



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* en dos sitios en Chile**

Profesor Patrocinante: Sr. Fernando Droppelmann.

Trabajo de titulación presentado como parte de los requisitos para optar al **Título de Ingeniero Forestal**.

**ALEJANDRA IVONNE ESPINA LIZANA**

VALDIVIA  
2006

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la fortaleza interior durante este camino que ha sido largo, pero que ya llega a su fin. A mi Padre que con su fortaleza y sus sabios consejos supo darme tanto el apoyo financiero como el amor tan incondicional que jamás en la vida terminare de agradecer, a mis hermanos Pamela, Juan, Oscar y Daniel que a la distancia me daban su amor y fortaleza para poder alcanzar mis sueños.

A mis niños Raúl, Sonia y primos Adán, Claudio y Álvaro, gracias por dejarme ser parte de su familia durante todo este tiempo de universidad, ya que sin su cariño no hubiera podido seguir avanzando.

A Forestal PROBOSQUE por dejarme utilizar sus ensayos y darme el apoyo logístico, en especial a Isabel Oñate por su disposición para responder mis dudas.

A mi profesor guía Fernando Droppelmann, por su disposición y paciencia para revisar este trabajo, también a mis profesores informantes Oscar Thiers y Juan Eduardo Díaz-vaz.

A Erika Pérez, por su desinteresada ayuda en todo momento, gracias por dejarme conocer una persona con su calidad humana y por estar en momentos difíciles para mí durante este periodo.

A Eduardo Morales y Alicia Fernández por su gran apoyo técnico y sus oportunos consejos cada vez que lo necesite.

A mi Sensei Alejandro Parra, gracias por estar a pesar de todos mis errores y creer en mi capacidad.

A todas las secretarías de la facultad, en especial a Alejandra Portales por toda la ayuda cuando lo necesite.

A todos mis compañeros que de una u otra forma me ayudaron durante este caminar por la universidad, a todos los integrantes del grupo "ESTRELLA", a mis compañeros de énfasis, en especial a Dámaris y Eveling ya que fueron una gran ayuda durante este trabajo, además me dejaron entrar en sus vidas por lo que siempre las llevaré en mi corazón.

*A Dios y mi Padre.....*  
*..... Gracias por hacer realidad mis sueños.*

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Antecedentes generales de <i>Eucalyptus globulus</i>	2
2.2 Densidad básica	3
2.2.1 Factores que afectan a la densidad	3
2.2.2 Densidad básica de <i>Eucalyptus globulus</i>	4
2.3 Mejoramiento genético	6
2.3.1 Heredabilidad	6
2.3.2 Correlaciones genéticas	6
2.3.3 Interacción genotipo-ambiente	7
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	8
3.1 Descripción área de estudio	8
3.1.1 Ubicación geográfica de los ensayos	8
3.1.2 Clima	8
3.1.3 Suelo	8
3.1.4 Descripción de los ensayos	9
3.2 Método de muestreo	9
3.2.1 Selección del número de familias	9
3.2.2 Selección de árboles	10
3.2.3 Mediciones	11
3.3 Análisis de los datos	11
3.3.1 Análisis descriptivo	11
3.3.2 Análisis inferencial	11
3.3.3 Cálculo de parámetros genéticos	12
3.3.4 Correlaciones entre variables	12
3.3.5 Valoración económica familiar	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
4.1 Análisis descriptivo general	14
4.2 Análisis entre familias por ensayo	16
4.2.1 Análisis El Laurel	16
4.2.2 Análisis Los Guindos	17
4.3 Parámetros genéticos	18
4.4 Relación entre densidad básica y volumen	18
4.4.1 Correlaciones	18
4.4.2 Valoración económica familiar	20
5. CONCLUSIONES	22

6.	BIBLIOGRAFIA	23
	ANEXOS	26
1	<i>Abstract and keywords</i>	
2	Distribución de los ensayos	
3	Selección de las familias	
4	Distribución de los árboles en terreno	
5	Modelos estadísticos	
6	Parámetros descriptivos por ensayo	
7	Análisis de varianza	

## ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Densidad básica de <i>Eucalyptus globulus</i> a distintas edades (Peredo, 2000)	4
Cuadro 2	Efecto del espaciamiento y el raleo sobre la densidad básica para <i>Eucalyptus globulus</i> (Saavedra, 2004)	5
Cuadro 3	Densidad básica a diferentes alturas en <i>Eucalyptus globulus</i> (Barahona, 2005)	5
Cuadro 4	Información general de los ensayos	9
Cuadro 5	Familias y controles seleccionados por ensayo.	10
Cuadro 6	Parámetros descriptivos por ensayo, para el sector de El Laurel y Los Guindos	14
Cuadro 7	Análisis de Varianza para la Densidad básica, para ambos ensayos.	15
Cuadro 8	Coefficiente de correlación (r) entre las variables usando para su estimación los valores individuales para El Laurel (n = 220) y Los Guindos (n = 249)	19
Cuadro 9	Valoración económica en función del volumen y la densidad básica para El Laurel	20

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Ubicación de los ensayos	8
Figura 2	Valores medios para la densidad básica y volumen por sitio	15
Figura 3	Valores descriptivos para la variable densidad básica por familia para El Laurel (n = 10 muestras por familia) y grupos homogéneos.	16
Figura 4	Valores descriptivos para la variable densidad básica por familia para Los Guindos (n = 10 muestras por familia)	17
Figura 5	Asociación entre volumen y densidad básica, a nivel individual (a) (c) y a nivel de medias familiares (b) (d) por ensayo.	19

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo consistió en analizar la variabilidad y determinar el control genético de la densidad básica de la madera en 20 familias de *Eucalyptus globulus*, en dos diferentes sitios, además de analizar la relación existente entre volumen y densidad básica.

Para llevar a cabo este estudio se utilizó dos ensayos de progenie de polinización abierta establecidos en el año 1995, el primero ubicado en la precordillera de los Andes en la zona de Collipulli 38°03' y 72°13' (Fundo el Laurel) y el segundo ubicado cercano a Nueva Imperial 38°41' y 73°02' (Fundo Los Guindos). El diseño experimental usado en estos ensayos corresponde a un diseño de bloques completos al azar, con parcelas en hileras de 5 plantas.

Se analizaron 20 familias y dos controles siendo las mismas en ambos ensayos, de la cuales se seleccionaron 10 árboles por familias y controles. A cada árbol se les extrajo una rodela al DAP, con lo que se determinó la densidad básica según la norma NCh 176/2.

La densidad básica fue sometida a análisis estadístico para detectar diferencias significativas entre sitios y entre familias por sitio, además se determinó la heredabilidad, correlaciones genéticas y se elaboró un *ranking* genético. También se analizó el nivel de asociación entre el volumen y la densidad básica utilizando la correlación de Pearson.

La densidad básica promedio para El Laurel fue de 0,496 g/cm<sup>3</sup> y para Los Guindos de 0,526 g/cm<sup>3</sup>, encontrándose diferencias significativas entre sitios.

Para El Laurel se encontraron diferencias significativas entre medias familiares, la máxima densidad fue de 0,521 g/cm<sup>3</sup> y la menor fue de 0,462 g/cm<sup>3</sup>. Los Guindos no presenta diferencias significativas entre medias familiares, pero la máxima densidad fue de 0,549 g/cm<sup>3</sup> y la menor de 0,504 g/cm<sup>3</sup>.

La heredabilidad ( $h^2$ ) de la densidad básica para El Laurel fue de 0,371, valor bajo para lo observado en la literatura, pero en Los Guindos sucede algo en particular ya que la heredabilidad fue de 0,039 valor extremadamente bajo, lo cual puede ser atribuido a un problema de identificación de las familias.

