



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Variación de densidad básica en la madera de  
*Pinus taeda L.***

Patrocinante: Sr. Juan Diaz-vaz O.

Trabajo de Titulación presentado  
como parte de los requisitos para  
optar al Título de **Ingeniero en  
Maderas.**

**ANDREA MACARENA FIGUEROA VIDAL**

VALDIVIA  
2007

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Juan Eduardo Diaz-vaz Olmedo	6.3
Informante:	Sr. Hernán Poblete Wilson	6.8
Informante:	Sr. Héctor Rubén Cuevas Doering	6.5

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

---

Sr. Juan Eduardo Diaz-vaz Olmedo

*A mi hermosa sobrina Fernanda Catalina Henríquez Figueroa, quien me ha demostrado que se puede salir adelante y que a pesar de las circunstancias me ha dado un ejemplo de fuerza y energía, lo que me ayudó e incentivó para finalizar mi trabajo de titulación. TE AMO...*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a mi papá por darme la educación y permitirme ser una profesional y desarrollarme como persona ya que sin él se me habría hecho difícil el llegar a este momento, a mi mamá le agradezco por el apoyo y compañía en los momentos en que más he necesitado de su ayuda, a mis hermanas y cuñado por su cariño en todo momento y a mi sobrina por darme la alegría cada día.

Gracias por acompañarme en este momento tan importante.

Le agradezco a mi profesor patrocinante Juan Eduardo Diaz-vaz, por su orientación en el desarrollo de este trabajo y a mis profesores informantes Hernán Poblete y Héctor Cuevas, por brindarme consejos a lo largo del estudio.

A la profe Alicia, le agradezco por su tiempo y ayuda en la realización de los ensayos de laboratorio y consejos prácticos, como no agradecer a don Guido y a todos los del taller por ayudarme en la obtención y preparación de mis probetas.

A mis amigas Jeka, Karen y Roxana, por aceptarme y aguantarme desde hace más de 11 años.

Finalmente agradezco a mi pololo, amigo y compañero Javier Soto Cereceda, por ser quien me acompañó durante todos mis años de estudio, por comprenderme, amarme, ayudarme en estos difíciles momentos y darme tu tiempo y apoyo durante el desarrollo de este trabajo. Te amo, gracias por estar conmigo al finalizar esta etapa.

Gracias a todos quienes de una u otra forma me ayudaron en la realización de este trabajo.

Gracias...

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Descripción general de coníferas</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Antecedentes generales de <i>Pinus taeda</i> L.</b>	<b>2</b>
2.2.1 Clasificación taxonómica	2
2.2.2 Distribución geográfica y características generales	3
2.2.3 Descripción morfológica de <i>Pinus taeda</i> L.	4
<b>2.3 Densidad básica</b>	<b>4</b>
2.3.1 Características e importancia de la densidad básica	4
2.3.2 Antecedentes de densidad básica en <i>Pinus taeda</i> L.	5
2.3.3 Factores que afectan a la densidad básica	5
2.3.4 Variabilidad de la densidad básica dentro del árbol en dirección axial	6
2.3.5 Variabilidad de la densidad básica dentro del árbol en dirección radial	7
2.3.6 Variabilidad de la densidad básica entre árboles del mismo rodal	8
<b>3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Descripción del área en estudio</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Método de muestreo</b>	<b>9</b>
3.2.1 Criterios de selección de árboles a muestrear	9
3.2.2 Selección de árboles	9
3.2.3 Selección de rodelas y probetas	10
<b>3.3 Mediciones</b>	<b>11</b>
3.3.1 Método de determinación de densidad básica	11
3.3.2 Equipos de medición de densidad básica	12
<b>3.4 Análisis estadístico</b>	<b>13</b>
3.4.1 Análisis descriptivo	13
3.4.2 Análisis inferencial	13
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Análisis descriptivo</b>	<b>14</b>
<b>4.2 Análisis inferencial</b>	<b>18</b>
4.2.1 Densidad básica en altura	19
4.2.2 Densidad básica en sección	21
4.2.3 Densidad básica entre árboles	22
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>23</b>

**6. BIBLIOGRAFÍA** **24**

**ANEXOS**

- 1 Abstract and Keywords**
- 2 Selección de árboles**
- 3 Parámetros descriptivos**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
Figura 1. Esquema de corte árbol, rodela, listón y sección	10
Figura 2. Esquema mostrando las zonas de corte y cantidad de anillos por sección	11
Figura 3. Variación de densidad básica promedio en sentido axial, para los 5 árboles	14
Figura 4. Variación de densidad básica promedio en sentido radial, para los 5 árboles	16
Figura 5. Promedios de densidad básica con intervalos de confianza al 95%, para distintas alturas	20
Figura 6. Promedios de densidad básica con intervalos de confianza al 95%, para distintas secciones en el radio	21
Figura 7. Promedios de densidad básica con intervalos de confianza al 95%, para diferentes árboles	22

**INDICE DE CUADROS**

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Parámetros descriptivos a distintos niveles en altura	14
Cuadro 2. Parámetros descriptivos de valores promedios, para cada par de anillos en el radio	15
Cuadro 3. N° de anillos de delimitación entre madera juvenil y madura por árbol al DAP	17
Cuadro 4. N° de anillos de delimitación entre árboles para madera juvenil y madura por altura	18
Cuadro 5. Test de Homogeneidad	18
Cuadro 6. Análisis de varianza para la densidad básica, con tres factores	19
Cuadro 7. Comparación múltiple según Test de Tukey con 95% de confianza, para el factor altura	19
Cuadro 8. Comparación múltiple según Test de Tukey con 95% de confianza, para el factor sección	21
Cuadro 9. Comparación múltiple según Test de Tukey con 95% de confianza, para el factor árbol	22

## RESUMEN EJECUTIVO

En este estudio fue analizada la variación de la densidad básica en sentido axial y radial en la madera de *Pinus taeda* L., además se utilizó esta variable para la delimitación de madera juvenil y madura en todos los niveles de altura considerados.

Los árboles utilizados en este estudio provienen de una plantación experimental de 30 años, ubicada en el Fundo Las Palmas cercano a Valdivia, Región de los Ríos, Chile.

Se utilizaron 5 árboles de los cuales se extrajeron discos a 5 niveles de altura, DAP, 25%, 50%, 75%, 100%. De cada disco se obtuvo probetas cada 2 anillos desde médula a corteza. La densidad básica fue determinada siguiendo la norma NCh 176/2.

La densidad básica fue significativamente diferente en la dirección axial con un p-valor  $\leq 0,05$ , promediando  $0,363 \text{ g/cm}^3$ , con un mínimo de  $0,326 \text{ g/cm}^3$  y un máximo de  $0,416 \text{ g/cm}^3$ .

También la densidad fue significativamente diferente en la dirección radial para todas las alturas con un p-valor  $\leq 0,05$ , lo que a la altura del DAP promedia  $0,395 \text{ g/cm}^3$ , con un mínimo de  $0,300 \text{ g/cm}^3$  y un máximo de  $0,530 \text{ g/cm}^3$ . De igual forma hubo diferencias significativas de densidad básica entre árboles para un p-valor  $\leq 0,05$ .

Según valores de densidad y mediante el análisis de cluster se determinó la delimitación entre la madera juvenil y madura, cuyo límite se encuentra entre los anillos 9 y 12, a la altura del DAP.

La densidad básica en la madera juvenil disminuye con la altura con valores desde  $0,325 \text{ g/cm}^3$  hasta  $0,380 \text{ g/cm}^3$ , alcanzando un valor promedio de  $0,342 \text{ g/cm}^3$ .

En la madera madura la densidad básica también disminuye con la altura fluctuando entre  $0,336$  y  $0,446 \text{ g/cm}^3$ , con un valor promedio de  $0,391 \text{ g/cm}^3$ .

Keywords: Propiedades de la madera, variación axial, variación radial, madera juvenil, madera madura.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es primordial incorporar nuevas especies para el desarrollo y diversificación del sector forestal chileno, si se quiere modificar el abastecimiento de la industria de la transformación y la obtención de nuevos productos.

La madera es un material que se caracteriza por tener una alta variabilidad por lo que es importante conocer si en el caso del *Pinus taeda* L. el comportamiento que presenta es igual al resto de las coníferas.

Dentro de las propiedades físicas de la madera, la densidad básica resulta ser una de las características más importantes ya que tiene directa relación con el uso final de la materia prima, caracteriza desde el punto de vista tecnológico y sirve como referencia para su clasificación.

No existen muchos antecedentes en Chile sobre el *Pinus taeda* L., este estudio permitirá mejorar el conocimiento y crear antecedentes generales sobre esta especie en el sur de Chile.

Objetivo general:

- Analizar la variación de densidad básica de la madera de *Pinus taeda* L., proveniente de plantaciones experimentales ubicadas en el Fundo las Palmas.

Objetivos específicos:

- Analizar la variación de densidad básica a distintas alturas en el fuste, del material en estudio.
- Analizar la variación de densidad básica en sentido médula – corteza.
- Comparar los valores de densidad básica entre los árboles muestreados.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Descripción general de coníferas

Las coníferas también son conocidas como maderas blandas o maderas de fibra larga (Díaz-vaz, 2003), son árboles que tienen hojas en forma de agujas y semillas contenidas en los conos que permanecen verde la mayor parte del tiempo a lo largo del año (Bowyer, Smith, 1998). La talla y porte de los árboles es muy variable, dependiendo de la especie a la que pertenezcan, algunos no sobrepasan los 10 o 15 m de altura, mientras otros alcanzan alturas de hasta 60 m, su tronco generalmente es recto, la copa suele ser cónica en los primeros años pero pasa a ser irregular después, la corteza acostumbra ser escamosa en los primeros años pero a medida que estos aumentan se vuelve resquebrajada, las hojas son aciculares, persistentes, en grupos de 2, 3, 4 o 5 según la especie a que corresponda (García *et al.*, 1996).

Actualmente cumplen un papel importante en el mapa vegetal, debido a que sobre todo los géneros de la familia Pinaceae (*Pinus*, *Abies*, *Picea*, *Larix*) conforman grandes reservas forestales ubicadas en Euro Asia y América del Norte (García *et al.*, 1996).

El género *Pinus* es considerado de altísima capacidad invasora en el hemisferio sur (Instituto Hórus, 2003). Los bosques de coníferas están constituidos por un variado número de especies que ocupan grandes extensiones dentro del mundo, tales como Europa, América del Norte, Sudamérica, África, Asia, entre otros. Los Pinos amarillos (*Pinus taeda*, *Pinus palustris*, *Pinus elliotii*, *Pinus echinata*), ocupan grandes superficies en el sudeste de Estados Unidos (García *et al.*, 1996).

En Brasil, existe aproximadamente 1,8 millones de hectáreas de plantaciones constituidas por especies de *Pinus*, de las cuales el 46% son de *Pinus taeda*. Por lo tanto, se trata de una especie importante como abastecimiento de materia prima, especialmente en las regiones sur y sudeste del país (Wagner, Lara, 2003).

