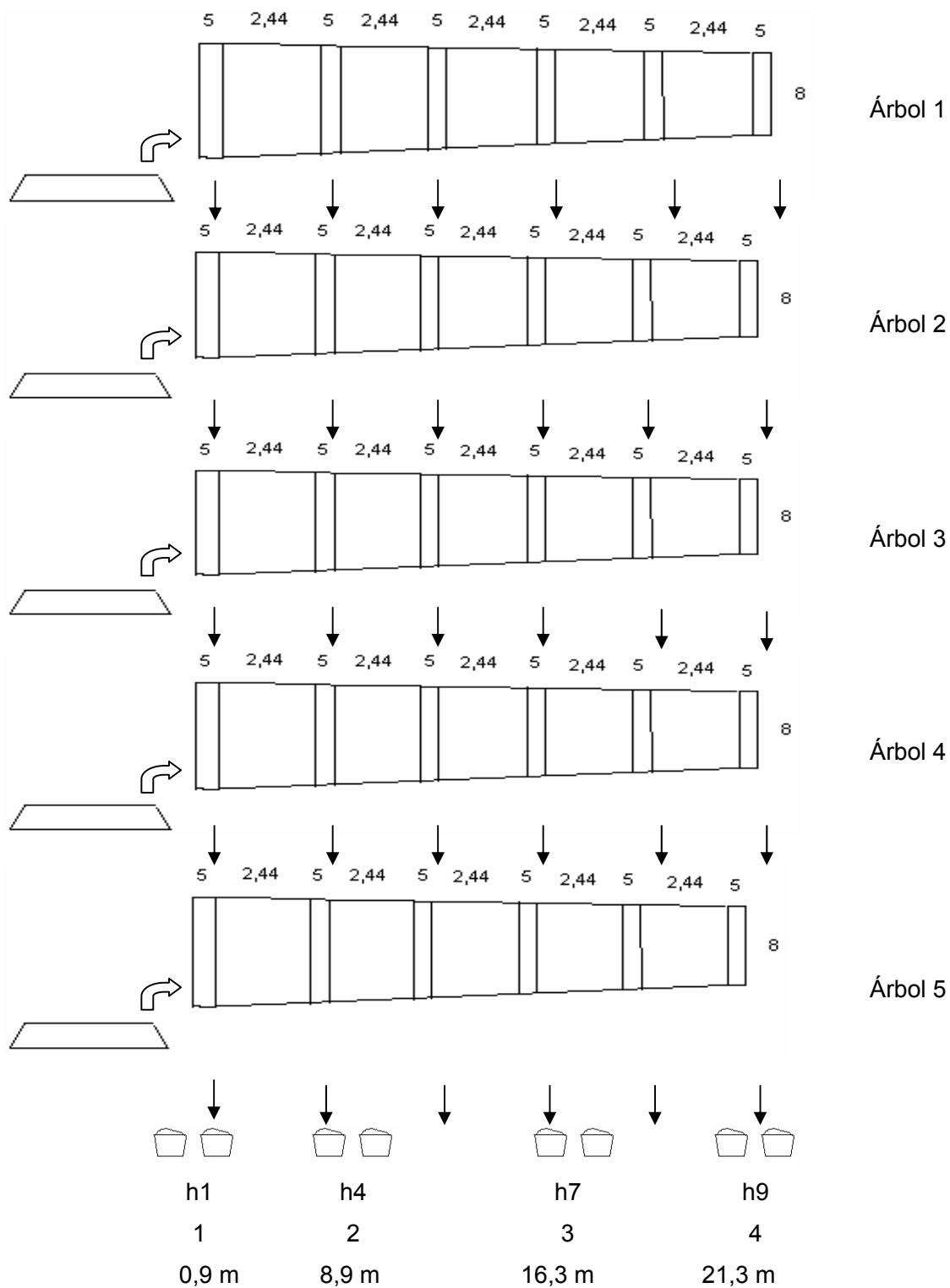


Figura 8: Rodelas de *E. globulus*.

Luego de obtenidas las rodela a las diferentes alturas, se determinó en ellas el porcentaje de duramen, diámetro y presencia de madera de tracción. A continuación fueron secadas al aire (temperatura ambiente aproximada de 15 °C) por dos a tres semanas.

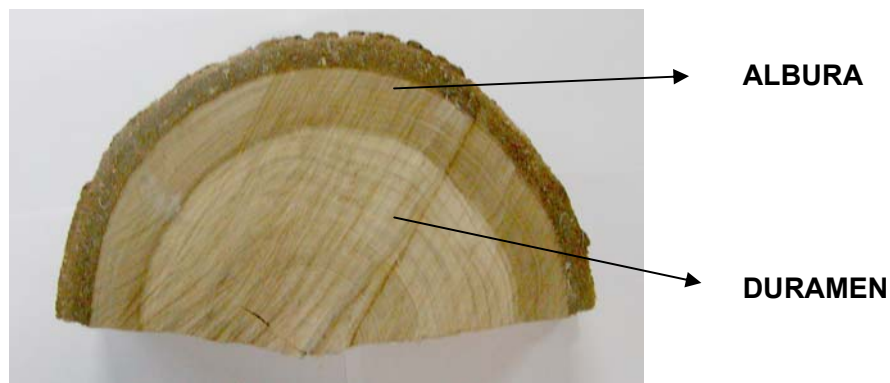
Tanto para los cinco individuos provenientes de monte alto como para los cinco provenientes de monte bajo, y a objeto de determinar la composición química en duramen, albura y altura, se procedió como se indica a continuación. Se seleccionaron las rodela a las alturas h1, h4, h7 y h9, encontrándose estas a una altura aproximada en el árbol de 0,9; 8,9; 16,3 y 21,3 m respectivamente, como se muestra en la figura 9.

Figura 9: Forma de obtención de muestras (rodela) de madera de *Eucalyptus globulus* proveniente de monte alto y monte bajo.



Estas rodela fueron divididas radialmente en dos sectores, duramen y albura, como se indica en la figura 10. A continuación, el material correspondiente al duramen de las cinco rodela a la altura h1 y, separadamente, el correspondiente a la albura para la misma altura, fue molido, homogeneizado y tamizado a la granulometría indicada en las respectivas normas TAPPI, que fueron las empleadas para las determinaciones químicas. Igual procedimiento se aplicó a las restantes rodela de las alturas seleccionadas, de modo de realizar la caracterización química en función de este parámetro.

Figura 10: Rodela de *Eucalyptus globulus* dividida radialmente en dos zonas, albura y duramen.



El número de muestras obtenidas para el estudio fue de $2 \times 4 \times 2$, es decir, dos muestras por cada altura (albura y duramen), cuatro alturas por árbol y dos tipos de rodela (dos tipos de manejo, monte alto y monte bajo); dando como resultado un total de dieciséis muestras. Por condición normal de crecimiento de los árboles, en la parte superior de algunos de ellos no se encontró presencia de duramen. Por esta razón, el número de muestras, considerando albura y duramen, fue finalmente de seis para monte alto y siete para monte bajo, haciendo un total de trece muestras para el análisis. Hay que mencionar que el número de repeticiones fue de tres, reduciéndose a dos en los casos en que el material para análisis era escaso.

3.1.3. Reactivos

Los reactivos ocupados fueron aquellos necesarios para la realización de las determinaciones químicas, las cuales se encuentran normalizadas.

3.1.4. Equipos

Para la realización de las determinaciones de los componentes químicos estructurales se utilizaron los equipos existentes en el laboratorio de Química de la Madera (Departamento de Ingeniería de la Madera), dentro de los cuales están los siguientes:

- Molino de cuchillos Wiley
- Balanza analítica (figura 11)
- Equipo de extracción Soxhlet (figura 12)
- Estufa de secado
- Bomba de vacío
- Baño termostático
- Rotavapor
- Autoclave (figura 13)



figura 11: Balanza analítica y Desecador



figura 12: Equipo de extracción Soxhlet



Figura 13: Autoclave

3.2. Método

3.2.1. Objetivo específico 1

A objeto de comparar la composición química y su variabilidad en albura, duramen y altura, de madera proveniente de individuos de monte alto y monte bajo, se hizo uso del material madera obtenido según se indica en el apartado 3.1.2. Las normas TAPPI (1992) que se utilizaron en las determinaciones de la composición química de la madera fueron las siguientes:

- T 264 om-88 Esta norma es para extraer los componentes no estructurales (extraíbles) de la madera.
- T 222 om-88, para lignina Klason.
- T 203 om-88 para holocelulosa cruda.
- T 203. om-88, para α -celulosa.

3.2.2. Objetivo específico 2

El duramen es un tejido muerto que se considera sin ninguna actividad vegetativa, vale decir, las células que componen este tejido están “fisiológicamente muertas”. Por su parte, la albura presenta algunas células vivas que son responsables de los procesos metabólicos. Este último tejido reacciona con el lugol dando un color violeta a la madera, en cambio el duramen no presenta cambio de color, reconociéndose de esta manera las dos zonas en estudio.

El porcentaje de duramen se determinó midiendo el volumen de duramen con respecto al volumen total del árbol, empleándose para ello todos los árboles muestreados.

3.2.3. Objetivo específico 3

La densidad básica se determinó calculando la razón entre el peso anhidro de la madera y su volumen saturado. Las probetas utilizadas en las determinaciones fueron extraídas de una vigueta central de las rodelas.

El estado de saturación de las probetas se obtuvo por inmersión en agua durante varios días, hasta lograr el estado de saturación, empleando para ello una cámara de vacío. El volumen verde se determinó por el método de desplazamiento de agua (Norma NCh 176/2). Posteriormente las probetas se secaron en estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por el periodo de tiempo necesario para lograr el peso anhidro estable.

3.2.4. Análisis estadístico

Luego de obtenidos los datos, estos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANDEVA), con un error de 5%, para un diseño completamente al azar (DCA) de efectos fijos, de manera separada para monte alto y monte bajo. Posteriormente, cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de composición química obtenidos en duramen y albura, para las distintas alturas consideradas en el estudio, estos fueron analizados por medio de comparaciones de medias, empleándose para ello la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan (Montgomery, 1991).

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos en la caracterización físico-química de madera pulpable de *Eucalyptus globulus*, tanto para albura como para duramen, a las diferentes alturas del árbol y para los dos tipos de manejo considerados.

Los valores obtenidos para cada determinación son presentados como promedio de tres repeticiones. La metodología seguida para analizar los resultados obtenidos fue indicada en el apartado 3.2.4.

4.1. Valores promedio de las características físico-químicas de la madera pulpable de *Eucalyptus globulus*.

A continuación se entregan tabulados los resultados experimentales (valores promedio) obtenidos para todas las variables cuantificadas en el estudio, separadas por monte alto y monte bajo.