Respecto de las correlaciones entre el volumen y la densidad básica a nivel familiar, no fueron significativas, por lo que no existe asociación entre estas variables.

Palabras clave: propiedades de la madera, parámetros genéticos, variación, heredabilidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector forestal chileno basa su producción en las plantaciones comerciales, sólo para el género *Eucalyptus* hay 387.975 ha plantadas, de las cuales cerca de los dos tercios corresponden a *Eucalyptus globulus* (INFOR, 2003). De acuerdo con cifras del INFOR (2002), la disponibilidad de madera pulpable de *E. globulus* en Chile para el año 2010 se estima en 4,4 millones de metros cúbicos.

La madera de *E. globulus* tiene cualidades técnicas que la hacen muy requerida en la industria de la celulosa y como madera propiamente tal. Se caracteriza por su fibra corta, cualidad que la hace atractiva en el rubro de la celulosa, para la fabricación de papeles finos. Esta madera es utilizada también en la producción de muebles para hogares y oficinas, y su hermosa chapa se destina al forrado o enchapado de tableros.

En Chile el objetivo principal de esta especie es producir madera pulpable, razón por la cual la densidad básica de la madera es muy importante, ya que esta tiene un efecto significativo sobre el rendimiento y calidad del producto final y se considera como la propiedad de la madera más importante para casi todos los productos maderables derivados de las especies forestales (Valencia y Vargas, 1997). Además la productividad total en biomasa de un rodal no puede determinarse a menos que se conozca la densidad promedio de la madera (Zobel y Talbert, 1984).

La densidad de la madera es una propiedad que muestra una amplia variación entre y dentro de especies, así como un fuerte control genético, por lo cual es posible manejarla genéticamente (Zobel, 1992).

El presente trabajo tiene por objetivo general analizar la variabilidad y determinar el control genético de la densidad básica de la madera en 20 familias de *E. globulus*, en dos diferentes sitios.

Para el cumplimiento del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos.

- Determinar la variación de la densidad básica entre sitios y entre las familias en cada sitio.
- Determinar parámetros genéticos para la densidad básica (heredabilidad y correlaciones genéticas).
- Analizar la relación existente entre densidad básica y volumen.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes generales de *Eucalyptus globulus*

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, 1989); en Chile crece entre los 29° y los 41°5' Sur <sup>(1)</sup>. Se encuentra en localidades costeras hasta los 400 m s.n.m. en terrenos de buena calidad (Díaz-vaz *et al.*, 2002)

Los árboles adultos de *Eucalyptus globulus* presentan alturas que pueden variar entre los 45 y 60 m (o más) y diámetro que fluctúa entre 90 y 150 cm creciendo en Chile (Vita, 1990).

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* presentan, en general, un incremento volumétrico de 20 a 30 m<sup>3</sup>/ha/año, pudiendo llegar a los 45 m<sup>3</sup>/ha/año en buenos sitios con adecuados sistemas de establecimiento y manejo (FAO, 1973; Vita, 1990).

En cuanto a su resistencia al frío, esta especie se ve fuertemente afectada por heladas en los dos primeros años de crecimiento, que dañan principalmente los brotes y hojas de las plantas. Diferentes autores señalan como límite de su resistencia al frío las temperaturas mínimas de hasta -6 y -7°C (Prado y Barros, 1989; Cozzo 1955).

Dentro de los factores del suelo que son limitantes para el crecimiento de las plantas de *E. globulus* se encuentran la poca profundidad del suelo, el mal drenaje, la salinidad y la presencia de un alto contenido de carbonatos asimilables (Prado y Barros, 1989).

Esta especie tiene una madera de cuyo duramen es de color café pálido con tinte amarillento a rosáceo y albura de características similares. Los anillos de crecimiento son poco notorios y no delimitados, el veteado es suave a liso y de textura mediana y heterogénea (Díaz-vaz *et al.*, 2002)

La madera *E. globulus* posee una contracción volumétrica del 18% y es afectada por colapso, su dureza es de aproximadamente unos 500 kg lo que hace que tenga una alta resistencia mecánica. En el secado natural esta especie necesita cerca de 2 años para alcanzar un contenido de humedad entre 25% y 35% (piezas de 1 pulgada de espesor). El secado artificial es difícil, por lo cual es recomendable una temperatura no superior a 65° (Díaz-vaz *et al.*, 2002).

---

<sup>1</sup> Droppelmann F. 2006. Cooperativa de mejoramiento genético. Comunicación personal.

Los principales defectos que se presentan son el colapso con mayor intensidad en el duramen y grietas en caras y extremos de las piezas de madera, por lo que seca es dimensionalmente muy estable. Tiene una durabilidad natural entre 5 y 15 años en usos exteriores, como elemento interior sin contacto con suelo orgánico esta duración es mayor, frente al ataque específico de hongos se clasifica como moderadamente resistente (Díaz-vaz *et al.*, 2002).

## 2.2 Densidad básica

La densidad básica de la madera es el cociente entre el peso anhidro 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 (Prado y Barros, 1989).

Además la densidad es el descriptor primario de mayor importancia en numerosas propiedades tecnológicas, independientemente si el objetivo es producción de madera sólida o pulpa (Lopez *et al.*, 2003). Esta propiedad es la que más información aporta sobre el comportamiento de cualquier madera, ya que el resto de las características físico-mecánicas están íntimamente correlacionadas con ella (Delmastro *et al.*, 1980).

La densidad depende del tamaño de los vasos y de la cantidad de los mismos, del espesor de la pared, del diámetro de las fibras y de la composición química de la madera, de tal forma que dos maderas con densidades similares pueden ser muy distintas en cuanto a las características anteriores (Villena, 2003).

La diferencia entre árboles es amplia, aún cuando se consideran árboles de igual edad, clase de copa, crecimiento en condiciones comparables y estas diferencias dependen de la especie. Entre las especies la densidad varía de 0,2 a 1,3 g/cm<sup>3</sup> como valores extremos (Delmastro *et al.*, 1980).

### 2.2.1 Factores que afectan a la densidad

Existen algunos factores que inciden en la densidad de la madera, tales como cantidad de madera temprana y tardía, tamaño de las fibras, espesor de pared celular, 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, 1989).

Además puede estar influenciada por los siguientes factores según Jayawickrama (1992):

- *Factores genéticos*: Procedencias / Fuentes de semilla, árboles individuales.
- *Factores de sitio*: área geográfica, sitios dentro de una misma región, clima, disponibilidad de humedad en el suelo, temperatura.
- *Factores silviculturales*: Establecimiento de plantaciones, Régimen de elementos nutritivos y fertilización, espaciamiento, raleo, podas.

### 2.2.2 Densidad básica de *Eucalyptus globulus*

Prado y Barros (1989) mencionan que normalmente las especies introducidas en Chile, tienen tasas de rápido crecimiento y con densidades bajas, aunque *E. globulus* es la excepción, ya que a pesar de tener una alta tasa de crecimiento, presenta densidades consideradas elevadas (0,510-0,520 g/cm<sup>3</sup>).





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 0,730 y 0,800 g/cm<sup>3</sup> (Prado y Barros, 1989).

Estudios realizados por Consuegra (1994) concluyen que la densidad básica para *Eucalyptus globulus* en Chile fluctúa entre 0,550 y 0,710 g/cm<sup>3</sup> y varios autores señalan que la densidad de *E. globulus* creciendo en Chile, tiende a disminuir de norte a sur, siendo menor en la zona Oceánica de Los Lagos (Melo *et al.*, 1981; Prado y Barros, 1989).