Los *Pinus* se encuentran dentro de Chile en sitios de los arenales de la provincia del Bío-Bío y en la Cordillera de la Costa en las regiones V y VI (Burdon, 1978).

### 2.2 Antecedentes generales de *Pinus taeda* L.

#### 2.2.1 Clasificación taxonómica

Nombre científico: *Pinus taeda* L.

Nombre común: Pino de incienso (loblolly pine), Pino amarillo del sur, Pino tea

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *Taeda* L.

(Instituto Hórus, 2005).

### 2.2.2 Distribución geográfica y características generales

El *Pinus taeda* L. es una especie introducida en Chile, originaria del sudeste de Estados Unidos, cruza el río Misisipi y se extiende por los estados de Arkansas y Tejas, crece sobre todo en las tierras quebradizas del interior (Lotti, Mcculley, 1951). En el norte se desarrolla especialmente sobre terrenos secos y arenosos; más al sur, de preferencia en terrenos bajos y húmedos (Klock *et al.*, 2002), se encuentra en sectores de baja y media altitud de clima templado - cálido y verano lluvioso (García *et al.*, 1996).

Esta especie crece espontáneamente en Carolina, Florida, Tejas, Virginia de EE.UU., al tener un rápido crecimiento, es de calidad inferior, muy rica en albura, los anillos de crecimiento son estrechos y la albura menos amplia, utilizándose para algunas construcciones (Weber, 2004).

El *Pinus taeda* L. es una especie adaptable que se ha plantado con éxito a lo largo de la periferia de su rango natural y se ha introducido en otros continentes con gran éxito, sin embargo por su extensa distribución nativa es genéticamente complejo y consta de varias razas geográficas, hibridiza tan fácilmente con otras especies, que cuesta trabajo decir cuál es *taeda* puro. Pero, parece ser siempre la especie "dominante" (Zobel, Dorman, 1973).

Es importante comercialmente en el sureste de Estados Unidos, donde se halla como especie dominante en unos 11,7 millones de hectáreas (Montero *et al.*, 2005), corresponde a una de las especies del género *Pinus*, más plantada y utilizada industrialmente en Brasil, (Klock *et al.*, 2002). Varios autores comentan que, las especies *Pinus taeda* L. y *Pinus elliotii* Engelm, son las coníferas más difundidas en plantaciones comerciales en Argentina, cubriendo aproximadamente 300.000 ha, fundamentalmente en la región mesopotámica (INTA, 2000).

El *Pinus taeda* L. y *Pinus elliotii*, son dos pinos del sur, resistentes a muchas de las enfermedades e insectos que atacan al *Pinus radiata*, sin embargo, vienen de regiones que presentan precipitaciones durante todo el año, con la particularidad de que en invierno se alcanzan temperaturas extremadamente bajas y en verano considerablemente altas, como estas dos condiciones no se presentan simultáneamente en Chile, es dudosa la adaptación de estas especies (Burdon, 1978).

Su madera es utilizada principalmente para abastecer a la industria celulósica y del aserrado (INTA, 2000), además se utiliza frecuentemente como material de construcción, postes, carpintería y ebanistería, así como para tableros contrachapados y como fuente de energía (Montero *et al.*, 2005).

### 2.2.3 Descripción morfológica del *Pinus taeda* L.

Este árbol resinoso presenta normalmente entre 25 - 35 m de altura y entre 60 - 90 cm de diámetro (Martínez, 1979), pero puede alcanzar con facilidad los 45 m de altura y los 135 cm de diámetro (Montero *et al.*, 2005), posee acículas de color verde oscuro reunidas en grupos de 3, 15 a 20 cm de longitud, conos masculinos cilíndricos y amarillentos, femeninos ovalados y alargados, muy persistentes y dotados de escamas espinosas, posee semillas pequeñas de aproximadamente 5 mm de longitud (Instituto Hórus, 2005), la corteza es de color gris ceniza o amarillenta (Weber, 2004) varía con la edad, cuando los árboles son jóvenes es escamosa y cuando viejos estriada (Montero *et al.*, 2005).

En Argentina con el manejo actual de las plantaciones de *Pinus*, los turnos de corta más comunes para aserrío son de 20 a 22 años y su rendimiento por su rápido crecimiento en *Pinus taeda* se sitúa entre 27 m<sup>3</sup>/ha año y 33 m<sup>3</sup>/ha año (Weber, 2004).

## 2.3 Densidad básica

### 2.3.1 Características e importancia de la densidad básica

La densidad básica también conocida como peso específico de la madera, es la cantidad de material leñoso por unidad de volumen, además se considera una de las propiedades físicas de mayor importancia en la madera (Pereyra, Gelid, 2002), porque influye y tiene relación directa con cada una de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de esta (Díaz-vaz, 1981; Delmastro *et al.*, 1980).

La densidad básica es la relación entre el peso de la madera libre de agua o anhidra y su volumen obtenido cuando se encuentra saturada de agua (Delmastro *et al.*, 1980; Saavedra, 2004), es la determinación más empleada en los estudios de la madera, es el más socorrido, por la facilidad de obtener los datos necesarios de peso y volumen con exactitud (Delmastro *et al.*, 1980).

La densidad básica en la práctica sirve para clasificar a las maderas (Pereyra, Gelid, 2002), se emplea normalmente como criterio de evaluación, permitiendo predecir las posibilidades de uso, la calidad de los productos que se obtendrán, el rendimiento de la materia prima y los requerimientos técnicos en la producción (Delmastro *et al.*, 1980), también se considera uno de los índices de mayor utilidad que caracterizan a las maderas desde el punto de vista tecnológico, debido a la alta correlación que tiene en la producción de pulpa y en las propiedades mecánicas de la madera aserrada (Higa *et al.*, 1973).

La densidad de la madera es relevante en muchas propiedades y procesos de conversión, incluyendo el aserrío, secado, encolado y en los rendimientos obtenidos en la producción de pulpa y papel en general, por lo que existe una relación directamente proporcional entre la densidad de la madera y el precio de esta (Saavedra, 2004).

Además la densidad es importante, ya que permite dar conclusiones sobre la adaptación que tiene la madera como material de construcción, debido a que presenta una buena relación de resistencia /masa (Pereyra, Gelid, 2002).

Por lo general, la densidad entrega una buena indicación de la resistencia, dureza y durabilidad de la madera, conjuntamente se señala que un aumento de un 50% en la densidad básica puede incrementar en un 250% su resistencia (Delmastro *et al.*, 1980; Prado, Barros, 1989).

En general se dice que las maderas más densas tienen mayor resistencia, son más rígidas y duras que las maderas menos densas, pero son difíciles de trabajar y pueden presentar mayor variación volumétrica (Kollmann, 1959).

Las propiedades tienen el valor de resistencia mayor con un aumento de la densidad básica, percibiendo que esa relación es mayor para maderas secas que maderas verdes. La densidad básica es un buen indicativo de las propiedades mecánicas en la madera de grano recto y libre de defectos (Kollmann, Côté, 1968).

Los pinos del sur de los Estados Unidos se caracterizan por que poseen elevadas densidades (Barrichelo, 1980).

### 2.3.2 Antecedentes de densidad básica en *Pinus taeda* L.

Las maderas provenientes de sitios con ritmo de rápido crecimiento, mostraron tendencia a tener menores valores de densidad básica, la densidad básica para esta especie se encuentra en el rango de 0,37 a 0,40 g/cm<sup>3</sup> (Rigatto *et al.*, 2004), y 0,35 a 0,40 g/cm<sup>3</sup> (Barrichelo, *et al.*, 1977) para árboles 30 años.

Foelkel en 1975 realizó un completo estudio en coníferas y encontró en *Pinus taeda* de 7 a 11 años de edad crecidos en Brasil, valores de densidad básica de 0,34 g/cm<sup>3</sup>.

### 2.3.3 Factores que afectan a la densidad básica

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 fibras y contenido de extraíbles presentes en la madera, los que a su vez son influenciados por la edad de los árboles y su interacción con el medio ambiente (Prado, Barros, 1989).

El medio ambiente influye en forma significativa sobre la densidad básica, incluso en una proporción mayor que el efecto de origen de la semilla (Delmastro *et al.*, 1980). La variación de densidad, se ve afectada por la influencia de numerosos factores que pueden clasificarse en tres grupos: sitio (clima y suelo), silvicultura y genética (Saavedra, 2004).

Existen variaciones en la densidad por características internas y externas del árbol, entre las fuentes más importantes de variación y las que se relacionan con características del individuo están: contenido de humedad, anatomía de la madera, edad del árbol, altura, tasa de crecimiento y factores genéticos propios del individuo. En cuanto a las fuentes de variación ajenas al árbol, se destacan: los tratamientos silvícolas como la poda, raleos, fertilización y las características del sitio (Barrios, 2004).

Especies de madera blanda en que la madera tardía constituye un porcentaje significativo del ancho de anillos de crecimiento tienen las densidades más altas que especies en que la madera tardía compone un porcentaje pequeño del ancho del anillo de crecimiento. Existe la creencia de que el crecimiento rápido de las maderas blandas conduce a la baja densidad de madera. Esto ha llevado a algunos investigadores a concluir erróneamente que la madera de baja densidad resulta siempre de un crecimiento rápido. Sin embargo, hay solamente una relación débil entre el crecimiento y la densidad de la madera en estas especies (Bowyer, Smith, 1998).

El *Pinus taeda*, como la mayoría de las coníferas, posee un patrón uniforme de baja densidad básica en la médula, un rápido aumento de la densidad en el período juvenil, seguido por series de anillos que poseen densidades esencialmente constantes, pero fluctúan de año en año, hay un aumento de la densidad desde la médula al exterior de 18,75% y una disminución de la base hasta los 5 m de 19,87% (Weber, 2004).

#### 2.3.4 Variabilidad de la densidad dentro del árbol en dirección axial

La densidad varía con la altura, es mayor en la base y va disminuyendo hacia la copa (Pereyra, Gelid, 2002). La variabilidad de la densidad, como efecto de la altura en el fuste, es de indiscutible importancia en los estudios de maderas (Delmastro *et al.*, 1980).

Las variaciones de la densidad básica pueden ser tan acentuadas en el sentido longitudinal del árbol, que se pueden sugerir diferentes clases de calidad solo en función de la posición del origen de las piezas (Kollmann, 1959).

La presencia de madera juvenil, es también un factor necesario de considerar. Las variaciones de densidad de madera juvenil, desde la base del árbol a la copa son pequeñas; no así las de la madera madura. Por este motivo muchos efectos tales como el sitio y el genotipo, son menos marcados en lo alto del fuste que en el DAP (Delmastro *et al.*, 1980).