Cuadro 11: Composición química de *Eucalyptus globulus* en monte alto.

Componente	Altura								Promedio
	1 (0.9 m)		2 (8.9 m)		3 (16.3 m)		4 (21.3 m)		
	Albura	Duramen	Albura	Duramen	Albura	Duramen	Albura	Duramen	
Extraíbles (%)	1,15	3,88	1,44	2,84	1,67	-	2,27	-	2,21
Desv. Est.	0,44	0,23	0,24	0,27	0,02	-	1,31	-	
Lignina (%)	17,51	20,37	16,35	19,38	17,78	-	17,92	-	18,22
Desv. Est.	0,43	0,4	0,41	0,06	0,31	-	0,07	-	
Holocelulosa (%)	82,78	82,94	83,09	83,08	82,81	-	83,07	-	82,96
Desv. Est.	0,92	1,42	0,3	0,89	0,57	-	0,63	-	
A-celulosa (%)	49,58	44,95	47,51	44,69	44,47	-	44,37	-	45,93
Desv. Est.	0,49	0,43	0,56	0,44	0,37	-	0,3	-	

Cuadro 12: Composición química de *Eucalyptus globulus* en monte bajo.

Componente	Altura								Promedio
	1 (0.9 m)		2 (8.9 m)		3 (16.3 m)		4 (21.3 m)		
	Albura	Duramen	Albura	Duramen	Albura	Duramen	Albura	Duramen	
Extraíbles (%)	2,66	6,58	2,17	2,31	1,83	3,13	1,81	-	2,93
Desv. Est.	0,4	0,24	0,06	0,16	0,07	0,09	0,02	-	
Lignina (%)	19,83	20,01	16,01	18,02	17,8	19,44	18,55	-	18,52
Desv. Est.	0,39	0,82	0,38	0,05	0,16	0,6	0,14	-	
Holocelulosa (%)	82,84	83,1	85,47	84,04	83,53	82,08	82,89	-	83,42
Desv. Est.	0,25	1,04	0,48	1,02	0,47	0,32	0,3	-	
α-celulosa (%)	50,63	48,52	52,85	47,63	47,85	44,69	46,78	-	48,42
Desv. Est.	0,93	1,11	0,56	0,51	0,48	0,22	0,25	-	

Cuadro 13: Volumen porcentual de duramen de *Eucalyptus globulus* en monte alto y monte bajo.

Monte Alto		Monte Bajo	
Árbol	% Duramen	Árbol	% Duramen
1	30,58	A	48,23
2	39,72	B	52,81
3	36,95	C	56,91
4	27,93	D	38,18
5	50,64	E	33,06
Prom. %	37,16	Prom. %	45,84

Cuadro 14: Densidad Básica de *Eucalyptus globulus* en monte alto y monte bajo.

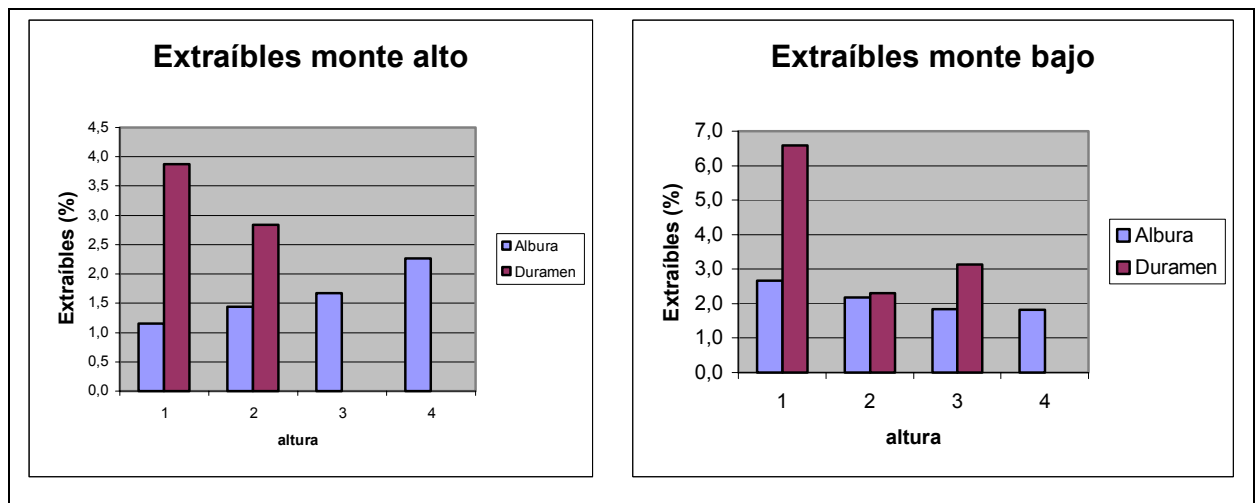
Tipo de manejo	Densidad (g/cm ³)								Promedio
	Altura								
	h1		h2		h3		h4		
	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna	Zona externa	Zona interna	
Monte Alto	0,519	0,473	0,528	0,509	0,524	0,524	0,548	0,607	0,524
Desv. Est.	0,051	0,03	0,059	0,033	0,044	0,039	0,073	0,049	
	h1		h2		h3		h4		
	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna	Promedio
Monte Bajo	0,622	0,479	0,649	0,568	0,671	0,604	0,659	0,608	0,601
Desv. Est.	0,044	0,046	0,041	0,046	0,036	0,052	0,067	0,072	

(*) Zona con presencia de duramen.

4.2. Variación de las características físico-químicas de la madera de *Eucalyptus globulus*

4.2.1. Variación del contenido de extraíbles con la altura en monte alto y monte bajo

Figura 14: Variación del contenido de extraíbles en monte alto y monte bajo



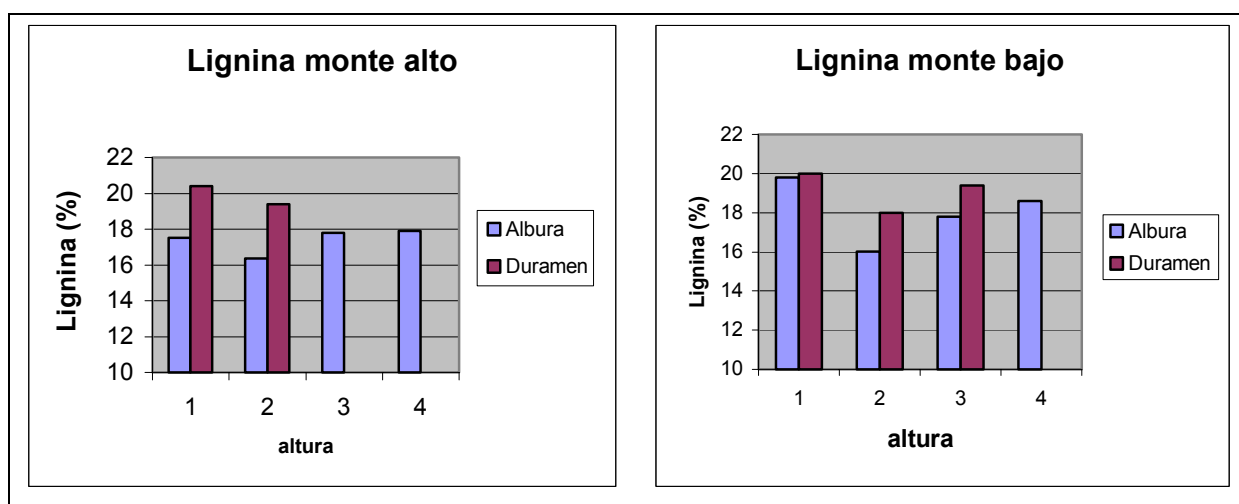
A partir de la figura 14, se puede apreciar que el porcentaje de extraíbles presente en monte alto muestra un comportamiento inverso en albura y duramen, creciente con la altura en el primer caso y decreciente en el segundo. Desde el punto de vista estadístico, y tanto en albura como en duramen, existen diferencias significativas en el contenido de extraíbles entre todas las alturas. En monte bajo y en duramen existe una marcada y abrupta diferencia en el contenido de extraíbles de la primera altura con respecto a la que sigue, para luego aumentar en la tercera altura en dirección al ápice, tales diferencias son observadas con significancia estadística. Para el caso de la albura el contenido de extraíbles es moderadamente decreciente con la altura, sin embargo, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre las alturas 2, 3 y 4.

El valor porcentual promedio obtenido para el contenido de extraíbles fue de 2,21% para monte alto y 2,93% para monte bajo, valores que son menores a los reportados por otros autores. Así por ejemplo, Gutmann *et al.* (1971) mencionan contenidos de extraíbles promedio de 4,2% para *Eucalyptus globulus*, mientras que Mansilla *et al.* (1991) determinaron valores cercanos al 5% para esta misma especie. Las diferencias

observadas en el contenido de extraíbles medido en este estudio con los reportados por los autores anteriormente mencionados puede deberse, al origen de la madera y la edad de los árboles empleados. En el trabajo de Gutmann *et al.* (1971), las determinaciones se hicieron sobre aserrín, mientras que Mansilla *et al.* (1991) consideraron árboles de edades entre 10 y 25 años. En el presente trabajo se emplearon rango de edad menor y, como es sabido, los árboles de edades mayores contienen una cantidad de extraíbles superior a los juveniles dado su mayor porcentaje de duramen, tejido que presenta depositaciones superiores de estas sustancias orgánicas, situación que también se refleja en los resultados de esta memoria.