Peredo (2000), al comparar la densidad de la madera de *E. globulus* creciendo en Arauco y Valdivia, observó que la madera crecida en Arauco presentaba una densidad entre un 6 y 7% mayor que la crecida en Valdivia (Cuadro 1), además observó que existe una notoria tendencia de la densidad básica a aumentar con la edad concordando plenamente con trabajos realizados sobre esta especie por otros investigadores (Mansilla *et al.*, 1991; Consuegra, 1994; De Castro, 2002; Miranda *et al.*, 2003).

Esto puede deberse a que el avance en el tiempo hace que los anillos de crecimiento, a medida que se avanza de medula a corteza, comiencen a estrecharse disminuyendo la cantidad de madera de temprana, permaneciendo constante la cantidad de madera tardía (Morales, 1968; Consuegra, 1994).

**Cuadro 1.** Densidad básica de *Eucalyptus globulus* a distintas edades (Peredo, 2000)

Edad (años)	Bosques Arauco		Forestal Valdivia	
5-7	0,466	-	-	-
8-10	0,492		0,464	
11-13	0,522		0,488	
14-16	0,544	 +	0,508	 +

Otro factor que en términos generales afecta la densidad de la madera son los esquemas de manejo. Se puede decir que una baja densidad de plantación, alta intensidad de raleo o alta fertilización, son sinónimos de alta tasa de crecimiento, es decir, madera con densidad más baja (González y Molina, 1989). Según Zobel y Talbert (1992) esto se aplica para algunas coníferas, pero para el caso de las latifoliadas esta relación es confusa, por lo cual es difícil hacer afirmaciones al respecto.

Los efectos del espaciamiento y el raleo, sobre las variables de un rodal son muy semejantes, ya que en ambos casos se afecta la disponibilidad de espacio de crecimiento a nivel individual (Prado y Barros, 1989), al respecto Saavedra (2004) realizó un estudio en la zona de Constitución a individuos de 14 años en donde determinó una tendencia significativa, donde a mayores espaciamientos y con presencia de raleos, se favorece la densidad de la madera (cuadro 2).


**Cuadro 2.** Efecto del espaciamiento y el raleo sobre la densidad básica para *Eucalyptus globulus* (Saavedra, 2004)

	<u>Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)</u>
2x2	0,531
4x4	0.634
s/raleo	0,587
c/raleo	0.638

Varios autores concuerdan en que existe un aumento de la densidad básica a medida que aumenta la altura en el fuste (Barahona, 2005; Consuegra, 1994; Delmastro *et al.*, 1980; Zobel y Talbert, 1992), 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. Esto se puede ver reflejado en el cuadro 3, el cual es un estudio realizado por Barahona (2005) en la zona de Concepción a individuos de 13 años.

**Cuadro 3.** Densidad básica a diferentes alturas en *Eucalyptus globulus* (Barahona, 2005)

<u>Altura (m)</u>	<u>Zona Interna</u>	<u>Zona externa</u>
0,9	0,473	0,519
8,9	0,509	0,528
16,3	0,524	0,524
21,3	0,548	0,607



Además en el cuadro 3 se puede apreciar que la densidad básica de *E. globulus* aumenta de medula a corteza, lo cual concuerda con varios autores (Delmastro *et al.*, 1980; Downes *et al.*, 1997; Saavedra, 2004; Zobel y Talbert, 1992). Según Daniel *et al.*, (1982) lo atribuye a la existencia de madera inmadura o juvenil presente en la parte central del árbol, donde la madera temprana está en mayor proporción a lo largo del árbol, y las características de esa madera se relacionan con la edad.

## 2.3 Mejoramiento genético

El mejoramiento genético forestal es la conjugación de la genética, como herramienta de identificación y aislación de rasgos de interés (altura, forma, densidad de la madera, etc.) y los tratamientos silviculturales, siendo estos últimos los que potencian la expresión de dichos rasgos. Lo anterior se traduce en la obtención de la máxima rentabilidad del suelo-bosque.

Según Balocchi y De Veer (1994) el principal objetivo de los ensayos genéticos es estimar en forma adecuada el potencial genético del material evaluado, para aquellos sitios donde se pretende ser utilizado operacionalmente. Por lo que la información obtenida de los ensayos genéticos es la base fundamental de los programas de mejoramiento genético. Esta información permite estimar parámetros genéticos (heredabilidad y correlaciones genéticas) los cuales son la base para la planificación estratégica de los programas y para la toma de decisiones en los programas operativos.

La densidad de la madera, según Zobel y Talbert (1992), está cerca de ser la característica ideal para manipularse genéticamente, debido a la gran variación existente de un árbol a otro, a la gran heredabilidad y a su mínima interacción genotipo-ambiente.

### 2.3.1 Heredabilidad

Uno de los factores de mayor responsabilidad sobre la densidad de la madera es sin duda la heredabilidad, la que expresa la proporción de la variación en la población que es atribuible a diferencias genéticas entre los individuos; vale decir, es una proporción que indica el grado al cual los progenitores transmiten sus características a su descendencia (Zobel y Talbert, 1992). Además esta varía entre poblaciones, entre características de interés y con la edad del árbol (Ignacio *et al.*, 2005)

Los valores de heredabilidad son representativos solo para el medio ambiente donde fueron obtenidos, pero a pesar de ello sirven de pauta para el inicio de programas en otros lugares (Balocchi y Delmastro, 1992).

Zobel y Talbert (1992) señalan que la heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ) tanto para el caso de las latifoliadas como en el de las coníferas, la densidad de la madera está dentro de un rango de 0,5 a 0,7.

Al respecto Downes *et al.*, (1997) en un estudio realizado en Australia, señala que la densidad básica para *E. globulus* puede variar entre 0,78 y 0,22 a una edad de 8 años.

### 2.3.2 Correlaciones genéticas

Según White y Hodge, (1989), señalan que existe dos tipos de correlación, las de tipo A que son aquellas que indican el grado que un mismo material genético cambia

en distintos sitios, los cuales son útiles para determinar el grado de interacción entre distintos sitios con una característica en particular como por ejemplo el volumen. Las de tipo B son aquellas correlaciones genéticas que indican el grado con que una característica cambia como resultado de un cambio en otra característica, además son útiles para determinar el grado de éxito que alcanzará la selección indirecta o la selección de una característica con el fin de mejorar otra característica (Zobel, 1992).

Estos parámetros puede tener valores que van desde -1 y 1, si existe una correlación genética alta se tienen valores cercanos a 1, lo cual indicaría que no existe un cambio de una alguna característica de interés, sin embargo este parámetro presenta valores bajo cero quiere decir que no existe correlación, es decir existe un cambio de dicha característica.

Ignacio *et al.*, (2005) estudió la correlación genética entre características de crecimiento y densidad de la madera para *Eucalyptus urophylla* a los 3 años de edad, en donde la densidad presentó correlaciones genéticas muy bajas respecto a las características de crecimiento a esa edad, lo que indicaba que las características del crecimiento y de la calidad de la madera deberían ser tratadas en forma independientes al momento de llevar a cabo una selección.

### 2.3.3 Interacción genotipo-ambiente

La estimación de la magnitud de la interacción genotipo con el ambiente (GxA), en el cual crecen las progenies es un parámetro genético que posee un interés especial en el mejoramiento genético forestal. Definida de manera simple, la interacción GxA significa que el rendimiento relativo de las familias, clones o procedencias difiere cuando éstas crecen en ambiente distintos (Zobel, 1984).