La densidad de la madera juvenil presenta una fuerte disminución desde la base del árbol hasta los 3 m, por encima de los 5 m la densidad se mantiene constante, independientemente de la altura. Estudios realizados en *Pinus radiata*, consideran como madera juvenil al cilindro de madera comprendido entre la médula y el anillo número 10 (Pereyra, Gelid, 2002).

La madera juvenil constituye en los árboles una zona cilíndrica central, que en la parte superior ocupa el 100% de la sección, disminuyendo su participación hacia la parte baja del fuste, de esta forma la densidad básica presenta una disminución de la base al ápice (Peredo, Mora, 2000)

Varios estudios realizados en *Pinus taeda* L. indican que la madera juvenil es un cilindro desde la base hasta la copa del árbol. Asumiendo que la copa viva es la que regula la formación de madera juvenil en el árbol, por lo que las traqueidas de la madera temprana tienen grandes lúmenes, espesor de pared celular delgado y una débil estructura, el descenso de la proporción de madera juvenil puede minimizar la madera temprana y disminuir así el ancho del anillo, lo que favorece el impacto del porcentaje de madera tardía en el ancho del anillo con la edad cambial (Pecho, *et al.*, 2004).

Al considerar distintas alturas en un árbol, deben tomarse especialmente en cuenta la edad y el efecto copa, que pueden cambiar los patrones de variabilidad de la densidad en el radio (Delmastro *et al.*, 1980).

### 2.3.5 Variabilidad de la densidad dentro del árbol en dirección radial

Las variaciones más fuertes de densidad dentro del árbol se presentan en la dirección radial dentro de cada anillo de crecimiento. La madera temprana, que se forma al inicio de cada crecimiento anual, tiene densidades bajas que se mantienen durante toda la formación de esta zona de crecimiento en diámetro. Terminada la formación de esta madera los valores de densidad comienzan a aumentar rápidamente hasta alcanzar un máximo casi al final de la madera tardía (Delmastro *et al.*, 1980).

Se ha mostrado que la densidad básica aumenta con la edad (de médula a corteza), se señala que durante los primeros años el árbol produce madera con anillos de crecimiento anchos, donde hay una mayor proporción de madera temprana de baja densidad (Pereyra, Gelid, 2002), a medida que pasa el tiempo, los anillos de crecimiento comienzan a estrecharse disminuyendo la cantidad de madera temprana, permaneciendo constante la cantidad de madera tardía (Saavedra, 2004).

La madera que se encuentra cerca de la médula o madera juvenil (primeros anillos de crecimiento) presenta una menor densidad básica en comparación con la madera que se forma posteriormente o madera adulta (Peredo, Mora, 2000)

Estudios afirman que la mayor variación de densidad se presenta dentro de un anillo de crecimiento anual, debido a que el género *Pinus* presenta un contraste muy notorio entre la madera de temprana y la madera tardía, esto se ejemplifica con la densidad de la madera temprana en los pinos amarillos del sur, ya que varía entre 0,31 a 0,46 g/cm<sup>3</sup>, mientras que la densidad de la madera tardía se encuentra entre 0,65 a 0,92 g/cm<sup>3</sup> (Pereyra, Gelid, 2002).

Una de las razones, por lo que la madera tiende a aumentar su densidad desde la médula hacia la corteza, se debe a la existencia de madera juvenil en la parte central, que ocupa un 100% en la parte alta del fuste, donde la madera temprana está presente en mayor cantidad en la madera juvenil, lo que implica, que las características de esa madera se relacionan estrechamente con la edad (Saavedra, 2004).

La densidad básica puede variar en gran medida dentro de cada especie y entre las especies, presentándose la variación más fuerte de densidad en la dirección radial, consecuencia del cambio de edad y fundamentalmente del efecto de la posición de la madera respecto a la copa (Delmastro *et al.*, 1980).

### *2.3.6 Variabilidad de la densidad entre árboles de un rodal*

Estas variaciones son muy amplias, aun cuando se consideren árboles iguales en edad, clase de copa y crecimiento en condiciones ambientales comparables. Las variaciones de densidad entre árboles en un rodal son en general muy grandes. En *Pinus taeda* se encontró una variación entre 0,396 y 0,616 g/cm<sup>3</sup> entre árboles presentes dentro del mismo rodal (Delmastro *et al.*, 1980).

La variabilidad de las características entre árboles se deben a dos factores, heredabilidad y condiciones ambientales en que crecen, es así como árboles de diferentes orígenes genéticos, responden en diferentes maneras a una misma influencia externa. La densidad de varios árboles no puede de ningún modo determinarse midiéndola en un solo árbol. Por otra parte, si se considera que las diferencias de densidad entre árboles son significativas, un promedio no puede caracterizar a un sitio o a una localidad, las diferencias entre árboles de diferentes sitios están traslapadas y encubiertas por las diferencias entre árboles de un sitio (Delmastro *et al.*, 1980).

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en una plantación de *Pinus taeda* L. ubicado en el fundo Las Palmas perteneciente al Centro Experimental Forestal (CEFOR) patrimonio de la Universidad Austral de Chile.

Las características del rodal se presentan a continuación:

- Año de plantación : 1974
- Edad : 32 años
- Superficie : 0,1 hectáreas
- Altura media : 21 m
- Exposición : Nor-Oeste
- Latitud Sur : 39° 45'
- Longitud Oeste : 73° 07'
- Altura sobre el nivel del mar : 20 m

#### 3.2 Método de muestreo

Se debió censar el rodal lo que sirvió para caracterizar los árboles a través del DAP, altura, forma del fuste (recto, curvado, torcido), calidad y sanidad del fuste (sano, ramas muertas c/hongos, pudrición), estrato social (dominante, codominante, intermedio, suprimido), considerando la altura total; con los datos obtenidos se calculó la media y desviación estándar y en base a esto se definió los árboles a selección.

##### 3.2.1 Criterios de selección de los árboles a muestrear

Para la extracción de muestras se escogieron árboles de alturas dominantes y codominantes, que presentaron fuste cilíndrico, recto y sin inclinación, en cuanto a la calidad y sanidad se eligieron árboles sanos con ausencia de daños visibles de carácter biótico o abiótico.

##### 3.2.2 Selección de árboles

Como unidad experimental se seleccionaron 5 árboles de la parcela, de 32 años de edad, utilizando el siguiente método:

- 3 árboles cercanos al DAP promedio.
- 2 árboles, uno de + 1  $\sigma$  del diámetro promedio y otro de - 1  $\sigma$  del diámetro promedio (según desviación standard).



A cada uno de estos se les midió el DAP y altura total considerada hasta el índice de utilización (I.U. = 10 cm) (Campos, 2006; Espina, 2006).

### 3.2.3 Selección de rodela y probetas

Se procedió a la marcación del norte y al volteo; de cada árbol seleccionado se extrajeron 5 rodela a alturas progresivas, considerando el DAP (1,3 m) para evitar tomar madera de compresión en la muestra, luego al 25%, 50%, 75% y al 100% del I.U. (figura 1, a) (Molina, 1996). En presencia de rama o algún defecto se obtuvo la rodela dentro de 20 cm superiores o inferiores respecto a la altura correspondiente (Espina, 2006).

Basado en los procedimientos de obtención de muestras de López (1996) y Campos (2006), se definió el espesor de la rodela de 2,5 cm (figura 1, a), luego de esta rodela se cortó utilizando sierra circular, un listón por rodela de la sección central de 1,5 cm de ancho, eligiendo solo un radio desde médula a corteza, con el fin de visualizar y delimitar en forma exacta los anillos de crecimiento (figura 1, b) se verificó que no existiera madera de reacción, grietas y nudos, en general todo lo que afecte la determinación de la densidad básica.

Una vez fabricados los listones, se cepillaron y lijaron para visualizar los anillos de crecimiento de una forma mas clara y segura (Rivas, 1982).

El material muestreado se identificó por medio de 3 dígitos, en el siguiente orden de izquierda a derecha, para su clasificación:

- 1) Número del árbol (1-5).
- 2) Número de la rodela (1-5 partiendo de la base).
- 3) Número de la sección (1-15 partiendo desde la médula).

El método de muestreo se indica en el esquema siguiente:

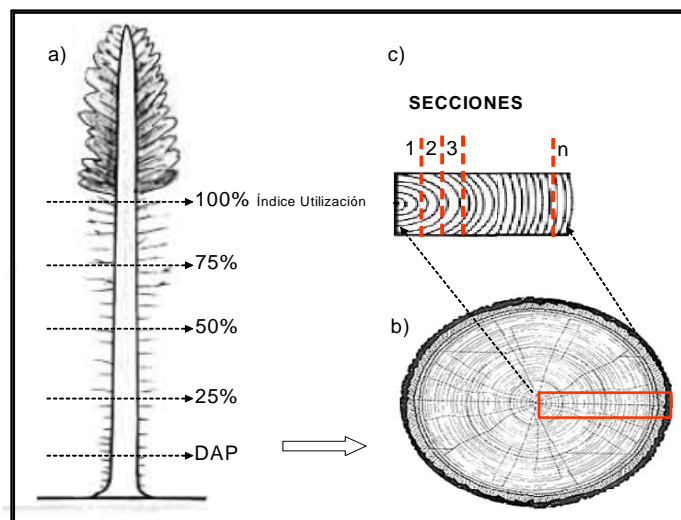


Figura 1: Esquema de corte árbol, rodela, listón y secciones.

Luego se cortaron de los listones probetas cada 2 anillos de crecimiento, debido a que de esta forma la manipulación de las muestras fue más fácil y al mismo tiempo se tuvo un menor sesgo en cuanto a la precisión del corte, para ello se utilizó un escarpelo.

En la separación de las secciones de cada listón, se cuidó al máximo que cada sección contuviera sólo anillos enteros. Por esta razón el criterio que se consideró como límite para conseguir el corte de las probetas o secciones del listón y no tener dificultad en la separación de anillos, fue cortar al comienzo de la madera temprana del anillo siguiente y no de la madera tardía del anillo considerado para lograr que los anillos de los extremos de la probeta contengan anillos completos (figura 2). Esto porque la variación de densidad de la madera temprana en diferentes anillos casi no varía, en cambio, si se presentan fuertes diferencias de densidad entre las zonas terminales de distintos anillos (Delmastro *et al.*, 1982).

Según Rivas (1982), para evitar el problema de que las probetas más cercanas a la corteza sean de un largo muy pequeño, a raíz de que los anillos de la zona externa son progresivamente más angostos y poco delimitados, se dificultó su adecuada separación, en ese caso se tomó la decisión de considerar el largo de la última probeta como de tamaño constante, desde allí en adelante en dirección a la corteza.