4.2.2. Variación del contenido de lignina con la altura en monte alto y monte bajo

Figura 15: Variación del contenido de lignina en monte alto y monte bajo



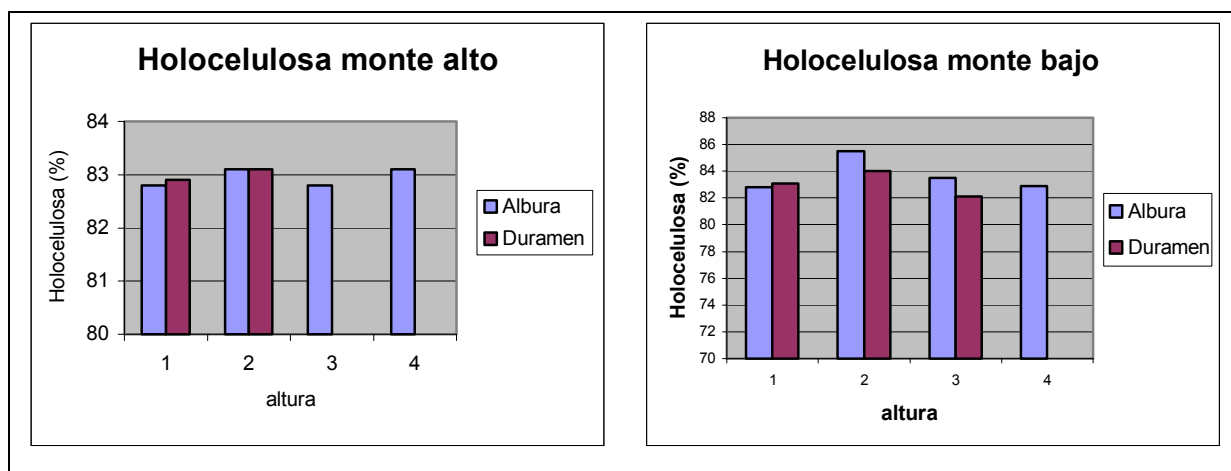
Según muestra la figura 15, en el caso de monte alto la variación del contenido de lignina en la albura al aumentar la altura muestra una tendencia a decrecer en las dos primeras alturas, aumentando su porcentaje en las dos últimas, aunque el análisis estadístico no mostró diferencias significativas en la albura de las alturas 3 y 4, sin embargo, si existe diferencia estadísticamente significativa entre la albura de la altura 2 con las demás. En el caso del duramen presenta un descenso, que estadísticamente, está representado por la diferencia significativa que existe entre las alturas 1 y 2. Para el caso de monte bajo, la variación del contenido de lignina con la altura en albura y duramen presenta un comportamiento similar, sin embargo, desde el punto de vista estadístico, la albura no presenta diferencias significativas en las alturas 3 y 4, para el caso del duramen las

diferencias estadísticas se observan entre la altura 2 con las demás, debido probablemente a que en dicha altura existía la presencia de madera de tracción la que, en su composición química presenta porcentajes menores de esta sustancia orgánica (Kollmann, 1959). Además se observó, para una misma altura, que el porcentaje de lignina es mayor en el duramen que en la albura, debido probablemente a que todas las células de este tejido están lignificadas, en cambio en la albura, parte de su tejido aún no se lignifica.

La lignina presenta valores promedio de 18,22% para monte alto y de 18,52% para monte bajo, valores levemente inferiores comparados con los reportados por la literatura citada (Gutmann *et al.*, 1971; Mansilla *et al.*, 1991; Ona, 1995; Peredo, 1999; Paz y Pérez, 1999; Paz, 1994) debido probablemente, a que el material utilizado en sus estudios se encontraban en un rango de edad superior, obteniendo como consecuencia porcentajes mayores de duramen, tejido que presenta lignificación en sus células. Es importante destacar que los valores de contenido de lignina determinados en el presente trabajo se encuentran en el rango usual para el género *Eucalyptus*, 15 a 22% según Hillis (1978).

4.2.3. Variación del contenido de holocelulosa con la altura en monte alto y monte bajo

Figura 16: Variación del contenido de holocelulosa en monte alto y monte bajo

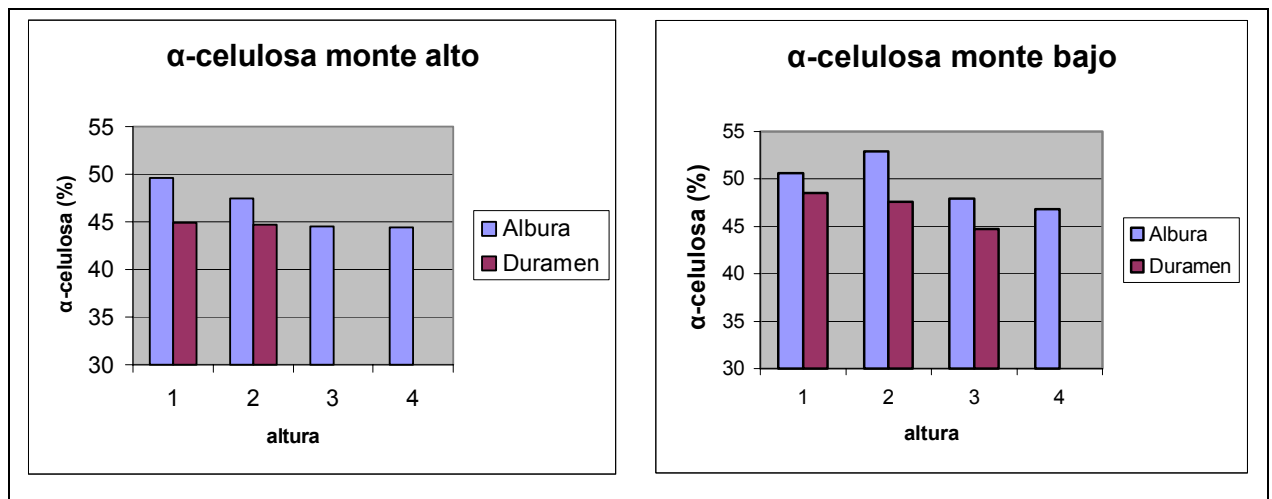


Como se aprecia en la figura 16, el contenido de holocelulosa presente en la madera no varía de manera notoria al aumentar la altura. De aquí se desprende entonces que existe un comportamiento homogéneo del contenido de holocelulosa en albura y en duramen, tanto para monte alto como para monte bajo. Desde un punto de vista estadístico, tal apreciación general es válida sólo para monte alto, ya que para monte bajo sí se detectaron diferencias significativas, aunque sólo en algunos casos, por ejemplo, la albura de la altura 2 con las otras alturas en estudio y, para el duramen esta situación también se presenta en la altura 3 al ser comparadas con las demás. El contenido de holocelulosa en general es mayor en la altura 2, debido probablemente a la presencia de madera de tracción que, además de presentar menor contenido de lignina, existe mayor depositación de celulosa (Kollmann, 1959) afectando la composición química de la madera en dicha altura

Para monte alto y monte bajo, los valores promedio del contenido de holocelulosa que se obtuvieron fueron de 82,96% y 83,42% respectivamente, y se encuentran por sobre los porcentajes presentados por Gutmann *et al.* (1971) y Mansilla *et al.* (1991) debido probablemente, al igual que en los casos anteriores, al material utilizado en sus estudio. Sin embargo, se encuentran dentro de los mencionados por Paz y Pérez (1999) y Paz (1994) para esta misma especie.

4.2.4. Variación del contenido de α -celulosa con la altura en monte alto y monte bajo

Figura 17: Variación del contenido de α -celulosa en monte alto y monte bajo



De la figura 17 se desprende que en monte alto el contenido de α -celulosa presente en la albura fue notoriamente decreciente a medida que se avanzó en altura, aunque estadísticamente, no existen diferencias significativas en las dos últimas alturas en estudio. En cambio, el duramen presenta un descenso moderado a medida que avanzamos en la misma dirección, determinándose además, que no existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de α -celulosa de las alturas 1 y 2. Para el caso de monte bajo, la albura presenta un aumento en el contenido de α -celulosa en las dos primeras alturas, descendiendo en las dos últimas a medida que se avanza en altura, desde un punto de vista estadístico las alturas 3 y 4 no muestra diferencia significativa. El duramen presenta un descenso en el contenido de α -celulosa con la altura. Sin embargo, tales variaciones no se reflejan en diferencias estadísticamente significativas en el contenido de α -celulosa en las alturas 1 y 2. El contenido de α -celulosa en general es mayor en la altura 2, debido probablemente, y al igual que en el caso de la holocelulosa, a la presencia de madera de tracción la que contiene mayor depositación de celulosa (Kollmann, 1959) afectando la composición química de la madera en dicha altura. El porcentaje de α -celulosa presenta valores mayores en albura que en duramen y se debe, a que la albura presenta células que aun no comienzan su etapa de lignificación.

La α -celulosa obtenida presenta valores promedios de 45,93% para monte alto y 48,42% para monte bajo, porcentajes que se encuentran entre los rangos mencionados en la literatura citada para esta especie.

4.2.5. Volumen porcentual de duramen en monte alto y monte bajo

Figura 18: Volumen porcentual de duramen en monte alto y monte bajo

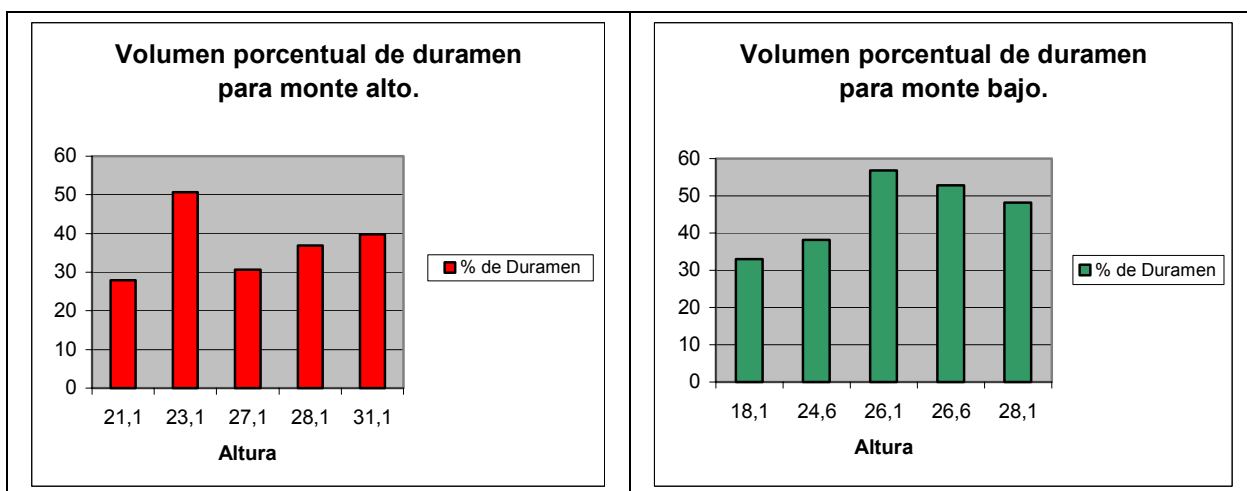
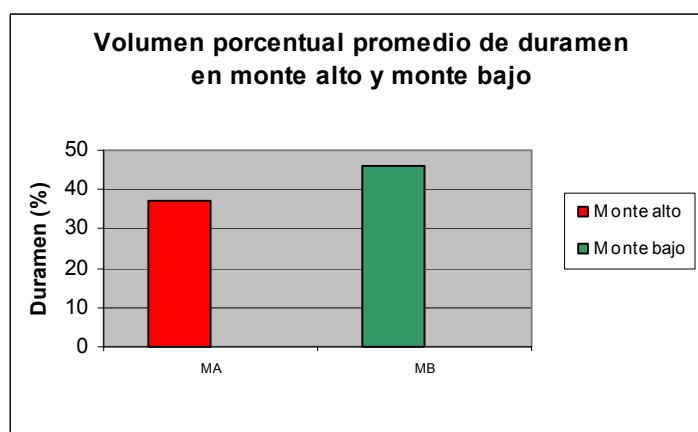


Figura 19: Volumen porcentual promedio de duramen en monte alto y monte bajo



En la figura 18, se ha graficado el volumen porcentual de duramen con respecto a la altura total de cada uno de los cinco individuos provenientes tanto de monte alto como de monte bajo. Como se puede apreciar, en ambos tipos de manejo, no parece existir una relación clara entre altura total y porcentaje de duramen. Por otra parte, en la figura 19, se puede observar que el porcentaje promedio de duramen es mayor en monte bajo que en

monte alto, alcanzando un 45,84% en el primer caso y un 37,16% en el segundo. El análisis estadístico para la variable volumen porcentual de duramen, considerando los cinco valores asociados a cada tipo de manejo como repeticiones de una misma muestra, no mostró diferencias significativas, debido probablemente a que en ambos casos (al interior de cada grupo) la dispersión de los valores respecto a su media es suficientemente grande como para no permitir diferenciar, con certeza estadística, tratamientos distintos.