Esto puede expresarse simbólicamente en el siguiente modelo:

Generalmente, los efectos genéticos (G) y del sitio (A) son mucho más relevantes que la interacción GxA. Con frecuencia en los programas de mejoramiento genético, un grupo de genotipos se prueban en un solo ambiente y su rendimiento se extrapola a otros ambientes, cuando en realidad su rendimiento relativo podría ser distinto si se les cultivara bajo otras condiciones (Zobel y Talbert, 1984).

Dentro de las propiedades de la madera la densidad no muestra mucha interacción genotipo-ambiente ni a nivel familiar ni a nivel individual. Aunque con frecuencia, los valores promedios cambian drásticamente con el ambiente, pero los genotipos individuales con una densidad alta o baja mantienen su posición relativa sin importar el promedio (Zobel y Talbert, 1992).

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Descripción área de estudio

##### 3.1.1 Ubicación geográfica de los ensayos

El estudio se realizó en dos ensayos de progenie de polinización abierta, pertenecientes a Forestal Probosque Ltda., ubicados en la Novena Región. El primer ensayo se ubica en la zona de Collipulli, fundo El Laurel 38°03' y 73°02', y el segundo ensayo se ubica en la zona de Nueva Imperial, fundo Los Guindos 38°41' y 72°13' (Figura 1).

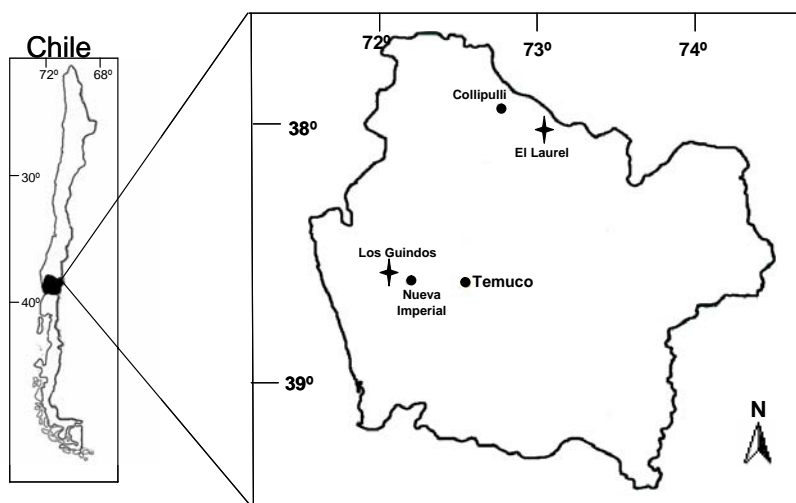


Figura 1. Ubicación de los ensayos

##### 3.1.2 Clima

En El Laurel las precipitaciones varían desde 1.200 a 1.500 mm anuales, con períodos secos de 4 a 5 meses en el año y con períodos de heladas con un mínimo de 10 días y un máximo de 20 días al año. En Los Guindos las precipitaciones varían desde 900 a 1.500 mm anuales, con períodos secos de 4 a 5 meses en el año y con períodos de heladas de 5 días como mínimo y un máximo de 20 días al año (Schlatter *et al.*, 1994).

##### 3.1.3 Suelo

El Laurel pertenece a la serie de suelo Santa Bárbara que ocupa una extensión a lo largo de la Cordillera de Los Andes y con altura desde 100 y 400 m s.n.m. y en posiciones de lomajes altos y cerros con pendientes complejas. Estos suelos se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas modernas y presentan perfiles profundos, de textura media en la superficie y pardo amarillento en los horizontes B en el tono 10YR (INIA, 1985).

Los Guindos está sobre la serie de suelo Metrenco ubicada dentro de la Depresión Intermedia, en posición de lomajes con pendientes complejas de 4% a 15% y a una altura entre 100 y 300 m s.n.m.. Son suelos desarrollados a partir de ceniza volcánicas antiguas que descansan sobre un substratum presumiblemente de origen marino, son suelos de texturas finas a muy finas, muy profundos y de drenaje bueno a moderado, presenta colores pardo oscuro a pardo rojizo en los tonos 7.5YR y 5YR en los primeros horizontes y pardo rojizo en el tono 5YR en profundidad (INIA, 1985).

### 3.1.4 Descripción de los ensayos

Se trata de dos ensayos de polinización abierta de *E. globulus* establecidos en el año 1995.

El diseño experimental usado en estos ensayos corresponde a un diseño de bloques completos al azar, con parcelas de 5 plantas por hilera (Cuadro 4)

**Cuadro 4.** Información general de los ensayos

	<u>El Laurel</u>	<u>Los Guindos</u>
Numero de familias	38	50
Numero de bloques	7	10
Controles	4	4
Espaciamiento	2,5 x 3,0	2,5 x 3,0
Total de árboles (ensayo)	1.470	2.700

La distribución tanto de los bloques como de las familias se encuentra en el anexo 2.

## 3.2 Método de muestreo

### 3.2.1 Selección del número de familias

Se seleccionaron 20 familias utilizando el *ranking* VGA (valor genético aditivo) para el volumen. Los criterios de selección son los que se presentan a continuación.

- Las 20 familias debían estar en ambos ensayos
- Teniendo los resultados de ambos *ranking* en volumen, éstos se enfrentaron y se seleccionaron las primeras 10 familias de cada ensayo.
- Para la selección de las 10 familias restantes, se volvió a realizar un nuevo *ranking* pero con datos de ambos ensayos, y las familias que estaban por sobre el *ranking* 20 fueron seleccionadas.

Además se seleccionaron dos controles para ambos ensayos. Para Los Guindos se seleccionaron tres familias adicionales por encontrarse en una buena posición dentro del *ranking* VGA de volumen (anexo 3). En el cuadro 5 se presentan las familias y controles seleccionados por ensayo.



**Cuadro 5.** Familias y controles seleccionados por ensayo.

	<b>El Laurel</b>		<b>Los Guindos</b>	
	MG 3	MG 4	MG 3	MG 4
	PB 12	PB 14	PB 12	PB 14
	PB 15	PB 22	PB 15	PB 22
	PB 309	PB 419	PB 309	PB 419
	PB 496	TG 19	PB 496	TG 19
<b>Familias</b>	TG 24	TG 27	TG 24	TG 27
	TG 4	VT 1	TG 4	VT 1
	VT 17	VT 20	VT 17	VT 20
	VT 21	VT 23	VT 21	VT 23
	VT 25	VT 8	VT 25	VT 8
			VT 13	PB 18
			PB 308	
<b>Controles</b>	C 307	C 308	C 307	C 308

La identificación de las familias corresponde en primer lugar a letras las cuales identifican el nombre de la empresa y el número a un correlativo del árbol. Los controles provienen de un área productora de semilla proveniente de los sectores Roble Huacho (C 308) y Quilachaquin (C 307).

### 3.2.2 Selección de árboles

Se seleccionaron 10 árboles por familias y por control utilizando el siguiente criterio:

- Cuatro árboles cercanos al DAP promedio
- Dos árboles +0,5 y dos -0,5 desviaciones estándar del promedio
- Un árbol con +1 y otro con -1 desviaciones estándar del promedio

La distribución de los árboles en terreno se encuentra en el anexo 4, apreciándose una buena distribución de la muestra en ambos ensayos.

De cada árbol seleccionado se obtuvo una rodela al DAP de 2 cm de espesor aproximadamente; si existía algún defecto a esa altura la rodela se obtuvo a 1,1 m. El material se identificó según familia y ubicación dentro del ensayo, ejemplo MG4 – 4 – 5, esto quiere decir que es la familia MG4 ubicada en el bloque 4 y árbol 5.