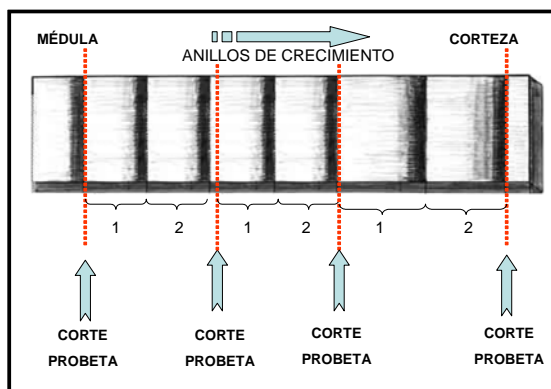


Figura 2: Esquema mostrando las zonas de corte y cantidad de anillos por sección

### 3.3 Mediciones

#### 3.3.1 Método de determinación de densidad básica

Los métodos y procedimientos empleados para determinar los valores de densidad, dependieron de ciertas características de las muestras como por ejemplo, tamaño de las probetas, regularidad de su superficie, número de determinaciones, exactitud requerida y objetivo del ensayo (Delmastro *et al.*, 1980).

La densidad básica se determinó según lo establece la norma Nch 176/2. of 86 Mod. 1986 Madera - Parte 2: Determinación de la Densidad (INN, 1986), con la fórmula (1):

$$Db = \frac{Po}{Vs} \quad (1)$$

Donde:

Db = Densidad básica en g/cm<sup>3</sup>

Po = Peso anhidro en g

Vs = Volumen saturado en cm<sup>3</sup>

Para obtener la densidad básica, se realizó:

- Determinación de volumen por desplazamiento de agua:

Dado que las probetas resultaron de forma irregular y de superficie rugosa, se optó por utilizar el método de desplazamiento de agua, lo que en la práctica se realiza de la siguiente forma, esto es, se pesa un recipiente con agua y luego en el mismo recipiente con agua se introduce la madera sumergiéndola completamente y se vuelve a pesar el recipiente con la madera sumergida en él. La diferencia de peso es igual al volumen de la muestra de madera, ya que se asume que la densidad del agua es igual a 1 g/cm<sup>3</sup>.

- Determinación de masa anhidra (0% C.H.)

Las probetas fueron puestas en la estufa a 103 +/- 2 °C, hasta obtener un peso constante, una vez obtenida las probetas se pesaron en una balanza con una precisión de +/- 0,01 g

### 3.3.2 Equipos de medición de densidad básica

Para los ensayos físicos de densidad, se utilizan los siguientes equipos del laboratorio de Tecnología de productos forestales (UACH):

- Balanza electrónica, con precisión de 0,01 g
- Estufa de secado con termostato, que permite regular temperaturas de 103 +/- 2 °C.
- Desecadores, pinzas y cubetas.

### 3.4 Análisis estadístico

#### 3.4.1 Análisis descriptivo

Se realizó el cálculo de parámetros estadísticos descriptivos para la densidad básica a distintos niveles de altura y sección, dentro de los cuales se consideró media, máximo, mínimo, desviación estándar y coeficiente de variación (Espina, 2006). Además se efectuó un Análisis de Conglomerados también conocido como Análisis de Cluster, en el que según valores de densidad básica se observó la delimitación que se produce entre madera juvenil y madura.

#### 3.4.2 Análisis inferencial

Se realizó un análisis de varianza de tres factores, a través del software estadístico STATGRAPHICS 5.1 plus, el modelo estadístico asociado al ensayo esta dado por la siguiente expresión:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + u_{ijkn}$$

Donde:

$y_{ijk}$  : Es la variable densidad.

$\mu$  : Es la media global.

$\alpha_i$  : Es el efecto del nivel  $i$  del primer factor (altura).

$\beta_j$  : Es el efecto del nivel  $j$  del segundo factor (radio).

$\gamma_k$  : Es el efecto del nivel  $k$  del tercer factor (árbol).

$u_{ijkn}$  : Es el error de la observación respecto a la media global,  $n$  es el número de repeticiones.

Se comprobaron los dos supuestos básicos del ANOVA:

Test de normalidad: Para lo que se aplicó el Test  $X^2$  (Chi-cuadrado) de Pearson al 95% de confianza.

Test de homogeneidad: Para lo que se aplicó el Test de Bartlett al 95% de confianza (Morales, 2005).

Estas validaciones se realizaron con el software STATGRAPHICS 5.1 plus mediante análisis gráfico.

Para verificar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos analizados se aplicó el Test de Tukey al 95 % de confianza para resguardar la diferencia.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar el análisis de varianza, se utilizó un tamaño muestral de 255 valores de densidad básica.

### 4.1 Análisis Descriptivo

A continuación se indica el resumen general de los valores medios de los 5 árboles estudiados, obtenidos a diferentes niveles de altura en el fuste.

Cuadro 1. Parámetros descriptivos a distintos niveles en altura.

	Nivel de altura					Total ensayo
	DAP	25%	50%	75%	100%	
Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	0,416	0,379	0,356	0,339	0,326	0,363
Desviación Standard	0,012	0,015	0,007	0,017	0,006	0,057
Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	0,305	0,281	0,284	0,273	0,273	0,273
Máximo (g/cm <sup>3</sup> )	0,559	0,498	0,446	0,447	0,367	0,559
Coefficiente Variación (%)	2,960	3,980	1,944	4,958	1,922	0,158

Al observar el cuadro se aprecia que la densidad básica promedio de los árboles a diferentes niveles de altura en el fuste varió entre 0,326 y 0,416 g/cm<sup>3</sup>, alcanzando un valor medio general del ensayo de 0,363 g/cm<sup>3</sup> (Cuadro 1).

La densidad básica presenta una disminución a medida que aumenta la altura en el fuste, se indica en la Figura 3.

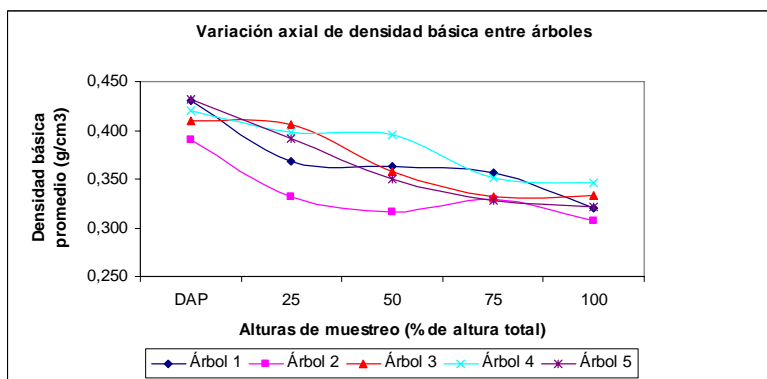


Figura 3. Variación de densidad básica promedio en sentido axial, para los 5 árboles.

Según la variación que presenta la densidad básica entre los 5 árboles muestreados y los 5 niveles de altura utilizados, se observa que al 100% de la altura (hasta el I.U. de 10 cm) se muestra el valor medio más bajo y en la altura del DAP el valor medio más alto.

El resumen general de los valores promedios de densidad básica obtenidos de los 5 árboles utilizados en el estudio, a diferentes número de anillos, se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros descriptivos de valores promedios, para cada par de anillos en el radio.

		Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación Standard	Mínimo (g/cm <sup>3</sup> )	Máximo (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficiente Variación (%)
Nº de anillos	1-2	0,388	0,017	0,372	0,408	4,402
	3-4	0,329	0,018	0,318	0,362	5,513
	5-6	0,319	0,021	0,300	0,355	6,559
	7-8	0,329	0,014	0,312	0,349	4,278
	9-10	0,345	0,016	0,326	0,361	4,568
	11-12	0,357	0,010	0,344	0,366	2,916
	13-14	0,374	0,020	0,342	0,393	5,265
	15-16	0,392	0,032	0,339	0,422	8,175
	17-18	0,408	0,034	0,350	0,435	8,365
	19-20	0,406	0,028	0,375	0,436	6,933
	21-22	0,419	0,032	0,373	0,457	7,629
	23-24	0,449	0,035	0,395	0,486	7,755
	25-26	0,461	0,049	0,385	0,507	10,655
	27-28	0,471	0,040	0,426	0,520	8,555
29-30	0,470	0,052	0,407	0,530	11,002	
Total ensayo		0,395	0,013	0,300	0,530	3,222

La variación de los valores promedios de densidad básica en sentido radial obtenidos de los 5 árboles, aumenta desde la médula a la corteza. Cabe destacar que del anillo 1 al 4, se presentan valores más elevados, ya que en el momento de realizar el corte y preparación de las probetas se observó presencia de médula y resina, lo que podría haber contribuido al aumento de la densidad en esa zona (Cuadro 2).

Se observa que el valor del promedio general de los 30 anillos es de 0,395 g/cm<sup>3</sup>, por lo que se aprecian valores que fluctuaron entre un valor mínimo de 0,300 g/cm<sup>3</sup> y un máximo de 0,530 g/cm<sup>3</sup> (Cuadro 2).

La tendencia que presenta la densidad básica desde médula a corteza en cada árbol se presenta en la Figura 4.

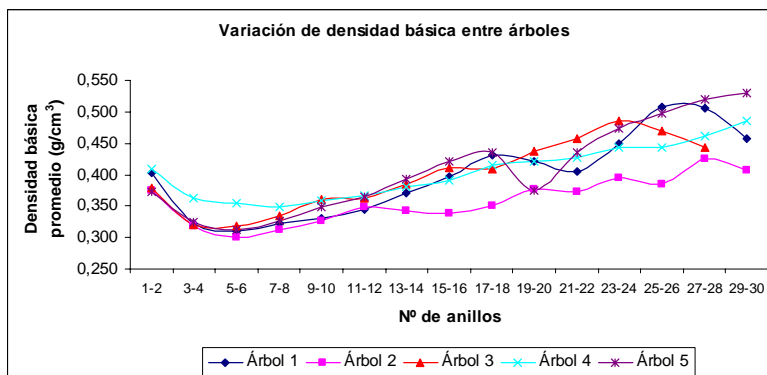


Figura 4. Variación de densidad básica promedio en sentido radial, para los 5 árboles.

En los anillos 1 y 2 se aprecian valores promedios de densidad básica que varían entre 0,372 y 0,408 g/cm<sup>3</sup>, los que luego disminuyen entre un rango de 0,300 a 0,355 g/cm<sup>3</sup> en los anillos 5 y 6, posteriormente hay un aumento persistente de estos valores en dirección a la corteza, que fluctúan entre 0,407 y 0,530 g/cm<sup>3</sup> en los anillos 29 y 30.

Los valores de densidad básica en cada par de anillos, fueron utilizados para separar y delimitar el cambio entre madera juvenil y madura mediante el Análisis de Cluster. El método utilizado para los Análisis de Cluster fue Media de Grupo con datos estandarizados y Distancia Métrica Euclidiana.

Debido a que la variación de densidad básica entre pares de anillos, fue irregular y arrojó dendrogramas distorsionados que complicaron la interpretación de datos, se realizó una transformación de los datos de densidad básica por árbol a la altura del DAP, es decir estos se modificaron, agregando a los valores reales de densidad un incremento constante de un décimo de la edad fisiológica que correspondía a cada sección o par de anillos (Díaz-vaz, 1981).