Como fue mencionado, el volumen porcentual de duramen observado en monte bajo es, en promedio, mayor que el observado en monte alto. Una posible explicación a lo anterior podría basarse en los estudios realizados por Scurlock *et al.* (1987), los que señalan que existe una relación cuantitativa entre la fotosíntesis y la productividad de las plantas. Según este autor la productividad neta depende de cuatro factores: cantidad de luz incidente, proporción de la luz incidente que es interceptada por los órganos verdes de la planta, eficiencia de la conversión fotosintética de la luz interceptada en la biomasa y pérdidas respiratorias de la biomasa. Este último factor se relaciona de manera inversamente proporcional con la productividad neta. Si se asocia este estudio con la formación de duramen, podría indicarse que el manejo como monte bajo elimina órganos verdes de la planta (raleo de rebrotes), disminuyendo así la productividad neta del individuo, determinando esto la muerte de algunas células y comenzando posiblemente la duraminización.

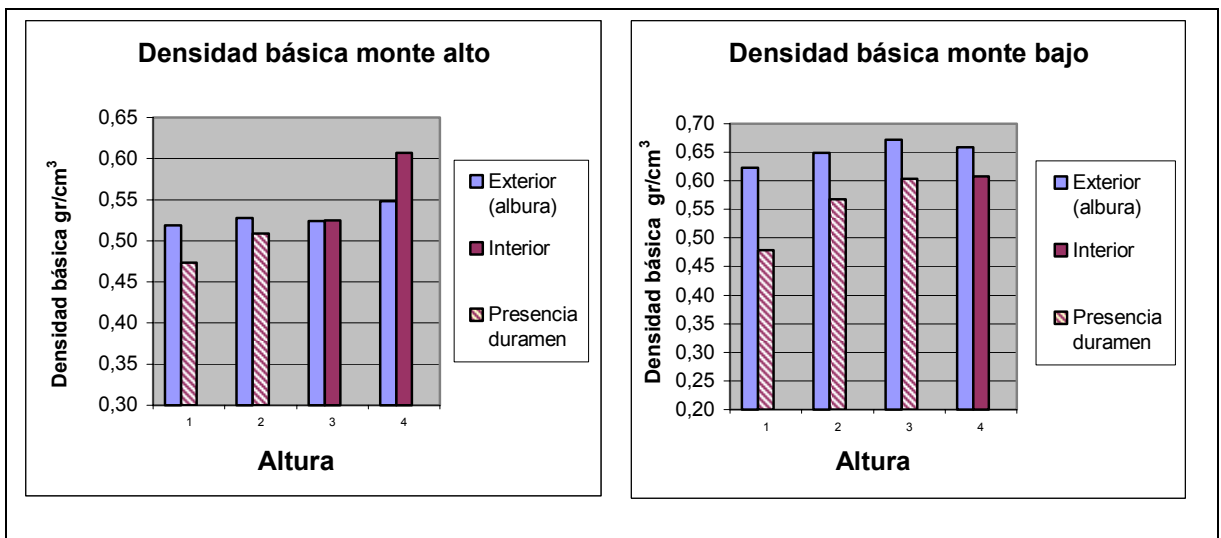
Por otra parte, se ha observado que por lo general y en una misma especie, los individuos de mayor edad presentan porcentajes de duramen superiores que los de menor edad. En este sentido, y aunque los rodales de monte alto y monte bajo sean coetáneos, otra posible explicación al mayor porcentaje de duramen en promedio encontrado en monte bajo podría estar en que la regeneración de tales árboles proviene de tocones de la rotación anterior y, por lo tanto, la edad fisiológica de estos individuos es mayor que la de los árboles generados a partir de semilla (monte alto), pudiéndose esperar entonces que los primeros (monte bajo) comiencen antes a producir duramen.

Aunque las teorías anteriores expliquen en algún grado las diferencias en promedio encontradas en el volumen porcentual de duramen de monte bajo y monte alto, estas no dan claridad respecto al hecho de que existan individuos provenientes de monte alto que

presentan mayor porcentaje de duramen que algunos de monte bajo. Es evidente entonces que se hace necesario realizar estudios más acabados en este tema, que permitan tener mayor claridad y certeza respecto a la formación de duramen y a las variables de las cuales depende, aspecto que no constituye el objetivo fundamental de la presente memoria.

4.2.6. Densidad básica en monte alto y monte bajo

Figura 20: Densidad básica en monte alto y monte bajo



A partir de la figura 20, se puede apreciar que la densidad básica en monte alto presenta un aumento en la zona externa (albura) a medida que se avanza en altura, sin embargo, no existen diferencias estadísticamente significativas de la densidad básica entre las alturas 1,2 y 3. Para el caso del duramen, también la densidad básica aumenta con la altura, determinándose estadísticamente diferencias significativas en las alturas 1 y 2 en donde se observó presencia de duramen. Para el caso de las alturas 3 y 4, en donde no existe duramen, también están presentes las diferencias estadísticas. Además, la tasa de crecimiento de la densidad de la zona externa (albura) con la altura es menor que la de la zona interna (considerando las cuatro alturas), de modo que ya a la mayor altura la densidad básica de la zona interna supera a la de la zona externa. En el caso de monte bajo también se verifica un incremento sostenido de la densidad básica con la altura, tanto en la zona externa (albura) como en la zona interna (considerando las cuatro alturas). Aunque a la mayor altura la densidad de la zona externa (albura) muestra un pequeño

descenso respecto a la altura anterior, desde un punto de vista estadístico, tal diferencia no presenta diferencia significativa. En el caso en donde existe presencia de duramen, la densidad básica mantiene un crecimiento constante con la altura, situación que se refleja estadísticamente con diferencias significativas entre las alturas 1, 2 y 3. De manera general y a igualdad de altura, la densidad básica de la zona externa (albura) siempre presentó valores mayores que la zona interna (considerando las cuatro alturas).

El valor promedio obtenido para la densidad básica fue de $0,524 \text{ g/cm}^3$ para monte alto y $0,601 \text{ g/cm}^3$ para monte bajo, entregando un valor medio general de $0,560 \text{ g/cm}^3$, valores que concuerdan con los resultados obtenidos por Consuegra (1994), el que menciona densidades básicas de entre $0,55 \text{ g/cm}^3$ y $0,71 \text{ g/cm}^3$ para *Eucalyptus globulus*. Por otra parte, Saavedra (2004) determinó que la densidad básica para esta misma especie se encuentra entre $0,530 \text{ g/cm}^3$ y $0,685 \text{ g/cm}^3$, con un valor promedio de $0,610 \text{ g/cm}^3$, rango muy similar al establecido en el presente trabajo. Es importante mencionar que los resultados obtenidos en este estudio, al igual que otros reportados por la bibliografía, indican que la densidad básica del *Eucalyptus globulus* aumenta de medula a corteza, situación que Daniel *et al.* (1982) atribuye a la existencia de un corazón de madera inmadura o juvenil presente en la parte central del árbol, donde la madera de primavera está en mayor proporción a lo largo del fuste. Además, en la figura 20 se puede apreciar que existe un aumento de la densidad básica a medida que la altura del fuste es mayor, lo que en el caso particular de *Eucalyptus globulus* se debe, según Igartua *et al.* (2000), a un aumento radial de la densidad y del espesor de las paredes de los elementos fibrosos, que axialmente manifiestan magnitudes crecientes desde la base del árbol.

5. CONCLUSIONES

- El contenido de α -celulosa tanto en monte alto como en monte bajo disminuye con la altura y además presenta porcentajes mayores en la albura que en el duramen.
- El contenido de holocelulosa es homogéneo para las alturas consideradas, entre albura y duramen y además en ambos tipos de manejos.
- El contenido de lignina no presenta diferencias en la albura de monte alto, al aumentar la altura, sin embargo, disminuye en el caso del duramen. Para monte bajo el contenido de lignina disminuye desde la base hasta el 15 – 20% de la altura del fuste, seguido de un incremento hasta el ápice. Además, para una misma altura, el contenido de lignina es mayor en el duramen que en la albura, en ambos tipos de manejo.
- El contenido de extraíbles desde la base del árbol hasta el ápice es creciente en la albura de monte alto, y decreciente para el caso de monte bajo. En el duramen de ambos tipos de manejo, en general es decreciente en altura. Así también, para una misma altura, el porcentaje de extraíbles es mayor en el duramen que en la albura, tanto para monte alto como monte bajo.
- El volumen porcentual de duramen presente en relación al volumen total del árbol fue, en promedio, de 37,16% para monte alto y 45,84% para monte bajo, aunque tal diferencia no mostró significancia estadística. Además, no fue posible establecer una relación clara entre el volumen porcentual de duramen y la altura total del árbol.
- La densidad básica, en el caso de monte alto, fluctúa entre 0,418 g/cm³ y 0,677 g/cm³, con un valor promedio de 0,524 g/cm³. En monte bajo los valores oscilan entre 0,410 g/cm³ y 0,734 g/cm³, con una media de 0,601 g/cm³. y en ambos tipos de manejo esta propiedad presenta valores crecientes tanto de medula (duramen) a corteza (albura) como al aumentar la altura.

6. BIBLIOGRAFIA

Bonnefoy, P., Venegas, R. 1999. Método de reproducción de Monte Bajo en *Eucalyptus* spp. en: Silvoteca XII. Realidad potencial del eucalyptus en Chile: Cultivo Silvícola y su uso industrial, Parque Jorge Alessandri, 26-28 de Agosto 1999. Concepción, Chile. 197-227 p.