Luego de obtenidas las rodelas se procedió a descortezarlas manualmente en terreno y trasladarlas a Valdivia en mallas. Una vez en Valdivia las rodelas se almacenaron en tambores de plástico con agua para así disminuir el riesgo de ataque por hongos y asegurarse de tener el volumen de las rodelas por sobre el punto de saturación de fibras.

### 3.2.3 Mediciones

Con las rodelas completas se precedió a determinar la densidad básica a partir de la formula 1:

$$Db = \frac{Mo}{Vh} \quad \text{donde,} \quad \begin{array}{l} Db = \text{Densidad básica (g/cm}^3\text{)} \\ Mo = \text{Peso anhidro (g)} \\ Vh = \text{Volumen saturado (cm}^3\text{)} \end{array} \quad (1)$$

El procesamiento de las rodelas se realizó en el laboratorio de Física del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile.

En primer lugar se determinó el volumen saturado de las rodelas completas, a través del método de desplazamiento de agua según la norma NCh 176/2 (INN, 1986)

Para asegurarse que las rodelas estaban por sobre el punto de saturación de fibras, se calculó el contenido de humedad a partir de la formula 2, asegurándose que las rodelas estuvieran por sobre el 80% del contenido humedad.

$$CH = \frac{Ph - Pa}{Pa} * 100 \quad \text{donde,} \quad \begin{array}{l} CH = \text{Contenido de humedad} \\ Ph = \text{Peso húmedo} \\ Pa = \text{Peso anhidro} \end{array} \quad (2)$$

Posteriormente las rodelas 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.

## 3.3 Análisis de los datos

### 3.3.1 Análisis descriptivo

Se realizó el cálculo de parámetros estadísticos descriptivos dentro de los cuales se consideraron la media, máximo, mínimo, desviación estándar y coeficiente de variación.

Estos estadígrafos se calcularon para las variables altura total, DAP, volumen y densidad básica por familia y por ensayo.

### 3.3.2 Análisis inferencial

Se realizó un análisis de varianza paramétrico para dos modelos, a través del software estadístico STATGRAPHICS 5.0. Para esto se comprobaron los dos supuestos básicos del ANOVA para la variable densidad básica.

Para la normalidad se aplicó el test de Shapiro-Wilk y para la homogeneidad se aplicó el test de Bartlett (Morales, 2005).

En ambas condiciones se cumplieron los supuestos para la variable densidad básica. Los datos analizados que presentaron diferencias significativas entre tratamientos fueron comparados mediante el *test* de rango múltiple de Duncan (Morales, 2005). Todos los análisis estadísticos consideran un nivel de significancia al 95%.

Para el análisis entre sitios se utilizó un diseño factorial de 2 factores y para el análisis dentro de los ensayos se utilizó un diseño completo al azar (ver anexo 5).

### 3.3.3 Cálculo de parámetros genéticos

Se obtuvieron los parámetros genéticos heredabilidad ( $h^2$ ) y correlaciones genéticas (indicadoras de la relación genotipo-ambiente) entre ensayos para el volumen y la densidad básica mediante el *software* BIOCAT, este *software* realiza dos tipos de estimaciones, en primer lugar realiza una estimación de componentes de varianza y covarianza conocido como REML (Restricted Maximun Likelihood). En segundo lugar realiza una predicción de valores genéticos para lo cual usa el método BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), el cual consiste en establecer un modelo estadístico que tiene variables fijas (ensayo, bloque) y variables aleatorias (valores genéticos a predecir) y bajo ese modelo, con varianzas y covarianzas conocidas de esas variables aleatorias, obtener predicciones de los valores genéticos (De Veer *et al.*, 2001).

Esas predicciones tienen varias propiedades estadísticas deseables, pero las principales son <sup>(2)</sup>

- De entre los predictores de tipo lineal, son las mejores, lo cual significa que tiene la menor varianza de los errores de predicción.
- Si las variables que se predicen tienen distribución normal, BLUP no sólo es mejor dentro de los predictores de tipo lineal sino dentro de cualquier clase de predictor.
- Son predicciones insesgadas, esto significa que el valor esperado del predictor es el de la variable que predice.
- A medida que el número de datos aumenta, el error de predicción tiende a cero.

### 3.3.4 Correlaciones entre variables

El nivel de asociación entre variables se determinó utilizando la correlación de Pearson.

---

<sup>2</sup> De Veer C. 2005. Bioforest. Comunicación personal

### 3.3.5 Valoración económica familiar

La selección final del material a utilizar depende del valor de cada familia en cuanto a su productividad, mejor todavía si ello puede ser expresado en términos de un valor económico luego de haber ponderado los resultados de cada variable. En este caso resulta ideal expresar el valor de la familia en términos económicos por cuanto el volumen y densidad básica permiten con facilidad dicho cálculo.

Por lo anterior descrito, se realizó un análisis económico para El Laurel, donde se calculó el valor de venta de madera en pie por familia.

Para estos cálculos según datos obtenidos <sup>(3)</sup>, la venta de madera de *Eucalyptus* es en astillas, por lo que el volumen de astillas se expresa en Bdmt (bone dried metric ton) que es una unidad de medida. Este factor se calcula a partir de la formula 3:

$$F = \frac{D}{10.000} * V \quad \text{donde: } \begin{array}{l} F = \text{Factor de conversión (Bdmt/MR)} \\ D = \text{Densidad básica (kg/m}^3\text{)} \\ V = \text{Volumen (MR)} \end{array} \quad (3)$$

En el cálculo del volumen se asumió como factor teórico que 1 MR de madera es equivalente a 1,6 (MR/m<sup>3</sup>).

El valor de venta se obtuvo a partir de la formula 4, considerando un precio de 102,6 US\$/Bdmt <sup>(3)</sup>

$$VV = F * D \quad \text{donde: } \begin{array}{l} VV = \text{Valor de venta (US$/Bdmt)} \\ F = \text{Factor de conversión (Bdmt/MR)} \\ D = \text{Precio de Venta (US$/Bdmt)} \end{array} \quad (4)$$

El cálculo del valor de venta por familia se obtuvo al multiplicar el valor de venta por el volumen (MR) de cada familia.

---

<sup>3</sup> Oñate, I. 2006. Forestal PROBOSQUE. Comunicación personal.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis descriptivo general

En el cuadro 6 se presentan los estadígrafos descriptivos para ambos ensayos, al observar las variables de crecimiento se puede apreciar que El Laurel posee mayores valores de coeficiente de variación a excepción de la altura, la cual es igual en ambos ensayos, en cuanto a la densidad se aprecia que existe una diferencia entre sitios del 0,2% en el coeficiente de variación, valor casi despreciable, por lo que se podría decir que en ambos sitios existe un mismo comportamiento de esta variable.

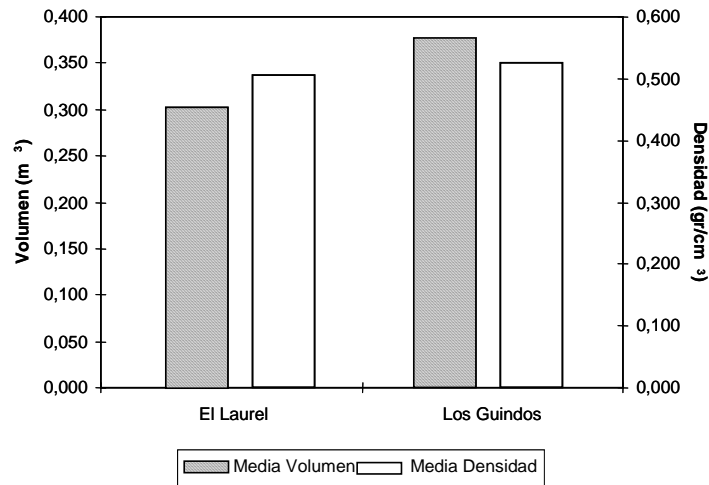
La densidad básica promedio para Los Guindos es un 6% mayor que la obtenida en El Laurel, al ser comparados estos valores con los determinados por Peredo (2000) para el rango de edad de 8 a 10 años para la zona de Arauco (0,492 g/cm<sup>3</sup>) son similares, siendo Los Guindos mayor a este valor.