En cada árbol se formaron claramente 2 conglomerados que se consideraron para marcar el cambio entre madera juvenil y madura (ver Anexo 3), en el cuadro 3 se indica la delimitación resultante, se muestra el par de anillos en donde se produce el cambio entre madera juvenil y madura para cada árbol en la altura del DAP, además se indica la densidad básica promedio para cada una de estas maderas.

Cuadro 3. N° de anillos de delimitación entre madera juvenil y madura por árbol al DAP.

N° árbol	N° anillos	DB prom. (g/cm <sup>3</sup> ) Madera juvenil	DB prom. (g/cm <sup>3</sup> ) Madera madura
1	11-12	0,363	0,475
2	9 -10	0,374	0,395
3	11-12	0,371	0,438
4	9 -10	0,403	0,421
5	9 -10	0,373	0,473
Prom. Gral.		0,377	0,441

La delimitación para el árbol 1 y 3 se origina en los anillos 11-12 , mientras que en el árbol 2, 4 y 5 se ocasiona entre los anillos 9-10, lo que coincide con la bibliografía.

Los valores de densidad básica se promediaron de tal forma de obtener la variación entre madera juvenil y madura ya que así se corrobora el aumento de densidad que se produce desde médula a corteza. La densidad promedio tiende a elevarse rápidamente después de los anillos 9 al 12, de un valor medio de 0,377 g/cm<sup>3</sup> hasta los 0,441 g/cm<sup>3</sup> (Cuadro 3).

El menor valor de densidad básica pertenece al árbol 1, sin embargo el mayor valor se observa en el árbol 4, siendo el promedio de densidad básica de madera juvenil el correspondiente a los anillos 11-12 para el árbol 1 y los 9-10 para el árbol 4. No obstante los valores de densidad básica de madera madura varían entre 0,395 y 0,475 g/cm<sup>3</sup>, que corresponden a los árboles 2 y 1 respectivamente, el promedio para este tipo de madera se obtuvo entre los anillos 11 y 30 para el árbol 2 y entre los anillos 13 y 30 para el árbol 1 (Cuadro 3).

Se definen diferentes delimitaciones entre madera juvenil y madura a medida que se incrementa la altura, lo que se debe al aumento de proporción de madera juvenil a lo largo del fuste, por lo que se produce una diferencia entre los valores de densidad básica de la madera en las distintas alturas tratadas en el ensayo. Por esta razón se muestra en el siguiente cuadro resumen la sección y el par de anillos en donde se produce el cambio a medida que aumenta la altura en el fuste, además se indica la densidad básica promedio de los árboles para cada una de estas maderas.



Cuadro 4. N° de anillos de delimitación entre árboles para madera juvenil y madura por altura.

Altura	N° anillos	DB prom. (g/cm <sup>3</sup> ) Madera juvenil	DB prom. (g/cm <sup>3</sup> ) Madera madura
100%	5-6	0,325	0,336
75%	7-8	0,326	0,372
50%	9-10	0,332	0,387
25%	13-14	0,347	0,416
DAP	11-12	0,380	0,443
Prom. Gral.		0,342	0,391

La densidad básica disminuye desde la base del árbol hacia la copa por lo que disminuye también el número de anillos en que delimitan la madera juvenil y madura, variando desde los anillos 11 y 12 en el DAP y los anillos 5 y 6 en el 100% de altura. Se destaca la altura del 25% por exhibir un leve aumento de la zona de cambio entre estos dos tipos de madera, entre los 13 y 14 años.

Como ya se conoce la tendencia a la disminución desde la base hacia distintos niveles de altura en el fuste, se agrupan valores de densidad promedio para identificar el cambio entre ambas maderas. Los valores promedios de la densidad básica registrados para la madera juvenil a distintos niveles de altura en el fuste oscilaron entre 0,325 y 0,380 g/cm<sup>3</sup>, alcanzando un valor promedio general de 0,342 g/cm<sup>3</sup>, entretanto los valores promedios de densidad básica se elevaron desde 0,336 a 0,443 g/cm<sup>3</sup>, alcanzando un valor medio de 0,391 g/cm<sup>3</sup>.

## 4.2 Análisis Inferencial

Antes de realizar el Análisis de Varianza (ANOVA) se deben cumplir dos supuestos, comprobándolos mediante dos Test:

- Homogeneidad en la varianza de los factores.
- Normalidad en la distribución de los residuos.

Cuadro 5. Test de Homogeneidad.

Prueba de homogeneidad de varianza según Test de Bartlett para cada factor	
P-Valor altura	0,014418
P-Valor sección	0,180658
P-Valor árbol	0,016442

Como los p-valores son mayores a 0,01 se concluye que no existe diferencia estadística significativa entre las varianzas al 99% de confianza estadística, para los 3 factores estudiados.

Según el Test de Chi-cuadrado para el contraste de normalidad de los residuos el p-Valor es 0,727924, por lo tanto al ser mayor que 0,01 se acepta la normalidad en la distribución.

En el Cuadro 6, se presenta un análisis de varianza, en el cual se determinó cual de los tres factores estudiados influyen en forma significativa sobre densidad básica.

Cuadro 6. Análisis de varianza para la densidad básica, con tres factores.

ANOVA para densidad					
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado promedio	F-ratio	P-valor
A: Altura	0,072444	4	0,018111	19,24	0,000**
B: Sección	0,304864	14	0,021776	23,13	0,000**
C: Árbol	0,053001	4	0,013250	14,08	0,000**
Residuos	0,218385	232	0,000941		
Total (corregido)	0,838315	254			
** indica influencia significativa sobre la densidad al 95% de confianza					

Los resultados del análisis de varianza permiten establecer que los factores altura, sección radial y árbol influyen significativamente sobre la densidad, ya que el p-valor es menor a 0,05.

Para determinar entre que niveles de cada factor existieron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples con el Test de Tukey, para cada factor.

#### 4.2.1 Densidad básica en altura

Cuadro 7. Comparación múltiple según Test de Tukey con 95% de confianza, para el factor altura.

Test de comparación múltiple de Tukey al 95%, para densidad según la altura				
Altura	Cuenta	Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	LS Sigma	Grupos homogéneos
5	25	0,367	0,007	X
4	39	0,372	0,005	XX
3	51	0,379	0,005	XX
2	66	0,389	0,004	X
1	74	0,417	0,004	X

Se encontraron diferencias significativas entre las distintas alturas en el fuste, esto se realizó mediante el Test de Tukey al 95% de confianza estadística.

Cabe considerar que la altura 1 es la correspondiente al DAP y la 5 al 100% de la altura (hasta el I.U. de 10 cm). La densidad disminuye a medida que aumenta la altura, según el Test de Tukey se formaron 2 grupos, la altura 1 con la mayor densidad, y las alturas 2, 3, 4 y 5 sin diferencias significativas entre ellas, esto se expresa con claridad en la Figura 5.

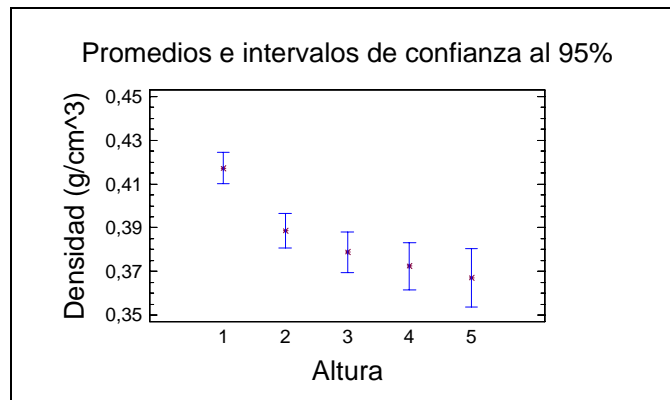


Figura 5. Promedios de densidad básica con intervalos de confianza al 95%, para distintas alturas.

Estudios realizados afirman que la densidad básica disminuye al aumentar la altura en el fuste, por lo que los resultados de éste estudio se ajustan a lo indicado por la bibliografía.

#### 4.2.2 Densidad básica en sección

Cuadro 8. Comparación múltiple según Test de Tukey con 95% de confianza, para el factor sección.

Test de comparación múltiple de Tukey al 95%, para densidad según la sección del radio				
Sección	Cuenta	Promedio	LS Sigma	Grupos homogéneos
3	25	0,319	0,006	X
4	25	0,329	0,006	XX
2	25	0,329	0,006	XX
5	23	0,343	0,006	XXX
6	21	0,353	0,007	XXX
7	21	0,371	0,007	XXX
8	18	0,386	0,007	XXX
1	25	0,388	0,006	XX
9	16	0,401	0,008	XXX
10	14	0,402	0,008	XXX
11	12	0,403	0,009	XXX
12	10	0,431	0,010	X
13	10	0,438	0,010	X
15	4	0,439	0,016	X
14	6	0,439	0,013	X

También se encontraron diferencias significativas entre las distintas secciones del diámetro, se formaron 8 grupos, los promedios de densidad fluctuaron entre 0,319 y 0,439 g/cm<sup>3</sup>, en las secciones 3 y 14 respectivamente, el análisis de Tukey a continuación así lo demuestra:

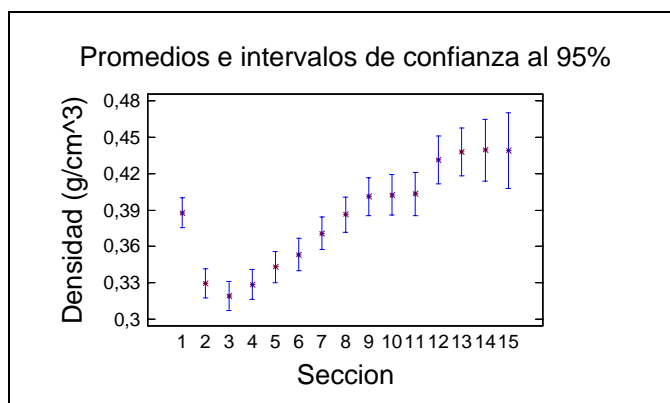


Figura 6. Promedios de densidad básica con intervalos de confianza al 95%, para distintas secciones en el radio.

Se considera la variación más fuerte de densidad en la dirección radial, consecuencia del cambio de edad y fundamentalmente del efecto de la posición de la madera respecto a la copa (Delmastro *et al.*, 1980).

En la Figura 6 se aprecia claramente la tendencia del aumento de la densidad a medida que la sección se encuentra más cerca de la corteza. Se reitera que cada sección corresponde a 2 anillos de crecimiento en el radio.

#### 4.2.3 Densidad básica entre árboles

Cuadro 9. Comparación múltiple según Test de Tukey con 95% de confianza, para el factor árbol.