Browning, B.L. 1967. Methods of wood chemistry, Intersci, Public. N.Y., London, vol. 2, 800 p.

Carballo, L.R. 1989. The influence of chemical composition and age of caribea pine wood (*Pinus caribea*) on the physical and mechanical properties as well as on the yield of sulfite pulp". Report of Candidate Minimum Examination Faculty of wood Techplogy, University College of Forestry and wood Technology. Zvolen. Rep. Eslovaca.

Carballo, L.R. 1990. The influence of chemical composition and age of caribea pine wood (*Pinus caribea*) on the physical and mechanical properties as well as on the yield of sulfite pulp. Faculty of wood Technology, University College of Forestry and wood Technology. Dissertation Thesis of the degree of CSc Zvolen. Rep. Eslovaca.

Cole, D. W. 1983. Redwood sprout growth three decades alter thinning. Journal of forestry 3: 148 – 150 p.

Consuegra, R. 1994. Caracterización del *Eucalyptus globulus* (Labill) como Materia Prima Pulpable. Memoria, Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 93 p.

Coronel, E.O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Primera Parte. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Santiago del Estero, Argentina. 13-28 p.

Daniel, P. Helms, U. y Baker, F. 1982. Principios de silvicultura traducido de la segunda edición inglesa por Ramón Elizondo Mata. Mc Graw – Hill. México, 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 Doctor em Ciencias Florestais. Sector de Ciencias Agrárias de Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Brazil. 181 p.

Diaz-Vaz, J.E. 1981. Delimitación de madera temprana- tardía y juvenil- madura en Pino Oregón. Bosque. 4 (1): 55-58 p.

Diaz-Vaz, J.E. 2003. Anatomía de Maderas. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Chile. 150 p.

FAO, 1973. Guía para Planificar Empresas y Fábricas de Pasta y Papel. Roma. Estudio de Silvicultura y Productos Forestales N° 18. 425p.

Fengel, D., Wegener, G. 1984. Wood Chemistry, Ultraestructure Reaction, Walter de Gruyter, Berlín, 2-220p.

Fueller, G., Mckee, T. A and Bills, D.D. 1996. Agricultural Materials as Renewable Resources. ACS Symposium, Series 647, p.12-15.

Giordano, G. 1971. Tecnología del Leno, 1 La Materia Prima Unione Tipograficoeditrice, Torinese. 1096 p.

González, N. 2000. Estudio de rebrotación en tres especies del género Eucalyptus en la precordillera de la séptima región. Memoria, Ingeniería Forestal. Universidad de Talca. Chile. 89 p.

Guardiola, J.L.; Amparo, G.L., 1995. Fisiología Vegetal, Nutrición y Transporte, Editora Síntesis, Valencia, España, .27-63 p.

Gutmann, P., Pistono, L., Bluhm, E. 1971. Serie de investigación. Publicación N° 3, Análisis Químico de la Madera de Eucalipto (*Eucalyptus globulus* labill.) creciendo en Chile. Instituto Forestal. Chile. 29 p.

Gold, M., Wariishi, H., Valli, K. 1989. Extracellular peroxidases involved in lignin degradation by the white rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium* en: Biocatalist

in agricultural biotechnology. Whitaker JR y Sonnet PE. (eds). American Chemical Society. Washington. 127- 140 p.

Higuchi, T. 1990. Lignin biochemistry, biosynthesis and biodegradation. Wood Sci. Technol. 24: 23-63 p.

Hillis, W. E. 1978. Wood Quality and Utilization in: W.E. Hillis and A.G. Brown (editors) Eucalyptus for wood production CSIRO Australia. 434 p.

Hillis, W. E. 1987. Heartwood and tree exudates, springer verlag. Berlín. Germany. 268 p.

Igartua, D.; Rivera, S.; Monterubbianesi, M.; Monteoliva, S.; Farina, S.; Karrantza, S.; Villegas, M. 2000. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. Globulus. Variación de la densidad 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.

Infor. 1986. Especies forestales exóticas de interés económico para Chile. 168 p.

Infor. 2002. Información estadística [en línea]

<<http://www.infor.cl/estadisticas>> Consulta: [12 de Diciembre de 2003].

Infor. 2003. Superficie de Plantaciones Forestales [en línea]

<<http://www.infor.cl>> Consulta: [1 de Junio de 2004].

Kollmann, F. 1959. Tecnología de la Madera y sus aplicaciones. Ed. IFIE, España. 25–38 p.

Kottes- Andrews, B. A. y Reinhardt, R. M. 1996. Enhanced cotton textiles from utilization research., ACS, Series.

Larcher, W. 1983. Physiological plant ecology. 2nd edition. springer verlag, Berlin. Germany. 303 p.

Libby, C. 1967. Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel. 1º Edición Vol. 1. México. 519p.

Libby, C. 1969. Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel. 2ª Edición Vol. 2. México. 514p.

Lignum. 1996. *Eucalyptus globulus* exótico de antigua data. Lignum (23): 42-44 p.

- Mancilla, H., García, R., Tapia, J., Durán, H., Urzúa, S., 1991.** Chemical Characterization of Chilean Hardwoods. Wood Sci. Technol. Vol 25: 145-149.
- Matthews, J. 1991.** Silvicultural systems. Oxford science publications. 284 p.
- Melo, R. y Paz, J. 1978.** Procesos de obtención de Celulosa a partir de madera de *Eucalyptus globulus* (Labill). Parte V. Proceso al Sulfito Neutro. Universidad de Concepción. Chile. 46 p.
- 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 p.
- Montgomery, D. 1991.** Diseño y análisis de experimentos. Grupo editorial iberoamérica S.A. México. 589 p.
- Morales, R. 1968.** Variación del Peso Específico y largo de traqueida según edad y sitio en plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don). Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 58 p.
- Normas Chilenas.** NCh 176/2. of 1986. mod. 1988. Madera- Parte 2: Determinación de la densidad.
- Ona, T. y col. 1995.** Small-scale method to determine the contents of wood components samples", Tappi Journal, Vol.78, N°3, 121-126p.
- Ona, T. Sonoda, T., Ito, K., Shibata, M., 1997.** Relationship of lignin content, lignin monomeric composition and hemicellulosic composition in the same trunk sought by their within tree variation in *E. camaldulensis* and *E. globulus*", Holzforshung 51. 396-404p.
- Panshin, A.J., De-Zeeuw, C. 1970.** Textbook of wood technology, vol. 1, third edition, Structure, Identification, Uses and Properties of the Commercial Woods of the United States and Canada. Mc. Graw Hill Series in Foresta Fesources. E.E.U.U. 652p.
- Paz, J. 1994.** Características físicas, químicas y biométricas de distintas especies de Eucaliptos y su aptitud pulpable. en: Acta Simposio los Eucalyptus en el desarrollo forestal de Chile. Pucón, Chile. 24 al 26 de Noviembre 1993. 537- 561p.

Paz, J., Pérez, L. 1999. Análisis comparativo de las propiedades microscópicas y macroscópica de la madera de *Eucalyptus nitens* y *Eucalyptus globulus*. en: Silvotecna XII. Realidad potencial del Eucalyptus en Chile: Cultivo Silvícola y su uso industrial, Parque Jorge Alessandri, 26-28 de Agosto 1999. Concepción, Chile. 292-319 p.

Peredo, M. 1999. Propiedades de la Madera y aptitud pulpable de algunas especies de Eucaliptos cultivados en Chile. en: Silvotecna XII. Realidad potencial del Eucalyptus en Chile: Cultivo Silvícola y su uso industrial, Parque Jorge Alessandri, 26-28 de Agosto 1999. Concepción, Chile. 321-327 p.

Pereira, H., and Sardinhas, R. 1984. Chemical composition of *Eucalyptus globulus* Labill", Appita, Vol.37, N° 8, 661-664p.

Prado, J. Y Barros, S. 1991. Eucalyptus: Principio de Silvicultura y Manejo. Instituto Forestal. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago. Chile. 199p.

Saavedra, C. 2004. Determinación de peso específico y de algunas propiedades biométricas en *Eucalyptus globulus* (Labill) como materia prima pulpable. Memoria, Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 90 p.

Scurlock, J., Long, S., Hall, D. y J. Coombs. 1987. Introducción a las técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. En técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad (eds. Coombs, J., Hall, D. Long, S. y J. Scurlock). Editorial Futura. México. 2a edición.

Sjöström, E. 1981. Wood chemistry fundamentals and applications. New York, Academic Press. 98-103, 223p.

Sjöström, E. 1993. Wood Chemistry Fundamentals and Applications. 2° ed. Academic Press, Inc.

Tappi. 1992. Tappi Test Methods T1 – T 1209. Tappi Press. Atlanta, Georgia.

Vita, A. 1990. Establecimiento y manejo de especies vegetales aptas para su utilización como fuente de energía. Centro de estudios de zonas áridas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Chile. 66 p.

Vita, A. 1996. Los tratamientos silviculturales. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales. Departamento de Silvicultura. 147 p.

APENDICES

APENDICE 1: VALORES OBTENIDOS EN EL ESTUDIO

Valores obtenidos en la composición química de los árboles estudiados para monte alto

Identificación	Extraíbles					Lignina	Holocelulosa	α-celulosa
	Etanol-tolueno	Etanol	Agua	%Parciales TAPPI (*)	%Totales ASTM (*)			
1aa	-	-	-	-	0,65 1,31 1,49	17,13 17,97 17,42	81,72 83,23 83,39	49,04 49,72 49,98
Promedios	-	-	-	-	1,15	17,51	82,78	49,58
1ad	-	-	-	-	4,09 3,64 3,91	20,83 20,14 20,14	82,23 82,02 84,58	44,65 44,75 45,44
Promedios	-	-	-	-	3,88	20,37	82,94	44,95
4aa	0,89 0,76 0,84	0,11 0,07 0,12	1,41 1,36 1,21	2,41 2,19 2,17	1,71 1,32 1,28	16,81 16,04 16,19	83,43 82,97 82,88	48,02 47,61 46,91
Promedios	0,83	0,10	1,33	2,26	1,44	16,35	83,09	47,51
4ad	1,44 1,42 1,41	0,28 0,25 0,32	1,41 1,38 1,38	3,13 3,05 3,11	3 2,53 2,99	19,44 19,39 19,32	83,42 82,07 83,74	44,87 44,19 45,02
Promedios	1,42	0,28	1,39	3,10	2,84	19,38	83,08	44,69
7aa	-	-	-	-	1,69 1,66 1,67	17,91 18 17,43	83,47 82,46 82,5	44,05 44,61 44,74
Promedios	-	-	-	-	1,67	17,78	82,81	44,47
9aa	-	-	-	-	2,29 2,25 -	17,97 17,87 -	83,51 82,62 -	44,16 44,58 -
Promedios	-	-	-	-	2,27	17,92	83,07	44,37
Promedios totales					2,21	18,22	82,96	45,93

(*) Los valores de extraíbles parciales fueron obtenidos solo para el caso de la altura 4, y se desarrollaron según las normas TAPPI. Para las demás altura, los valores de extraíbles fueron totales y se obtuvieron según las normas ASTM por facilidad de procedimiento.