**Cuadro 6.** Parámetros descriptivos por ensayo, para el sector de El Laurel y Los Guindos.

	El Laurel				Los Guindos			
	ALTUR (m)	DAP (cm)	VOL (m <sup>3</sup> )	DENS (g/cm <sup>3</sup> )	ALTUR (m)	DAP (cm)	VOL (m <sup>3</sup> )	DENS (g/cm <sup>3</sup> )
<b>N</b>	220	220	220	220	220	220	220	220
<b>Media</b>	26	18	0,303	0,496	26	19	0,373	0,526
<b>Mínimo</b>	17	11	0,061	0,406	19	14	0,116	0,407
<b>Máximo</b>	30	24	0,574	0,587	31	27	0,614	0,618
<b>Desv. Est</b>	1,965	2,392	0,091	0,033	1,982	2,242	0,094	0,036
<b>CV %</b>	7,6	13	30,1	6,7	7,6	11,5	25,2	6,9

Además al observar las medias de las variables de crecimiento y densidad para Los Guindos se aprecia que existe una tendencia al aumento de estas variables y una disminución en El Laurel, esto podría indicar que en este sitio a mayor crecimiento de los árboles mayor la densidad (Cuadro 6). Lo anterior podría ser causado por condiciones de sitio tales como la diferencia en el tipo de suelo, precipitación y la ubicación en el relieve, ya que para ambos ensayos se evaluaron las mismas familias y controles.

Zobel (1992) indica que es difícil hacer afirmaciones definitivas en torno a la relación que existe entre la densidad y la tasa de crecimiento, ya que según diversos estudios para el caso de las latifoliadas no se encontró ninguna relación entre las variables antes mencionadas, esto también sería aplicable para las especies del género *Eucalyptus*. Lo cual estaría siendo corroborado con los datos obtenidos ya que al observar la figura 2 se aprecia que en El Laurel existe una relación negativa ya que a menor volumen menor densidad, en cambio en Los Guindos la relación es positiva.



**Figura 2.** Valores medios para la densidad básica y volumen para cada sitio, El Laurel (n = 220) y Los Guindos (n = 220).

En el cuadro 7 se presenta un análisis de varianzas, en la cual se determinó la existencia de diferencias altamente significativas entre los promedios de la densidad básica entre sitios y entre familias al 99% de confiabilidad, pero al analizar la interacción sitio por familia las diferencias no fueron significativas.

**Cuadro 7.** Análisis de Varianza para la Densidad básica, para ambos ensayos.

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma Cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Sitio	1	0,0978	0,0978	87,64	0,000 **
Familia	21	0,0490	0,0023	2,09	0,004 **
Sitio x Familia	21	0,0360	0,0017	1,53	0,063 ns
Error	395	0,4410	0,0011		
Total corregido	438	0,6232			

ns: no significativo al 95% de confianza (p-Valor >0.05)

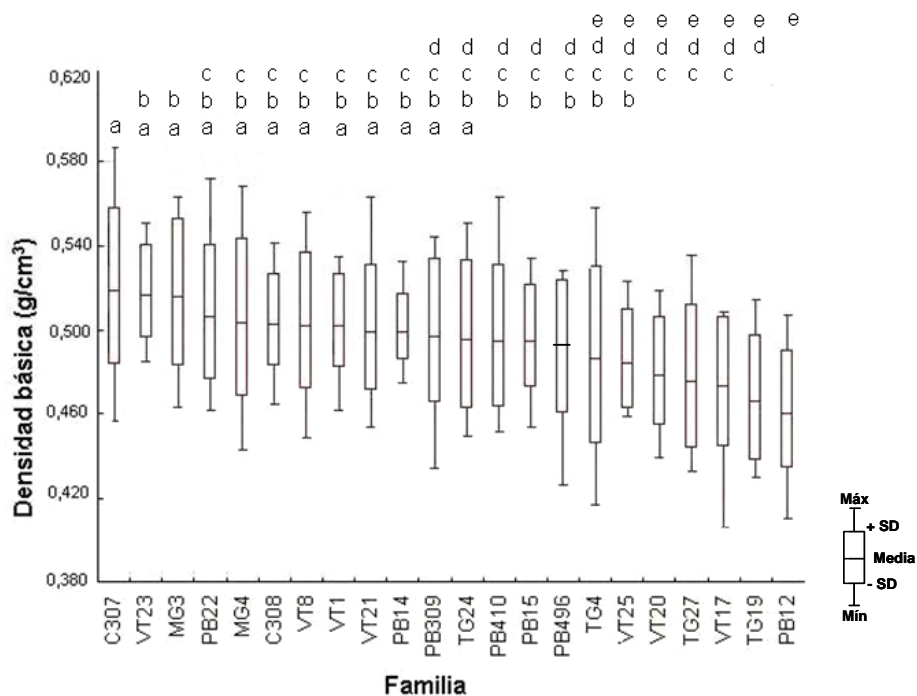
\*\* : Altamente significativo al 99% de confianza (p-Valor <0.01)

Las diferencias existentes entre sitios, como se discutió anteriormente, se deben a los factores de sitio y las diferencias entre familias se deben a las diferentes procedencias en el material genético, lo cual concuerda con Jayawickrama (1992) ya que dentro de las fuentes de variación de la densidad se encuentran los factores de sitio y genéticos. Que no aparezca variación entre sitio por familia no significa estrictamente que ello no exista, por cuanto se señala mas adelante que en Los Guindos la heredabilidad es prácticamente cero.

## 4.2 Análisis entre familias por ensayo

### 4.2.1 Análisis El Laurel

La figura 3 presenta los valores promedios, mínimos, máximos y desviaciones estándar para la densidad básica a nivel familiar, ordenadas de mayor a menor valor medio. Se puede observar que la densidad básica varía entre 0,406 y 0,587 g/cm<sup>3</sup>.



**Figura 3.** Valores descriptivos para la variable densidad básica por familia para El Laurel (n = 10 muestras por familia) y las letras sobre las cajas identifican los grupos homogéneos.

Los coeficientes de variación por familia son inferiores a 9 %, siendo la familia PB 14 la que obtuvo la menor variación siendo esta de 3,2 % y la familia TG 4 la que obtuvo la mayor variación siendo esta de 8,7 % (ver anexo 6).

El análisis de varianza arrojó que existen diferencias altamente significativas entre los promedios de la densidad básica para las familias al 99 % de confiabilidad (Anexo 7), Delmastro *et al.*, (1980) señala que la variabilidad se debe a dos factores principalmente, heredabilidad y las condiciones ambientales en que crecen los árboles, es así como individuos de diferentes orígenes genéticos, responden en diferentes manera a una misma influencia media ambiental. Por otra parte, si se considera que las diferencias de densidad entre árboles es significativa, un promedio no puede caracterizar a un sitio o a una localidad (Delmastro *et al.*, 1980), es por esto que al analizar las diferencias entre la media del sitio (0,496 g/cm<sup>3</sup>) y las medias familiares, existen nueve familias que poseen una disminución en densidad de hasta un 6,8% y trece familias que presentan una aumento de hasta un 5%.