Test de comparación múltiple de Tukey al 95%, para densidad según el árbol				
Árbol	Cuenta	Promedio	LS Sigma	Grupos homogéneos
2	49	0,357	0,005	X
1	55	0,387	0,004	X
5	50	0,389	0,005	X
3	48	0,392	0,005	X
4	53	0,400	0,005	X

Se encontraron diferencias significativas entre árboles, donde se formaron 2 grupos, el árbol 2 tuvo la menor densidad, mientras que el árbol 4 presentó la mayor densidad.

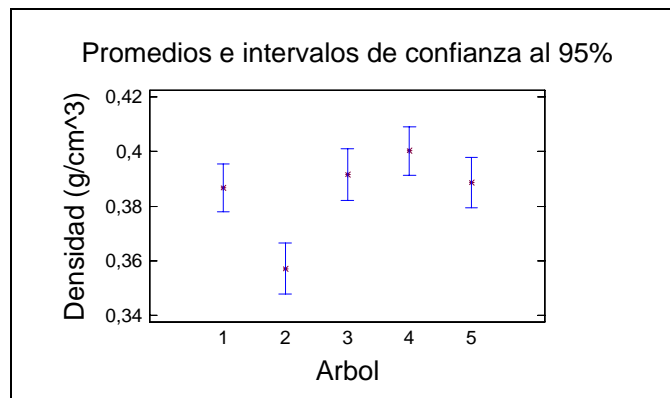


Figura 7. Promedios de densidad básica con intervalos de confianza al 95%, para diferentes árboles.

Los árboles 1, 3 y 5 no tuvieron una diferencia de densidad significativa.

## 5. CONCLUSIONES.

La densidad básica decrece a medida que aumenta la altura en el fuste, lo que concuerda con la bibliografía (Delmastro *et al.*, 1980; Peredo, Mora, 2000; Pereyra, Gelid, 2002).

La variación encontrada en los diferentes niveles de altura del fuste se debe principalmente a la presencia de madera juvenil y madura, ya que a medida que la altura aumenta, aumenta también la proporción de madera juvenil, caracterizada por su baja densidad a través de un cilindro interno ubicado en el centro del fuste, mientras que en la base se encuentran ambas maderas lo que conlleva a que los valores promedio de densidad básica sean mayores en esta posición.

La densidad básica en la madera juvenil disminuye con la altura, en un porcentaje de 14,47% de base a copa. De igual forma la densidad básica en la madera madura también disminuye, pero en un 16,62%.

El promedio de densidad básica en dirección radial, aumenta en sentido médula corteza, datos que coinciden con lo encontrado por la bibliografía (Peredo, Mora, 2000; Pereyra, Gelid, 2002)

En los anillos cercanos a la médula los valores de densidad básica son menores, debido a la presencia de madera juvenil, mientras tanto acercándose a la corteza existe una mayor participación de madera adulta en la composición del fuste, lo que origina el aumento de densidad.

En sentido de médula a corteza existe el par de anillos 3 y 4 con valores mínimos de densidad básica, mientras que en la zona más externa el par de anillos 27 y 28 presenta el máximo valor promedio de densidad, lo que en términos porcentuales es un incremento de 32,27%.

Según valores de densidad y mediante el análisis de cluster se determinó la delimitación entre la madera juvenil y madura, entre los anillos 9 y 12 a la altura del DAP.

Por otro lado si se consideran los valores promedios de densidad básica de madera juvenil y madura de todo el árbol, se produce un aumento de un 12,53%. Que en la zona basal representa un incremento de 14,22% y en la zona apical de 3,27%

Se encontraron diferencias significativas de densidad básica entre árboles de un mismo rodal, para un  $p$ -valor  $\leq 0,05$ , coincidiendo con los resultados encontrados por Delmastro en el año 1980 al trabajar con *Pinus radiata*.

La densidad básica de la madera juvenil a la altura del DAP varía entre árboles hasta en un 9,92%, y la madera madura varía hasta en un 16,84%.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- Barrichelo, L. 1980. *Pinus caribaea var. hondurensis – Principais interações entre as características da madeira e o rendimento e qualidade da celulose*. INTERNET: <http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr086.pdf> (20 de junio, 2006)
- Barrichelo, L.; P. Kageyama; R. Speltz; H. Bonish; J. Brito; M. Ferreira. 1977. *Estudos de procedências de Pinus taeda visando seu aproveitamento industrial*. INTERNET: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr15/cap01.pdf> (20 de junio, 2006)
- Barrios, A. 2004. *Determinación del diámetro del cilindro central defectuoso en trozas podadas de Pino radiata (Pinus radiata D. Don), mediante atenuación de radiación gamma*. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Santiago, Univ. de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 107 p.
- Bowyer, J.; R. Smith. 1998. *The nature of wood and wood products*. In: CD Room: Forest Products Management Development Institute. University of Minnesota. U.S.A.
- Burdon, R. 1978. *Mejoramiento genético forestal en Chile*. Documento de trabajo 11(1): 29-30
- Campos, E. 2006. *Variación de la densidad básica de la madera en siete familias de Larix decidua Miller*. Trabajo de Titulación Ing. For. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 30 p.
- Delmastro, R.; J. E. Diaz-vaz; J. Schlatter. 1980. *Características tecnológicas de la madera. Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del Pinus radiata (D. DON)*. Santiago (Chile). 154p. (Documento de trabajo, 34).
- Delmastro, R.; J. E. Diaz-vaz; J. Schlatter. 1982. *Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del Pinus radiata (D. DON)*. Santiago (Chile). 89p. (Documento de trabajo, 43).
- Diaz-vaz, J. E. 1981. *Delimitación de Madera Temprana – Tardía y Juvenil – Madura en Pino oregón*. Bosque 4(1): 55 -58
- Diaz-vaz, J. E. 2003. *Anatomía de maderas*. Fac. de Cs. Forestales, Univ. Austral de Chile, Valdivia - Chile. 151p.
- Espina, A. 2006. *Densidad básica de la madera de Eucalyptus globulus en dos sitios en Chile*. Trabajo de Titulación Ing. For. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 25 p.

- Foelkel, C. 1975. *Celulose kraft de Pinus ssp.* INTERNET: [http://www.celso-foelkel.com.br/artigos\\_abtcp.html](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos_abtcp.html) (30 de Junio, 2006)
- García, L.; A. Guindeo; P. de Palacios. 1996. *Distribución Geográfica. In: Maderas de Coníferas. Anatomía de géneros.* Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid (España). pp. 19-142
- Higa, A.; P. Kageyama; M. Ferreira. 1973. *Variação da densidade básica da madeira de P. Elliottii var. elliotii e P. taeda.* INTERNET: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr07/cap03.pdf> (15 de marzo, 2006)
- Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. 2003. *Especies invasoras.* INTERNET: [http://www.institutohorus.org.br/download/fichas/fichas\\_espanhol/Pi\\_taeda.htm](http://www.institutohorus.org.br/download/fichas/fichas_espanhol/Pi_taeda.htm) (15 de mayo, 2006)
- Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. 2005. *Especies invasoras.* INTERNET: [http://www.institutohorus.org.br/download/fichas/Pinus\\_taeda.htm](http://www.institutohorus.org.br/download/fichas/Pinus_taeda.htm) (15 de abril, 2006)
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1986. Nch 176/2. *Madera-parte 2: determinación de la densidad.* INN. Santiago (Chile). 11 p.
- INTA, Instituto de suelos. 2000. *Efecto del establecimiento de pinos sobre las propiedades del suelo.* INTERNET: <http://www.insuelos.org.ar/proyectos/resultadosproyectos2000.htm> (15 de abril, 2006)
- Klock, U.; G. Bolzon; S. Nisgoski; E. Bittencourt. 2002. *Características dos traqueóides da madeira juvenil de Pinus maximinoi H.E. Moore e de Pinus taeda.* L. INTERNET: <http://www.lscp.pqi.ep.usp.br/ciadicy2002/papers/TR074.pdf> (30 de abril, 2006)
- Kollmann, F. 1959. *Tecnología de la madera y sus aplicaciones.* Tomo primero. Instituto forestal de investigaciones y experiencias y servicio de la madera. Madrid. pp. 120-139
- Kollmann, F.; W. Côté. 1968. *Physics of wood.* Chapter 6. Principles of Wood Science and Technology. Solid Wood I. Germany, Springer – Verlag. pp. 160-179
- López, M. 1996. *Efecto del crecimiento en diámetro en la densidad de la madera en renovales de Raulí (Nothofagus alpina).* Tesis Ing. For. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 45 p.



- Lotti, T.; R. Mcculley. 1951. *El Pino de incienso*. INTERNET: [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/x5360s/x5360s04.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/x5360s/x5360s04.htm) (5 de mayo, 2006)
- Martínez, O. 1979. *Coníferas de importancia forestal*. Publicación docente N°2. Valdivia (Chile), Univ. Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. p.69.
- Molina, S. 1996. Aptitud pulpable de madera de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y *Eucalyptus nitens* a diferentes alturas, mediante la aplicación de un pulpaje kraft. Tesis Ing. For. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 57 p.
- Montero, G.; S. Roig; B. Martín; J. de Miguel; R. Alía. 2005. *Especies utilizadas en los ensayos de introducción*. Parte 1. In: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria; Ministerio de Educación y Ciencia. Red de Parcelas de Introducción de Especies del IFIE-INIA (1966-1983). Distribución Natural, Ecología, Silvicultura y Producción de 42 Especies de Coníferas. Madrid (España). pp. 215-217
- Morales, R. 2005. *Diseño experimental a través del análisis de varianza y modelo de regresión lineal*. Editorial Consultora Carolina. 248p.
- Peredo, M.; C. Mora, 2000. *Caracterización Tecnológica del Recurso Forestal de las Empresas Arauco*. In: I Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales. Concepción (Chile), Octubre 16-20 de 2000. pp. 78-89
- Pereyra, O.; M. Gelid, 2002. *Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de Pinus taeda para plantaciones de misiones y norte de corrientes*. INTERNET: <http://calvados.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/viewPDFInterstitial/2308/1928> (20 de mayo, 2006)
- Pecho, R.; R. Ananias; A. Ballerini; A. Cloutier. 2004. *Influencia de la madera juvenil de pino radiata sobre las propiedades mecánicas de tableros OSB*. INTERNET: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-221X2004000100009&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2004000100009&lng=es&nrm=iso) (30 de mayo, 2006)
- Prado, J.; S. Barros. 1989. *Eucalyptus: Principio de Silvicultura y Manejo*. Instituto Forestal. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago. Chile. 199 p.
- Rigatto, P.; R. Dedecek; J. Monteiro. 2004. *Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de Pinus taeda para produção de celulose Kraft*. INTERNET: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622004000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=pt) (30 de mayo, 2006)

- Rivas, C. 1982. *Determinación de madera juvenil en Pinus radiata D. Don*. Tesis Ing. For. Valdivia, Univ. Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 76 p.
- Saavedra, C. 2004. *Determinación de peso específico y de algunas propiedades biométricas en Eucalyptus globulus (Labill) como materia prima pulpable*. Memoria Ing. de la Madera. Santiago, Univ. de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 85 p.
- Wagner, A.; H. Lara. 2003. *Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de Pinus taeda L.* INTERNET: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622003000300014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622003000300014) (30 de mayo, 2006)
- Weber E. 2004. *Caracterización física y mecánica de Pinus taeda origen Marion en plantaciones de diferentes edades y determinación de usos potenciales, Misiones, Argentina*. Tesis Ms. en Cs. de la Madera, Celulosa y Papel, orientación: Tecnología de la madera. El Dorado (Argentina), Univ. Nacional de Misiones, Fac. de Cs Forestales. 116 p.
- Zobel, B.; K. Dorman. 1973. *El Pino tea como especie exótica*. INTERNET: [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/006/E4209S/E4209S03.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/E4209S/E4209S03.htm) (25 de mayo, 2006)

## **ANEXOS**

## **Anexo 1**

### **Abstract and Keywords**

## ABSTRACT AND KEYWORDS

In this study the variation of the basic density was analyzed in axial and radial direction in the stem of *Pinus taeda* L., this variable was also used for the juvenile and mature wooden delimitation in all the considered levels of height.