Valores obtenidos en la composición química de los árboles estudiados para monte bajo

Identificación	Extraíbles					Lignina	Holocelulosa	α-celulosa
	Etanol-tolueno	Etanol	Agua	%Parciales TAPPI (*)	%Totales ASTM (*)			
1ba	-	-	-	-	2,95	20,28	82,98	51,58
	-	-	-	-	2,83	19,59	82,56	50,58
	-	-	-	-	2,2	19,61	82,99	49,73
Promedios	-	-	-	-	2,66	19,83	82,84	50,63
1bd	-	-	-	-	6,34	20,4	82,01	47,52
	-	-	-	-	6,57	19,07	83,21	48,32
	-	-	-	-	6,82	20,56	84,08	49,71
Promedios	-	-	-	-	6,58	20,01	83,10	48,52
4ba	0,79	0,19	1,1	2,08	2,15	16,01	85,3	53,23
	0,83	0,17	1,19	2,19	2,24	16,39	86,01	53,11
	0,82	0,16	1,09	2,07	2,12	15,63	85,09	52,2
Promedios	0,81	0,17	1,13	2,11	2,17	16,01	85,47	52,85
4bd	1,04	0,49	1,54	3,07	2,44	17,97	85,19	48,18
	1,05	0,41	1,38	2,84	2,14	18,02	83,7	47,54
	1,14	0,45	1,33	2,92	2,36	18,07	83,23	47,18
Promedios	1,08	0,45	1,42	2,94	2,31	18,02	84,04	47,63
7ba	-	-	-	-	1,88	17,87	83,84	48,25
	-	-	-	-	1,85	17,92	83,75	47,99
	-	-	-	-	1,75	17,62	82,99	47,32
Promedios	-	-	-	-	1,83	17,80	83,53	47,85
7bd	-	-	-	-	3,21	18,86	82,41	44,82
	-	-	-	-	3,03	20,05	82,05	44,82
	-	-	-	-	3,15	19,4	81,77	44,44
Promedios	-	-	-	-	3,13	19,44	82,08	44,69
9aa	-	-	-	-	1,82	18,45	83,1	46,96
	-	-	-	-	1,79	18,65	82,68	46,6
	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedios	-	-	-	-	1,81	18,6	82,89	46,78
Promedios totales					2,93	18,52	83,42	48,42

(*) Los valores de extraíbles parciales fueron obtenidos solo para el caso de la altura 4, y se desarrollaron según las normas TAPPI. Para las demás altura, los valores de extraíbles fueron totales y se obtuvieron según las normas ASTM por facilidad de procedimiento.

Valores de volumen porcentual de duramen obtenidos en los árboles estudiados, para monte alto y monte bajo

Tipo de manejo	Árbol	altura	Diámetro (0,9 m)	% duramen	Promedio
Monte alto	1	27,1	23,8	30,58	37,16
	2	31,1	28,0	39,72	
	3	28,1	21,5	36,95	
	4	21,1	19,5	27,93	
	5	23,1	18,0	50,64	
Monte bajo	a	28,1	21,5	48,23	45,84
	b	26,6	23,5	52,81	
	c	26,1	25,5	56,91	
	d	24,6	20,0	38,18	
	e	18,1	14,5	33,06	

**Valores de densidad básica obtenidos en los árboles estudiados,
para monte alto**

Probeta	P seco	V saturado	PE	Promedio	Probeta	P seco	V saturado	PE	Promedio
111	4,020	7,880	0,510	0,501	341	4,930	7,790	0,633	0,575
115	4,200	8,090	0,519		343	4,550	8,470	0,537	
116	3,790	8,000	0,474		344	4,340	8,130	0,534	
1110	3,790	7,590	0,499		347	5,200	8,710	0,597	
141	4,000	7,940	0,504	0,501	371	3,410	5,930	0,575	0,573
144	3,820	7,820	0,488		373	4,550	8,140	0,559	
145	3,990	8,030	0,497		374	4,240	7,610	0,557	
148	4,220	8,190	0,515		376	3,600	6,000	0,600	
171	3,690	7,380	0,500	0,529	391	5,500	8,280	0,664	0,625
173	4,340	8,160	0,532		392	5,490	8,110	0,677	
174	4,300	7,830	0,549		393	4,870	8,170	0,596	
176	2,800	5,220	0,536		394	2,700	4,800	0,563	
191	3,580	7,970	0,449	0,522	411	3,870	7,960	0,486	0,478
192	4,700	8,800	0,534		414	3,960	8,200	0,483	
193	4,990	8,170	0,611		415	3,890	8,340	0,466	
194	4,510	9,130	0,494		419	4,150	8,740	0,475	
211	3,890	7,030	0,553	0,518	441	3,450	7,810	0,442	0,472
216	3,880	8,340	0,465		444	4,160	8,590	0,484	
217	4,220	8,710	0,485		445	4,280	8,500	0,504	
2111	4,570	8,040	0,568		447	3,830	8,380	0,457	
241	4,550	8,360	0,544	0,553	471	2,320	4,990	0,465	0,476
245	4,800	8,720	0,550		472	3,980	8,410	0,473	
246	4,700	8,480	0,554		473	4,290	8,800	0,488	
249	5,660	10,030	0,564		474	2,790	5,820	0,479	
271	3,870	6,990	0,554	0,554	511	3,610	8,020	0,450	0,446
274	4,730	8,390	0,564		514	3,710	8,490	0,437	
275	4,470	7,930	0,564		515	3,590	8,580	0,418	
278	4,570	8,520	0,536		518	4,030	8,400	0,480	
291	3,400	6,040	0,563	0,585	541	2,350	4,470	0,526	0,490
293	4,610	7,910	0,583		543	4,000	8,690	0,460	
294	4,660	7,270	0,641		544	4,130	8,610	0,480	
296	3,950	7,130	0,554		547	3,760	7,590	0,495	
311	4,460	7,250	0,615	0,538	571	3,660	7,220	0,507	0,488
315	4,020	8,460	0,475		572	4,910	10,250	0,479	
316	4,290	8,430	0,509		573	4,120	8,580	0,480	
3111	4,240	7,680	0,552		574	3,990	8,210	0,486	
								Promedio total	0,524

**Valores de densidad básica obtenidos en los árboles estudiados,
para monte bajo**

Probeta	P seco	V saturado	PE	Promedio	Probeta	P seco	V saturado	PE	Promedio
a11	5,400	8,100	0,667	0,568	c41	5,110	8,740	0,585	0,608
a15	3,830	8,140	0,471		c45	4,820	8,380	0,575	
a16	3,700	7,720	0,479		c46	5,150	8,510	0,605	
a110	5,520	8,410	0,656		c49	5,660	8,490	0,667	
a41	5,790	8,380	0,691	0,619	c71	5,030	8,210	0,613	0,573
a45	4,360	7,860	0,555		c74	4,540	8,800	0,516	
a46	4,670	8,510	0,549		c75	4,630	8,640	0,536	
a49	4,840	7,100	0,682		c77	5,360	8,550	0,627	
a71	5,530	8,090	0,684	0,673	c91	4,480	7,400	0,605	0,576
a73	5,310	8,430	0,630		c93	5,000	8,640	0,579	
a74	5,400	8,270	0,653		c94	4,520	8,700	0,520	
a76	6,090	8,410	0,724		c96	4,700	7,840	0,599	
a91	5,160	7,030	0,734	0,691	d11	5,250	7,870	0,667	0,561
a92	5,740	8,620	0,666		d15	3,940	8,510	0,463	
a93	5,910	8,870	0,666		d16	3,900	8,550	0,456	
a94	5,700	8,190	0,696		d110	5,430	8,250	0,658	
b11	4,680	7,330	0,638	0,575	d41	4,190	7,050	0,594	0,596
b16	4,120	7,930	0,520		d44	5,060	8,570	0,590	
b17	4,250	8,290	0,513		d45	4,920	8,850	0,556	
b111	4,980	7,930	0,628		d47	5,660	8,800	0,643	
b41	5,990	8,530	0,702	0,656	d71	5,090	7,600	0,670	0,644
b44	5,350	8,630	0,620		d73	4,770	7,880	0,605	
b45	5,440	8,650	0,629		d74	5,210	8,630	0,604	
b47	5,980	8,910	0,671		d76	5,540	7,950	0,697	
b71	5,300	7,730	0,686	0,661	e11	4,730	8,360	0,566	0,485
b73	5,430	8,530	0,637		e13	3,530	8,600	0,410	
b74	5,700	8,770	0,650		e14	3,600	8,580	0,420	
b76	5,810	8,650	0,672		e16	4,520	8,330	0,543	
c11	4,820	8,240	0,585	0,565	e41	4,840	7,890	0,613	0,562
c15	5,010	8,940	0,560		e43	4,180	8,430	0,496	
c16	4,310	8,680	0,497		e44	3,780	7,550	0,501	
c111	5,100	8,270	0,617		e45	5,360	8,390	0,639	
								Promedio total	0,601

APENDICE 2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

**Análisis estadístico para el contenido de extraíbles en monte alto,
diseño unifactorial**

Variación de extraíble						
Altura						
	1aa	1ad	4aa	4ad	7aa	9aa
1	0,65	4,09	1,71	3,00	1,69	2,29
2	1,31	3,64	1,32	2,53	1,66	2,25
3	1,49	3,91	1,28	2,99	1,67	-

Suma	3,45	11,64	4,31	8,52	5,02	4,54	T:	37,48
prom	1,15	3,88	1,44	2,84	1,67	2,27		
desv	0,44	0,23	0,24	0,27	0,02	0,03		
n	3	3	3	3	3	2		

N 17
k 6
STC 16,345
SCTr 15,593
SCE 0,752

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:5:11
Tratamiento	5	15,593	3,119	45,610	3,2
Error	11	0,752	0,068		
Total	16	16,345	-		

Análisis múltiple de medias (prueba de DUNCAN) para el contenido de extraíbles en monte alto

Altura						
Repetición	1aa	1ad	4aa	4ad	7aa	9aa
1	0,65	4,09	1,71	3,00	1,69	2,29
2	1,31	3,64	1,32	2,53	1,66	2,25
3	1,49	3,91	1,28	2,99	1,67	-
Promedio	1,15	3,88	1,44	2,84	1,67	2,27
	T1	T2	T3	T4	T5	T6

		T2	T4	T6	T5	T3	T1
		3,880	2,840	2,270	1,673	1,437	1,150
T1	1,150	2,730	1,690	1,120	0,523	0,287	
T3	1,437	2,443	1,403	0,833	0,237		
T5	1,673	2,207	1,167	0,597			
T6	2,270	1,610	0,570				
T4	2,840	1,040					
T2	3,880						

CME 0,068

p (XX,11)	2	3	4	5	6
Rp	3,110	3,270	3,350	3,390	3,430
Raiz (cme/n)	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
RP	0,470	0,494	0,506	0,512	0,518

		T2	T4	T6	T5	T3	T1
		3,880	2,840	2,270	1,673	1,437	1,150
T1	1,150	SI	SI	SI	SI	SI	
T3	1,437	SI	SI	SI	SI		
T5	1,673	SI	SI	SI			
T6	2,270	SI	SI				
T4	2,840	SI					
T2	3,880						

Análisis estadístico para el contenido de extraíbles en monte bajo, diseño unifactorial.