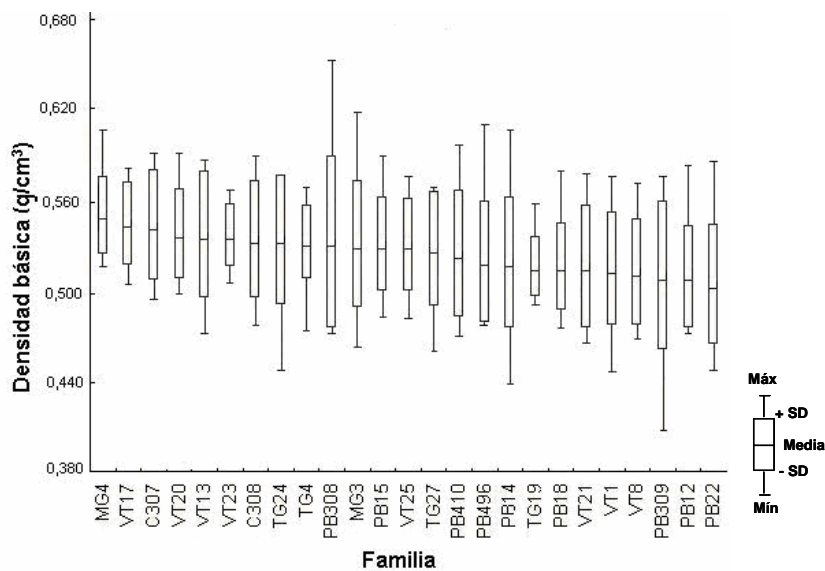
En la figura 3 se observa que existen 5 grupos homogéneos existiendo diferencias significativas entre ellos, la familia más densa (C 307) presenta un 12,7% más que la familia menos densa (PB 12).

#### 4.2.2 Análisis Los Guindos

Las comparaciones familiares en este ensayo pueden ser cuestionadas y no pueden tener mayor relevancia, por cuanto se sospecha que existe un error de identificación, es por esto que no se realizará un análisis más exhaustivo.

En la figura 4 se presentan los valores promedios, mínimos, máximos y desviaciones estándar para la densidad básica a nivel familiar, ordenados de mayor a menor valor medio, en el cual se observa que la densidad básica oscila entre 0,407 y 0,652 g/cm<sup>3</sup>, siendo mayor que en El Laurel. La familia TG 19 es la que posee la más baja desviación estándar de 0,0201 g/cm<sup>3</sup> y la familia PB 308 es la que posee la mayor desviación estándar de 0,0566 g/cm<sup>3</sup>.

Los coeficientes de variación por familia son inferiores a 11 %, siendo la familia VT 23 la que obtuvo la menor variación siendo esta de 3,8 % y la familia PB 308 la que obtuvo la mayor variación siendo esta de 10,6 % (ver anexo 6).



**Figura 4.** Valores descriptivos para la variable densidad básica por familia para Los Guindos (n = 10 muestras por familia)

Para este sitio el análisis de varianzas indica que no hay diferencias significativas de los valores medios para la densidad (Anexo 7), el hecho que el análisis multivariado no existen diferencias es concordante con el valor de heredabilidad tan bajo para este ensayo, por lo que no se puede discriminar entre familias mejores o peores, pero la familia que presenta la mayor densidad básica es la MG 4 y la familia que presenta la mas baja densidad básica es la familia PB 22..



### 4.3 Parámetros genéticos

Los valores obtenidos de heredabilidad para El Laurel es de 0,371 y Los Guindos de 0,039 para la densidad básica en ambos sitios. Se observa que existen marcadas diferencias entre sitios ya que por definición, la heredabilidad es la razón entre la variabilidad genética y la variabilidad total, y esta a su vez, esta compuesta por la variabilidad genética mas la media ambiental, por lo tanto, con el mismo material genético se pueden obtener valores de heredabilidad distintos causados por diferencias del medioambiente (Delmastro et al., 1980).

Además se observa que estos valores son bajos para esta característica ya que según Zobel y Talbert (1992) ésta característica se encuentra dentro de un rango de heredabilidad de 0,5 a 0,7 como referencia. Al respecto Downes *et al.*, (1997), señalan que la heredabilidad varía entre 0,78 y 0,22, por lo que El Laurel tendría un valor aceptable, en cambio Los Guindos posee un valor extremadamente bajo lo cual hace suponer que existe algún factor esta influyendo en esta característica.

Considerando los valores referenciales indicados anteriormente con certeza se puede indicar que la heredabilidad estimada para Los Guindos es extremadamente baja. Esto significa que los valores de heredabilidad bajo pueden deberse a una escasa variación genética entre familias o una alta variabilidad medio ambiental, en este caso particular y considerando los resultados de otros ensayos de la misma zona geográfica con material genético similar, la variación genética debe existir por lo tanto la explicación estaría por el lado medio ambiental.

Al analizar la homogeneidad de crecimiento <sup>(4)</sup> dentro de los bloques y entre bloques en el ensayo se aprecia que no hay diferencias de sitio por lo tanto la única posibilidad es que exista un error de identificación de las familias.

Por lo anterior expuesto se decidió no calcular las correlaciones de tipo B para estos ensayos.

### 4.4 Relación entre volumen y densidad básica

#### 4.4.1 Correlaciones

Se correlacionaron distintas variables como la altura, DAP, volumen y la variable más importante en este estudio que es la densidad básica. En el cuadro 8 se presentan los valores de coeficiente de correlación (r) por ensayo a nivel individual.

---

<sup>4</sup> Droppelmann, F. 2006. Cooperativa de mejoramiento genético. Comunicación personal

**Cuadro 8.** Coeficiente de correlación (r) entre las variables usando para su estimación los valores individuales para El Laurel (n = 220) y Los Guindos (n = 249)