The trees used in this study come from a 30 year-old experimental plantation, was located on Fundo Las Palmas near Valdivia.

5 trees were chosen of which disks were extracted at 5 levels of height, breast-height, 25%, 50%, 75%, 100%, of each disk were obtained blocks each two rings from pith to bark. The basic density was determined following the norm NCh 176/2 standard.

The density was significantly different in the axial direction with a p-value  $\leq 0,05$ , averaging  $0,363 \text{ g/cm}^3$ , with a minimum of  $0,326 \text{ g/cm}^3$  and a maximum of  $0,416 \text{ g/cm}^3$ .

The density was also significantly different in the radial direction for all the heights with a p-value  $\leq 0,05$ , averaging  $0,395 \text{ g/cm}^3$  to the height of the breast-height, with a minimum of  $0,300 \text{ g/cm}^3$  and a maximum of  $0,530 \text{ g/cm}^3$ . Equally there were significant differences of basic density among trees for a p-value  $\leq 0,05$ .

According to values of density and by means of the Cluster Analysis the delimitation was determined among the juvenile and mature wood whose limits it is between the rings 9 and 12, considering to the breast-height.

The basic density in the juvenile wood decreasing from the base upward with mean values from  $0,325 \text{ g/cm}^3$  in the breast-height up to  $0,380 \text{ g/cm}^3$  in the upward, reaching a value average of  $0,342 \text{ g/cm}^3$ .

In the mature wood the basic density also decreasing with the height fluctuating between  $0,336$  and  $0,446 \text{ g/cm}^3$ , with a value average of  $0,391 \text{ g/cm}^3$ .

Keywords: Wood properties, variation axial, variation radial, juvenile wood, mature wood.

## **Anexo 2**

### **Selección de árboles**

## Características de los árboles del ensayo

N° árbol	N° censo	DAP(cm)	Alturas (m)				DAP	Estrato
			100%	75%	50%	25%		Social en altura
1	65	28,3	15,3	11,5	7,7	3,8	1,3	codominate
2	85	41	19,3	14,5	9,7	4,8	1,3	dominante
3	74	34,5	20,2	15,2	10,1	5,1	1,3	dominante
4	53	36,1	19,2	14,4	9,6	4,8	1,3	dominante
5	134	34	20,6	15,5	10,3	5,2	1,3	dominante

### SELECCIÓN Y UBICACIÓN DEL RODAL

Nombre del predio: Fundo Las Palmas		Fecha: 25-Ago-06
Coordenadas (UTM):	18H0660094	UTM5599266
Latitud Sur:	39° 44' 27,3"	
Longitud Oeste:	73° 07' 56,4"	
Especie:	<i>Pinus taeda</i>	
Superficie:	0,1 hectáreas	
Año plantación:	1974	Edad: 32 años
Exposición:	Nor-Oeste	
Espaciamento:	2x4 m	
Total de árboles:	157	
Altitud:	40 m s n m	
Altura media:	21,8 m	
DAP medio:	34,99 cm	
Desviación standard:	5,23	
Forma:	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Recto</li> <li>2 Curvado</li> <li>3 Torcido</li> </ul>	
Calidad:	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Sano</li> <li>2 Ramas muertas c/hongos</li> <li>3 Pudrición</li> </ul>	
Posición social:	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Dominante</li> <li>2 Codominante</li> <li>3 Intermedio</li> <li>4 Suprimido</li> </ul>	
Instrumento medición DAP:	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Huincha diamétrica (H. D)</li> <li>2 Forcípula (F)</li> </ul>	

## **Anexo 3**

### **Parámetros descriptivos**



## Parámetros descriptivos por árbol

Árbol 1	Nivel de altura				
	DAP	25%	50%	75%	100%
Mínimo	0,307	0,286	0,303	0,273	0,273
Media	0,430	0,369	0,363	0,356	0,320
Máximo	0,559	0,456	0,422	0,447	0,364
Desviación standard	0,069	0,053	0,045	0,052	0,030
Coefficiente variación	16,119	14,445	12,301	14,723	9,426

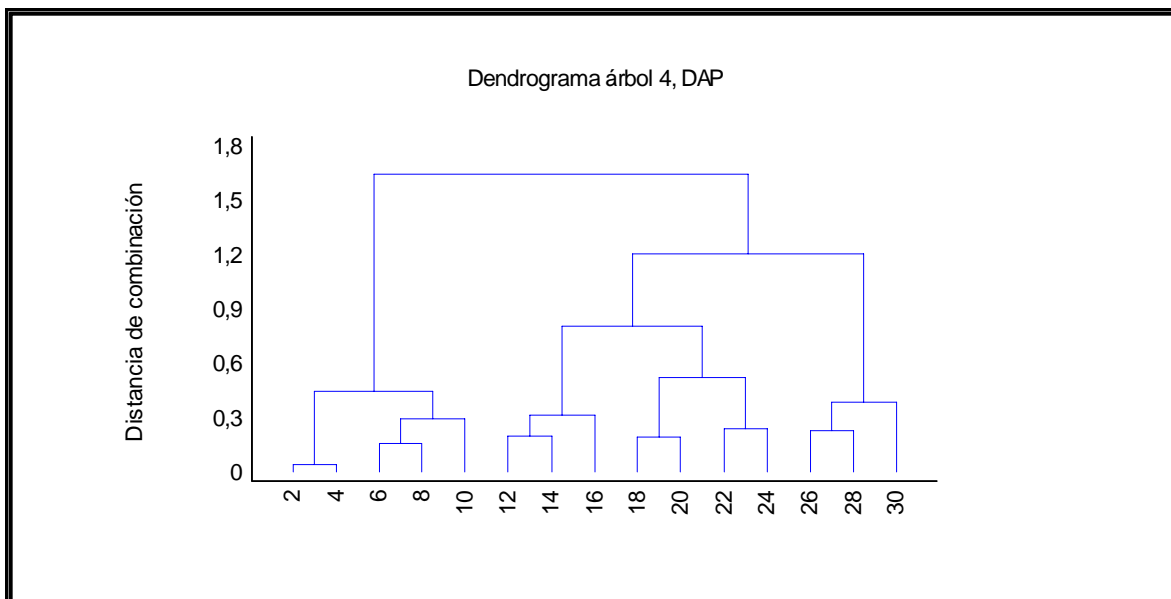
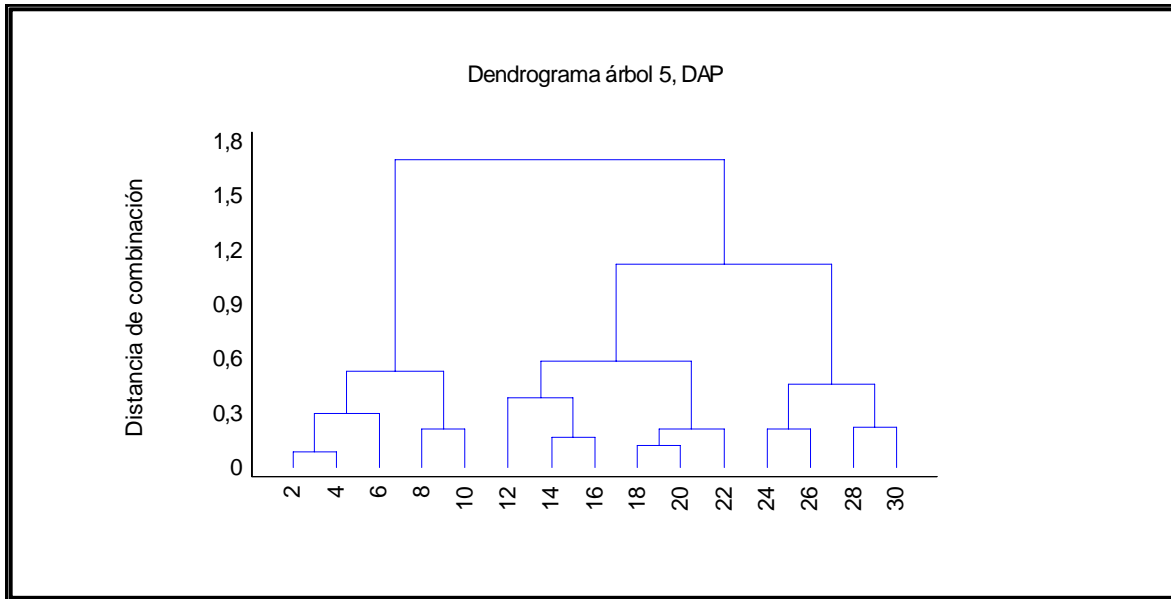
Árbol 2	Nivel de altura				
	DAP	25%	50%	75%	100%
Mínimo	0,305	0,281	0,284	0,319	0,287
Media	0,388	0,332	0,316	0,329	0,307
Máximo	0,491	0,380	0,361	0,343	0,322
Desviación standard	0,046	0,032	0,027	0,009	0,015
Coefficiente variación	11,842	9,757	8,532	2,663	4,740

Árbol 3	Nivel de altura				
	DAP	25%	50%	75%	100%
Mínimo	0,328	0,304	0,302	0,304	0,308
Media	0,409	0,406	0,358	0,332	0,334
Máximo	0,489	0,498	0,430	0,353	0,358
Desviación standard	0,046	0,063	0,043	0,015	0,021
Coefficiente variación	11,260	15,580	11,936	4,536	6,439