Variación de extraíble							
Altura							
	1ba	1bd	4ba	4bd	7ba	7bd	9ba
1	2,95	6,34	2,15	2,44	1,88	3,21	1,82
2	2,83	6,57	2,24	2,14	1,85	3,03	1,79
3	2,2	6,82	2,12	2,36	1,75	3,15	-

Suma	7,98	19,73	6,51	6,94	5,48	9,39	3,61	T:	59,64
promedio	2,66	6,58	2,17	2,31	1,83	3,13	1,81		
desv	0,40	0,24	0,06	0,16	0,07	0,09	0,02		
n	3	3	3	3	3	3	2		

N 20
k 7
STC 49,759
SCTr 49,236
SCE 0,522

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:6:13
Tratamiento	6	49,236	8,206	204,188	2,92
Error	13	0,522	0,040		
Total	19	49,759	-		

**Análisis estadístico para el contenido de lignina en monte alto,
diseño unifactorial**

Variación de lignina						
Altura						
Repetición	1aa	1ad	4aa	4ad	7aa	9aa
1	17,13	20,83	16,81	19,44	17,91	17,97
2	17,97	20,14	16,04	19,39	18	17,87
3	17,42	20,14	16,19	19,32	17,43	-

Suma	52,52	61,11	49,04	58,15	53,34	35,84	T:	310
prom	17,51	20,37	16,35	19,38	17,78	17,92		
desv	0,43	0,40	0,41	0,06	0,31	0,07		
n	3	3	3	3	3	2		
N	17							
k	6							
STC	31,954							
SCTr	30,739							
SCE	1,215							

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:5:11
Tratamiento	5	30,739	6,148	55,668	3,2
Error	11	1,215	0,110		
Total	16	31,954	-		

Análisis múltiple de medias (prueba de DUNCAN) para el contenido de lignina en monte alto

Altura						
Repetición	1aa	1ad	4aa	4ad	7aa	9aa
1	17,13	20,83	16,81	19,44	17,91	17,97
2	17,97	20,14	16,04	19,39	18,00	17,87
3	17,42	20,14	16,19	19,32	17,43	-
Promedio	17,51	20,37	16,35	19,38	17,78	17,92
	T1	T2	T3	T4	T5	T6

		T2	T4	T6	T5	T1	T3
		20,370	19,383	17,920	17,780	17,507	16,347
T3	16,347	4,023	3,037	1,573	1,433	1,160	
T1	17,507	2,863	1,877	0,413	0,273		
T5	17,780	2,590	1,603	0,140			
T6	17,920	2,450	1,463				
T4	19,383	0,987					
T2	20,370						

CME 0,110

p (XX,11)	2	3	4	5	6
Rp	3,110	3,270	3,350	3,390	3,430
Raíz (cme/n)	0,192	0,192	0,192	0,192	0,192
RP	0,597	0,627	0,643	0,650	0,658

		T2	T4	T6	T5	T1	T3
		20,370	19,383	17,920	17,780	17,507	16,347
T3	16,347	SI	SI	SI	SI	SI	
T1	17,507	SI	SI	NO	NO		
T5	17,780	SI	SI	NO			
T6	17,920	SI	SI				
T4	19,383	SI					
T2	20,370						

**Análisis estadístico para el contenido de lignina en monte bajo,
diseño unifactorial**

Variación de lignina							
Altura							
Repetición	1ba	1bd	4ba	4bd	7ba	7bd	9ba
1	20,28	20,40	16,01	17,97	17,87	18,86	18,45
2	19,59	19,07	16,39	18,02	17,92	20,05	18,65
3	19,61	20,56	15,63	18,07	17,62	19,40	-

Suma	59,48	60,03	48,03	54,06	53,41	58,31	37,10	T:	370,42
prom	19,83	20,01	16,01	18,02	17,80	19,44	18,55		
desv	0,39	0,82	0,38	0,05	0,16	0,60	0,14		
n	3	3	3	3	3	3	2		
N	20								
k	7								
STC	38,218								
SCTr	35,496								
SCE	2,722								

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:6:13
Tratamiento	6	35,496	5,916	28,252	2,92
Error	13	2,722	0,209		
Total	19	38,218	-		

Análisis múltiple de medias (prueba de DUNCAN) para el contenido de lignina en monte bajo

Altura							
Repetición	1ba	1bd	4ba	4bd	7ba	7bd	9ba
1	20,28	20,40	16,01	17,97	17,87	18,86	18,45
2	19,59	19,07	16,39	18,02	17,92	20,05	18,65
3	19,61	20,56	15,63	18,07	17,62	19,40	-
Promedio	19,83	20,01	16,01	18,02	17,80	19,44	18,55
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7

		T2	T1	T6	T7	T4	T5	T3
		20,010	19,827	19,437	18,550	18,020	17,803	16,010
T3	16,010	4,000	3,817	3,427	2,540	2,010	1,793	
T5	17,803	2,207	2,023	1,633	0,747	0,217		
T4	18,020	1,990	1,807	1,417	0,530			
T7	18,550	1,460	1,277	0,887				
T6	19,437	0,573	0,390					
T1	19,827	0,183						
T2	20,010							

CME 0,2094

p (XX,13)	2	3	4	5	6	7
Rp	3,060	3,210	3,300	3,350	3,380	3,410
Raiz (cme/n)	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264	0,264
RP	0,808	0,848	0,872	0,885	0,893	0,901

		T2	T1	T6	T7	T4	T5	T3
		20,010	19,827	19,437	18,550	18,020	17,803	16,010
T3	16,010	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
T5	17,803	SI	SI	SI	NO	NO		
T4	18,020	SI	SI	SI	NO			
T7	18,550	SI	SI	SI				
T6	19,437	NO	NO					
T1	19,827	NO						
T2	20,010							

Análisis estadístico para el contenido de holocelulosa en monte alto, diseño unifactorial

Variación de holocelulosa						
Altura						
Repetición	1aa	1ad	4aa	4ad	7aa	9aa
1	81,72	82,23	83,43	83,42	83,47	83,51
2	83,23	82,02	82,97	82,07	82,46	82,62
3	83,39	84,58	82,88	83,74	82,50	-

Suma	248,34	248,83	249,28	249,23	248,43	166,13	T:	1410,24
prom	82,78	82,94	83,09	83,08	82,81	83,07		
desv	0,92	1,42	0,30	0,89	0,57	0,63		
n	3	3	3	3	3	2		
N	17							
k	6							
STC	8,815							
SCTr	0,281							
SCE	8,534							

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:5:11
Tratamiento	5	0,281	0,056	0,073	3,2
Error	11	8,534	0,776		
Total	16	8,815	-		

Análisis estadístico para el contenido de holocelulosa en monte bajo, diseño unifactorial

Variación de holocelulosa							
Altura							
Repetición	1ba	1bd	4ba	4bd	7ba	7bd	9ba
1	82,98	82,01	85,30	85,19	83,84	82,41	83,10
2	82,56	83,21	86,01	83,70	83,75	82,05	82,68
3	82,99	84,08	85,09	83,23	82,99	81,77	-

Suma	248,53	249,30	256,40	252,12	250,58	246,23	165,78	T:	1668,94
prom	82,84	83,10	85,47	84,04	83,53	82,08	82,89		
desv	0,25	1,04	0,48	1,02	0,47	0,32	0,30		
n	3	3	3	3	3	3	2		
N	20								
k	7								
STC	26,590								
SCTr	21,020								
SCE	5,570								

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:6:13
Tratamiento	6	21,020	3,503	8,176	2,92
Error	13	5,570	0,428		
Total	19	26,590	-		

Análisis múltiple de medias (prueba de DUNCAN) para el contenido de holocelulosa en monte bajo

Altura							
Repetición	1ba	1bd	4ba	4bd	7ba	7bd	9ba
1	82,98	82,01	85,30	85,19	83,84	82,41	83,10
2	82,56	83,21	86,01	83,70	83,75	82,05	82,68
3	82,99	84,08	85,09	83,23	82,99	81,77	-
Promedio	82,84	83,10	85,47	84,04	83,53	82,08	82,89
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7

		T3	T4	T5	T2	T7	T1	T6
		85,467	84,040	83,527	83,100	82,890	82,843	82,077
T6	82,077	3,390	1,963	1,450	1,023	0,813	0,767	
T1	82,843	2,623	1,197	0,683	0,257	0,047	0,000	
T7	82,890	2,577	1,150	0,637	0,210			
T2	83,100	2,367	0,940	0,427				
T5	83,527	1,940	0,513					
T4	84,040	1,427						
T3	85,467							

CME 0,428

p (XX,13)	2	3	4	5	6	7
Rp	3,060	3,210	3,300	3,350	3,380	3,410
Raíz (cme/n)	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378
RP	1,156	1,213	1,247	1,266	1,277	1,289

		T3	T4	T5	T2	T7	T1	T6
		20,010	19,827	19,437	18,550	18,020	17,803	16,010
T6	16,010	SI	SI	SI	NO	NO	NO	
T1	17,803	SI	NO	NO	NO	NO		
T7	18,020	SI	NO	NO	NO			
T2	18,550	SI	NO	NO				
T5	19,437	SI	NO					
T4	19,827	SI						
T3	20,010							

**Análisis estadístico para el contenido de α -celulosa en monte alto,
diseño unifactorial**

Variación de α -celulosa						
Altura						
Repetición	1aa	1ad	4aa	4ad	7aa	9aa
1	49,04	44,65	48,02	44,87	44,05	44,16
2	49,72	44,75	47,61	44,19	44,61	44,58
3	49,98	45,44	46,91	45,02	44,74	-

Suma	148,74	134,84	142,54	134,08	133,4	88,74	T:	782,34
prom	49,58	44,95	47,51	44,69	44,47	44,37		
desv	0,49	0,43	0,56	0,44	0,37	0,30		
n	3	3	3	3	3	2		