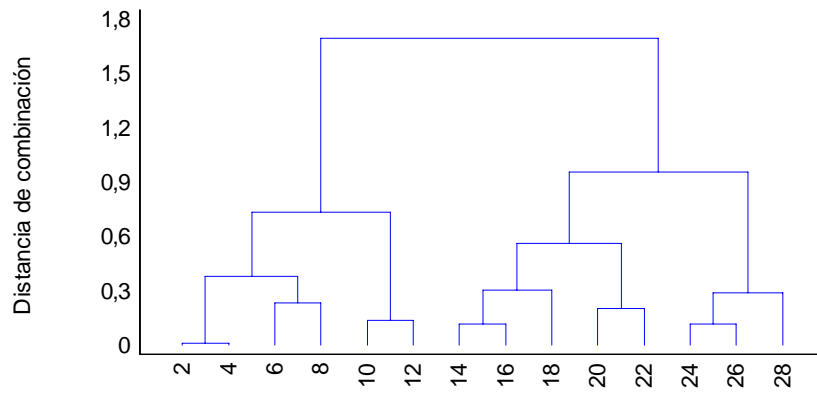
Árbol 4	Nivel de altura				
	DAP	25%	50%	75%	100%
Mínimo	0,377	0,345	0,346	0,309	0,329
Media	0,415	0,398	0,395	0,351	0,346
Máximo	0,485	0,463	0,446	0,385	0,367
Desviación standard	0,037	0,037	0,040	0,030	0,016
Coefficiente variación	8,908	9,241	10,181	8,511	4,595

Árbol 5	Nivel de altura				
	DAP	25%	50%	75%	100%
Mínimo	0,338	0,298	0,294	0,298	0,308
Media	0,440	0,392	0,349	0,327	0,322
Máximo	0,530	0,498	0,402	0,379	0,347
Desviación standard	0,059	0,065	0,039	0,026	0,018
Coefficiente variación	13,501	16,724	11,304	7,871	5,555

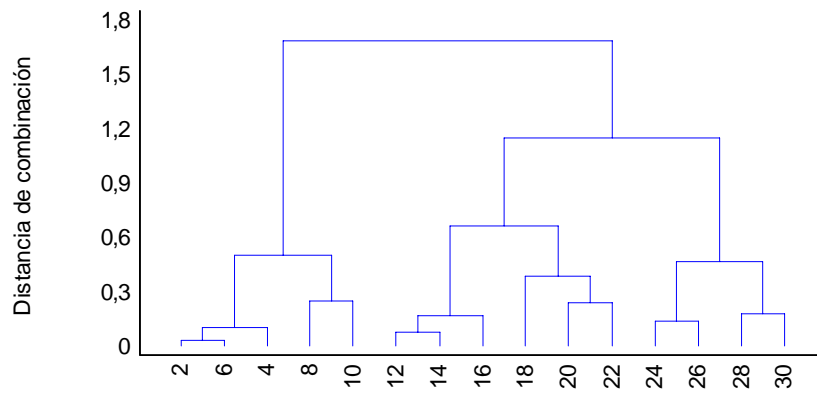
# Análisis Cluster por árbol, considerando cada par de anillos



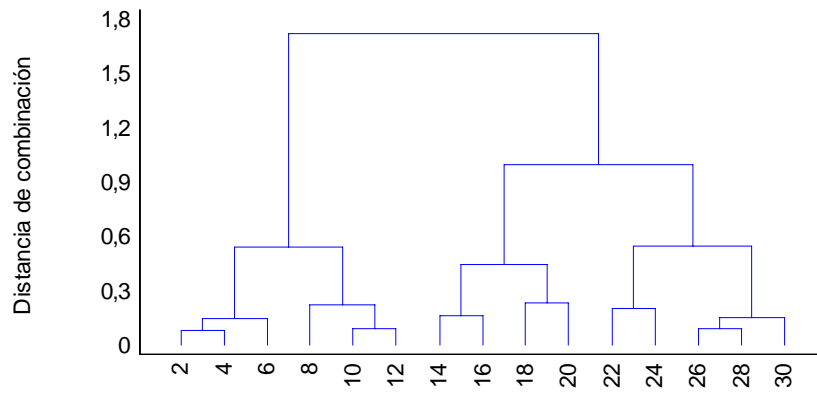
Dendrograma árbol 3, DAP



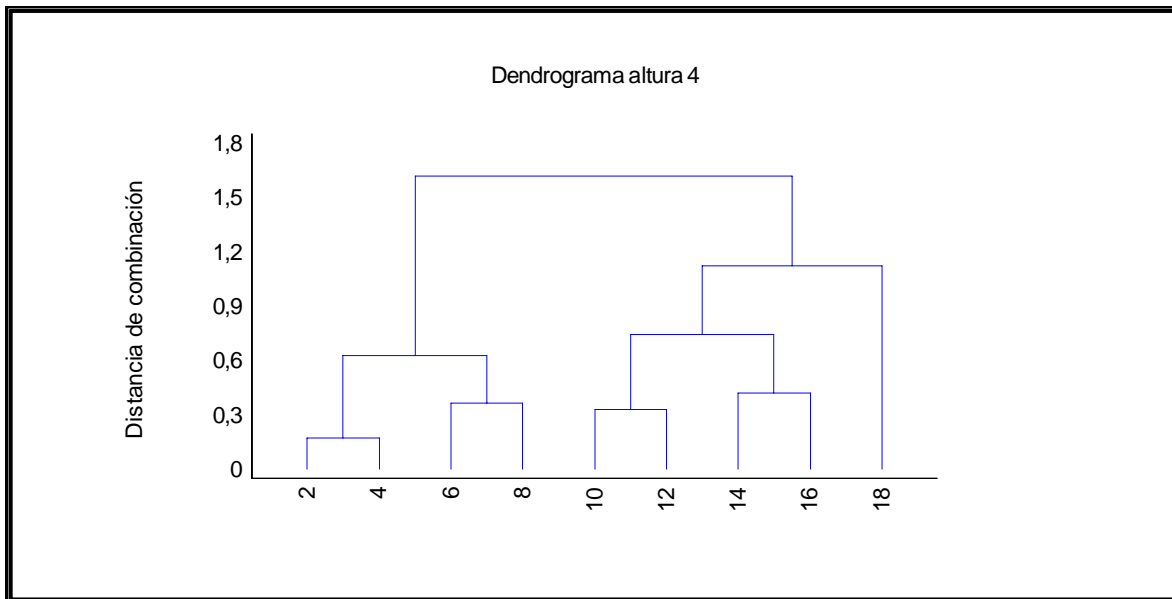
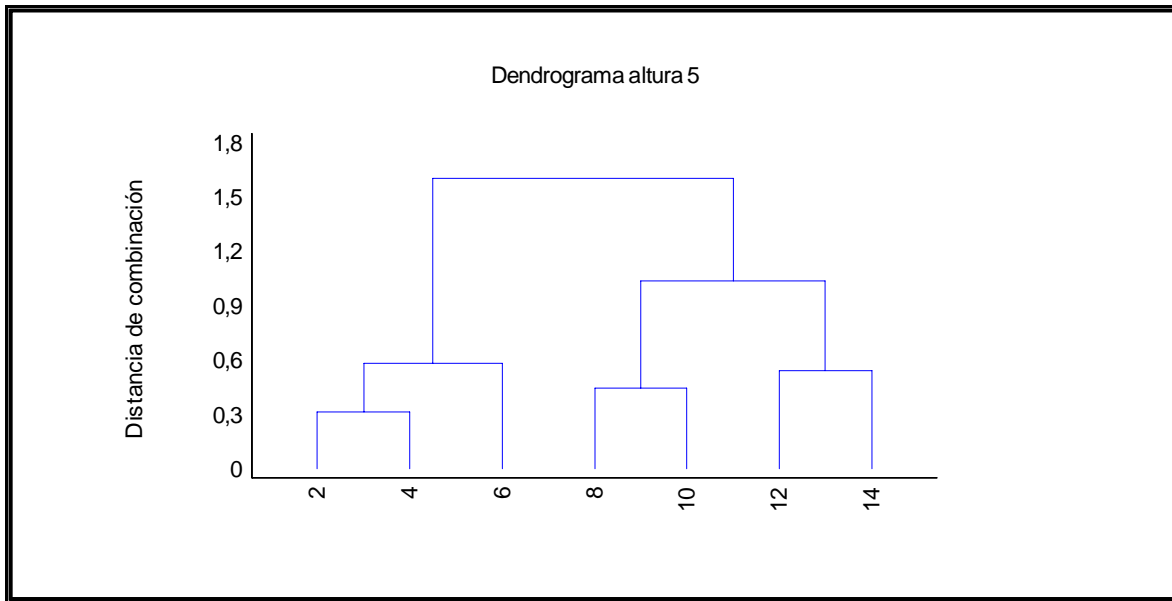
Dendrograma árbol 2, DAP



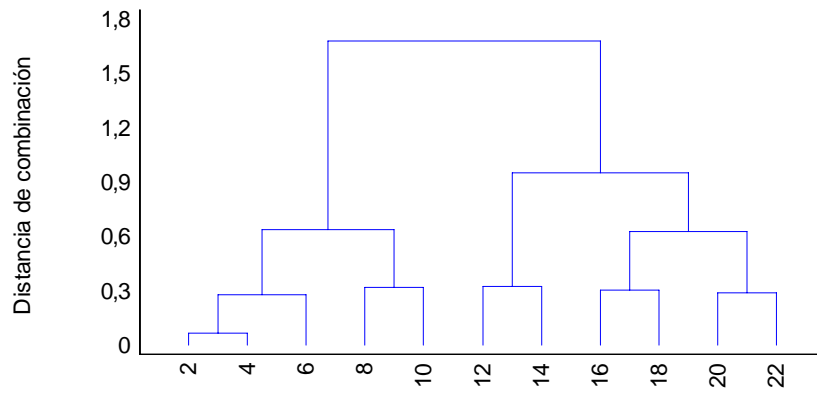
Dendrograma árbol 1, DAP



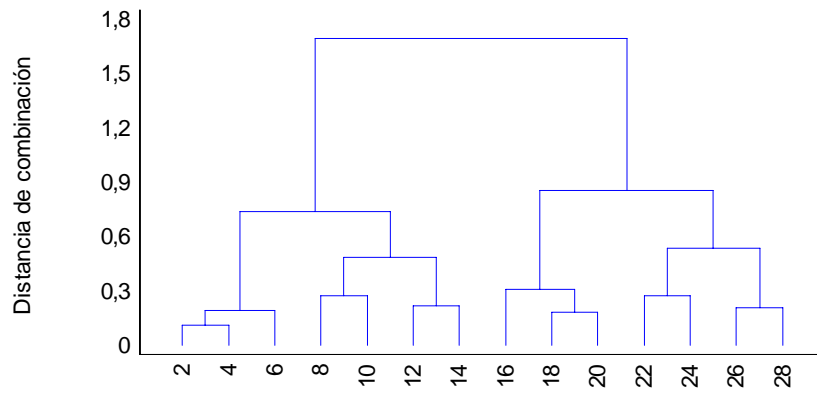
# Análisis Cluster por altura, considerando cada par de anillos



Dendrograma altura 3



Dendrograma altura 2



Dendrograma altura 1