N 17
k 6
STC 68,350
SCTr 66,131
SCE 2,220

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:5:11
Tratamiento	5	66,131	13,226	65,545	3,2
Error	11	2,220	0,202		
Total	16	68,350	-		

Análisis múltiple de medias (prueba de DUNCAN) para el contenido de α -celulosa en monte alto

Altura						
Repetición	1aa	1ad	4aa	4ad	7aa	9aa
1	49,04	44,65	48,02	44,87	44,05	44,16
2	49,72	44,75	47,61	44,19	44,61	44,58
3	49,98	45,44	46,91	45,02	44,74	-
Promedio	49,58	44,95	47,51	44,69	44,47	44,37
	T1	T2	T3	T4	T5	T6

		T1	T3	T2	T4	T5	T6
		49,580	47,513	44,947	44,693	44,467	44,370
T6	44,370	5,210	3,143	0,577	0,323	0,097	
T5	44,467	5,113	3,047	0,480	0,227		
T4	44,693	4,887	2,820	0,253			
T2	44,947	4,633	2,567				
T3	47,513	2,067					
T1	49,580						

CME 0,202

p (XX,11)	2	3	4	5	6
Rp	3,110	3,270	3,350	3,390	3,430
Raíz (cme/n)	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259
RP	0,807	0,848	0,869	0,879	0,890

		T1	T3	T2	T4	T5	T6
		20,370	19,383	17,920	17,780	17,507	16,347
T6	16,347	SI	SI	NO	NO	NO	
T5	17,507	SI	SI	NO	NO		
T4	17,780	SI	SI	NO			
T2	17,920	SI	SI				
T3	19,383	SI					
T1	20,370						

Análisis estadístico para el contenido de α -celulosa en monte bajo, diseño unifactorial

Variación de α -celulosa							
Altura							
Repetición	1ba	1bd	4ba	4bd	7ba	7bd	9ba
1	51,58	47,52	53,23	48,18	48,25	44,82	46,96
2	50,58	48,32	53,11	47,54	47,99	44,82	46,6
3	49,73	49,71	52,2	47,18	47,32	44,44	-

Suma	151,89	145,55	158,54	142,9	143,56	134,08	93,56	T:	970,08
prom	50,63	48,52	52,85	47,63	47,85	44,69	46,78		
desv	0,93	1,11	0,56	0,51	0,48	0,22	0,25		
n	3	3	3	3	3	3	2		

N 20
k 7
STC 129,129
SCTr 123,189
SCE 5,940

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:6:13
Tratamiento	6	123,189	20,531	44,933	2,92
Error	13	5,940	0,457		
Total	19	129,129	-		

Análisis múltiple de medias (prueba de DUNCAN) para el contenido de α -celulosa en monte bajo

Altura							
Repetición	1ba	1bd	4ba	4bd	7ba	7bd	9ba
1	51,58	47,52	53,23	48,18	48,25	44,82	46,96
2	50,58	48,32	53,11	47,54	47,99	44,82	46,60
3	49,73	49,71	52,20	47,18	47,32	44,44	-
Promedio	50,63	48,52	52,85	47,63	47,85	44,69	46,78
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7

		T3	T1	T2	T5	T4	T7	T6
		52,847	50,630	48,517	47,853	47,633	46,780	44,693
T6	44,693	8,153	5,937	3,823	3,160	2,940	2,087	
T7	46,780	6,067	3,850	1,737	1,073	0,853		
T4	47,633	5,213	2,997	0,883	0,220			
T5	47,853	4,993	2,777	0,663				
T2	48,517	4,330	2,113					
T1	50,630	2,217						
T3	52,847							

CME 0,457

p (XX,13)	2	3	4	5	6	7
Rp	3,060	3,210	3,300	3,350	3,380	3,410
Raíz (cme/n)	0,390	0,390	0,390	0,390	0,390	0,390
RP	1,194	1,253	1,288	1,307	1,319	1,331

		T3	T1	T2	T5	T4	T7	T6
		52,847	50,630	48,517	47,853	47,633	46,780	44,693
T6	44,693	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
T7	46,780	SI	SI	SI	NO	NO		
T4	47,633	SI	SI	NO	NO			
T5	47,853	SI	SI	NO				
T2	48,517	SI	SI					
T1	50,630	SI						
T3	52,847							

Análisis estadístico del volumen porcentual de duramen en monte alto y monte bajo, diseño unifactorial

Tipo de manejo		
Repetición	Ma	Mb
1	27,93	33,06
2	30,58	38,18
3	36,95	48,23
4	39,72	52,81
5	50,64	56,91

Suma	185,82	229,19	T	415,01
prom	37,164	45,838		
n	5	5		
N	10			
k	2			
STC	903,73489			
SCTr	188,09569			
SCE	715,6392			

Fuente	Gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:1:8
Tratamiento	1	188,096	188,096	2,103	5,32
Error	8	715,639	89,455		
Total	9	903,735			

**Análisis estadístico para la densidad básica en monte alto,
diseño unifactorial**

Variación de la densidad básica								
Altura								
	h1		h2		h3		h4	
Repetición	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna	Zona externa	Zona interna
1	0,523	0,476	0,530	0,504	0,520	0,521	0,559	0,598
2	0,515	0,470	0,526	0,514	0,527	0,528	0,537	0,616
3	0,519	0,473	0,528	0,509	0,524	0,525	0,548	0,607

(*) Zona con presencia de duramen.

Suma	1,557	1,419	1,584	1,527	1,571	1,574	1,644	1,821
prom	0,519	0,473	0,528	0,509	0,524	0,525	0,548	0,607
desv	0,004	0,003	0,002	0,005	0,004	0,004	0,011	0,009
n	3	3	3	3	3	3	3	3

N 24
k 8
STC 0,031
SCTr 0,030
SCE 0,001

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:7:16
Tratamiento	7	0,0304	0,0043	123,7365	2,66
Error	16	0,0006	0,0000		
Total	23	0,0309	-		

Análisis múltiple de medias (prueba de DUNCAN) para la densidad básica en monte alto

Altura								
	h1		h2		h3		h4	
Repetición	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna	Zona externa	Zona interna
1	0,523	0,476	0,530	0,504	0,520	0,521	0,559	0,598
2	0,515	0,470	0,526	0,514	0,527	0,528	0,537	0,616
3	0,519	0,473	0,528	0,509	0,524	0,524	0,548	0,607
Promedio	0,519	0,473	0,528	0,509	0,524	0,524	0,548	0,607
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8

(*) Zona con presencia de duramen.

		T8	T7	T3	T6	T5	T1	T4	T2
		0,607	0,548	0,528	0,524	0,524	0,519	0,509	0,473
T2	0,473	0,134	0,075	0,055	0,051	0,051	0,046	0,036	
T4	0,509	0,098	0,039	0,019	0,015	0,015	0,010		
T1	0,519	0,088	0,029	0,009	0,005	0,005			
T5	0,524	0,083	0,024	0,004	0,000				
T6	0,524	0,083	0,024	0,004					
T3	0,528	0,079	0,020						
T7	0,548	0,059							
T8	0,607								

CME 3,51E-05

p (XX,16)	2	3	4	5	6	7	8
Rp	3,000	3,150	3,230	3,300	3,340	3,370	3,390
Raíz (cme/n)	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
RP	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012

		T8	T7	T3	T6	T5	T1	T4	T2
		0,607	0,548	0,528	0,524	0,524	0,519	0,509	0,473
T2	0,473	si	si	si	si	si	si	si	
T4	0,509	si	si	si	si	si	no		
T1	0,519	si	si	no	no	no			
T5	0,524	si	si	no	no				
T6	0,524	si	si	no					
T3	0,528	si	si						
T7	0,548	si							
T8	0,607								

**Análisis estadístico para la densidad básica en monte bajo,
diseño unifactorial**

Variación de la densidad básica								
Altura								
	h1		H2		h3		h4	
Repetición	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna
1	0,625	0,485	0,637	0,567	0,663	0,597	0,670	0,623
2	0,620	0,473	0,660	0,568	0,680	0,611	0,648	0,593
3	0,623	0,479	0,649	0,568	0,672	0,604	0,659	0,608

(*) Zona con presencia de duramen.

Suma	1,868	1,437	1,946	1,703	2,015	1,812	1,977	1,824	T:	14,582
prom	0,623	0,479	0,649	0,568	0,672	0,604	0,659	0,608		
desv	0,003	0,006	0,012	0,001	0,009	0,007	0,011	0,015		
n	3	3	3	3	3	3	3	3		

N 24
k 8
STC 0,082
SCTr 0,080
SCE 0,001

Fuente	gl	SC	CM	Valor F	F:0.95:7:16
Tratamiento	7	0,08042	0,01149	143,08044	2,66
Error	16	0,00128	0,00008		
Total	23	0,08170	-		

Análisis múltiple de medias (prueba de DUNCAN) para la densidad básica en monte bajo

Altura								
	h1		h2		h3		h4	
Repetición	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna (*)	Zona externa	Zona interna
1	0,625	0,485	0,637	0,567	0,663	0,597	0,670	0,623
2	0,620	0,473	0,660	0,568	0,680	0,611	0,648	0,593
3	0,622	0,479	0,649	0,568	0,671	0,604	0,659	0,608
Promedio	0,622	0,479	0,649	0,568	0,671	0,604	0,659	0,608
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8

(*) Zona con presencia de duramen.

		T5	T7	T3	T1	T8	T6	T4	T2
		0,671	0,659	0,649	0,622	0,608	0,604	0,568	0,479
T2	0,479	0,192	0,180	0,170	0,143	0,129	0,125	0,089	
T4	0,568	0,104	0,091	0,081	0,055	0,040	0,036		
T6	0,604	0,067	0,055	0,045	0,018	0,004			
T8	0,608	0,063	0,051	0,041	0,014				
T1	0,622	0,049	0,037	0,026					
T3	0,649	0,023	0,010						
T7	0,659	0,012							
T5	0,671								

CME 8,03E-05

p (XX,16)	2	3	4	5	6	7	8
Rp	3,000	3,150	3,230	3,300	3,340	3,370	3,390
Raíz (cme/n)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
RP	0,016	0,016	0,017	0,017	0,017	0,017	0,018

		T5	T7	T3	T1	T8	T6	T4	T2
		0,671	0,659	0,649	0,622	0,608	0,604	0,568	0,479
T2	0,479	si	si	si	si	si	si	si	
T4	0,568	si	si	si	si	si	si		
T6	0,604	si	si	si	si	no			
T8	0,608	si	si	si	no				
T1	0,622	si	si	si					
T3	0,649	si	no						
T7	0,659	no							
T5	0,671								