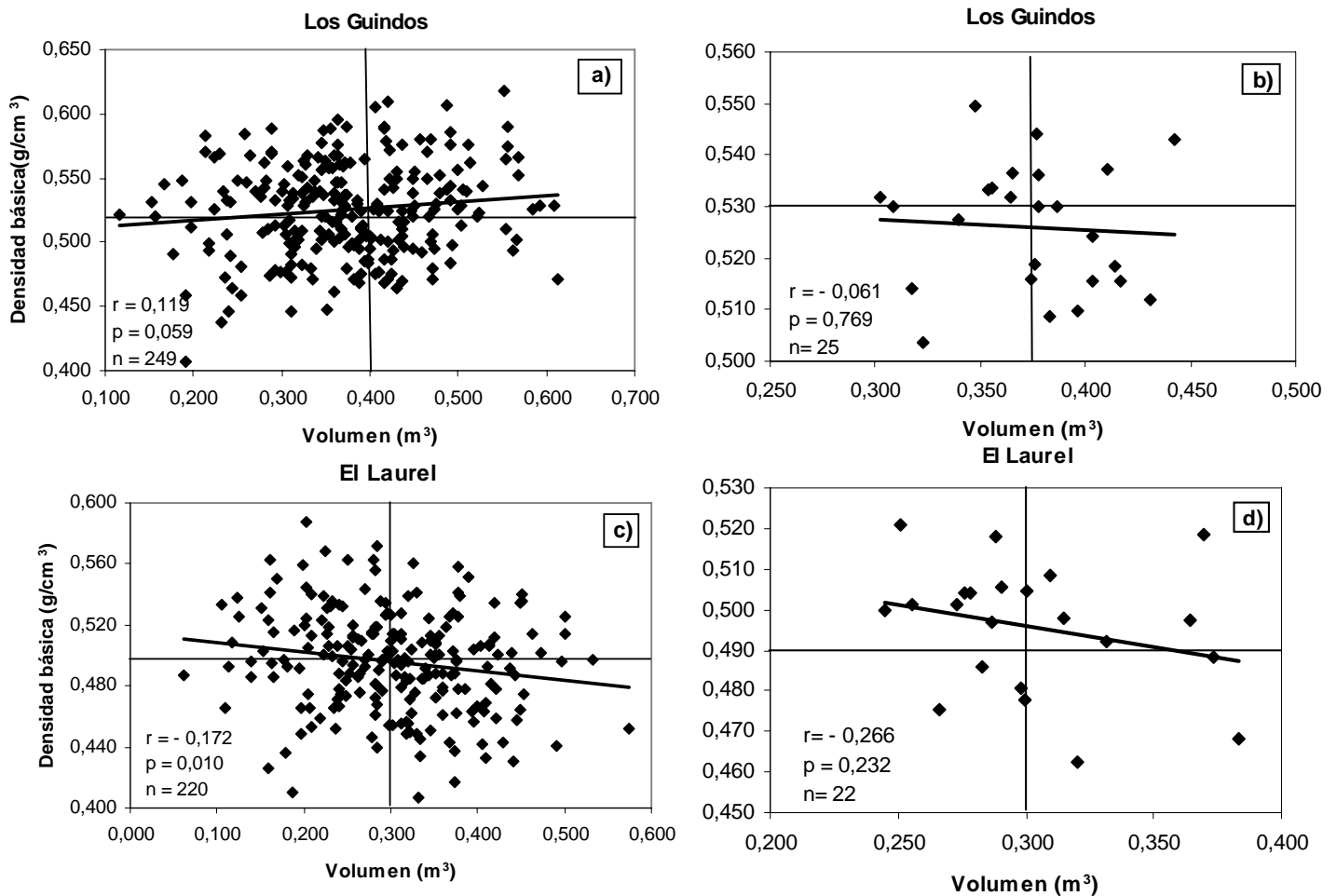
	El Laurel	Los Guindos
ALTURA/ DENS	0,002ns	0,192**
DAP/ DENS	-0,208**	0,075ns
VOL/ DENS	-0,172**	0,119ns

ns: no significativo al 95% de confianza P-valor > 0,05

\*\* : Altamente significativo al 99% de confianza P-valor < 0,05

Se observa que la densidad presenta una baja correlación entre las variables de crecimiento, para El Laurel existe una negativa relación entre el DAP y para la altura no existe una correlación, en cambio Los Guindos presenta una relación positiva para la altura y el DAP no presenta correlación. Para el caso de la relación densidad y volumen presentan una baja correlación, al respecto los antecedentes indican que las correlaciones entre volumen y densidad de la madera son débiles (Delamastro *et al.*, 1982; Greenhill, 1984; Ignacio *et al.*, 2005).

En la figura 5 se observa las dispersiones por ensayo para la densidad básica y el volumen, a nivel de valores individuales y medias familiares.



**Figura 5.** Asociación entre volumen y densidad básica, a nivel de árbol individual (a) (c) y a nivel de medias familiares (b) (d) por ensayo.

Se observa que en El Laurel a nivel individual existe una tendencia negativa, en cambio en Los Guindos esta tendencia es positiva, estas tendencias no son muy fuertes ya que al observar el coeficiente correlación los valores son muy bajos, este es un resultado interesante desde el punto de vista de la selección, ya que podemos encontrar árboles con mayor volumen y mayor densidad y viceversa. Además se desprende que a nivel de medias familiares existe una tendencia negativa para ambos ensayo, pero los valores de los coeficientes de correlación no son significativos, esto quiere decir que no hay asociación entre estas variables, pero existen familias que tienen un mayor volumen asociado a una mayor densidad y viceversa.

Las diferencias que existen entre los valores individuales y medias familiares, puede deberse a el numero de muestras consideras para la evaluación.

#### 4.4.2 Valoración económica

En el cuadro 9 se presenta un análisis para El Laurel, de la relación existente entre el efecto conjunto del volumen y la densidad en el precio final de madera en pie por familia. Los datos entre paréntesis corresponden al *ranking* fenotípico de las medias familiares para estas variables.

**Cuadro 9.** Valoración económica en función del volumen y la densidad básica para El Laurel.

Familia	VOL (MR)*	DENS (g/cm <sup>3</sup> )	Factor ** (Bdmt/Mr)	US\$/MR	US\$/Familia	Rank US\$/Familia
TG19***	0,239 (1)	0,468 (21)	0,749 (21)	76,76 (21)	18,38	4
TG4***	0,233 (2)	0,488 (16)	0,781 (16)	80,06 (16)	18,69	2
VT23***	0,231 (3)	0,519 (2)	0,830 (2)	85,07 (2)	19,64	1
PB410***	0,228 (4)	0,497 (13)	0,796 (13)	81,55 (13)	18,57	3
PB496***	0,207 (5)	0,492 (15)	0,788 (15)	80,72 (15)	16,71	5
PB12	0,200 (6)	0,462 (22)	0,740 (22)	75,85 (22)	15,19	10
TG24	0,197 (7)	0,498 (12)	0,797 (12)	81,66 (12)	16,08	7
PB22	0,194 (8)	0,508 (4)	0,813 (4)	83,37 (4)	16,13	6
C308	0,188 (9)	0,505 (6)	0,808 (6)	82,79 (6)	15,55	8
TG27	0,187 (10)	0,478 (19)	0,765 (19)	78,38 (19)	14,70	13
VT20	0,187 (11)	0,481 (18)	0,769 (18)	78,81 (18)	14,70	12
MG4	0,182 (12)	0,505 (5)	0,809 (5)	82,90 (5)	15,07	11
MG3	0,180 (13)	0,518 (3)	0,829 (3)	84,93 (3)	15,28	9
PB15	0,179 (14)	0,497 (14)	0,795 (14)	81,50 (14)	14,61	14
VT25	0,177 (15)	0,486 (17)	0,778 (17)	79,73 (17)	14,09	17
VT8	0,174 (16)	0,504 (7)	0,807 (7)	82,71 (7)	14,38	15
VT1	0,173 (17)	0,504 (8)	0,807 (8)	82,71 (8)	14,27	16
PB14	0,170 (18)	0,501 (10)	0,802 (10)	82,22 (10)	14,01	18
VT17	0,166 (19)	0,475 (20)	0,760 (20)	77,95 (20)	12,96	21
VT21	0,160 (20)	0,501 (9)	0,802 (9)	82,23 (9)	13,12	20
C307	0,157 (21)	0,521 (1)	0,833 (1)	85,39 (1)	13,40	19
PB309	0,153 (22)	0,500 (11)	0,799 (11)	81,93 (11)	12,54	22

\* Se obtuvo el volumen en MR utilizando los valores del cuadro 1 anexo 6 y un factor teórico de 1,6 MR/m<sup>3</sup>

\*\* Bdmt = bone dried metric ton, unidad de medida de venta

\*\*\* Familias dentro de los cinco primeros lugares en el ranking US\$/familia

Al observar los *rankings* densidad, Bdmt/MR y el precio de venta (US\$/MR), se aprecia que no existe una modificación de las familias, esto debido a que la densidad influye directamente en los otros dos valores, por cuanto existe una relación directamente proporcional entre estos valores.

Al evaluar la cantidad de Bdmt/MR, existe una disminución de 11,17% entre la familia que posee el mas alto (C 307) y el mas bajo valor (PB 12), esto se ve reflejado en un aumento en el precio de venta de 9,54 US\$/MR si se utiliza la familia que tiene mayor densidad para este sitio. Esto indicaría que mientras más densa es la madera, más Bdmt se obtienen por unidad de volumen (MR) con un mayor precio de venta (US\$/MR).

No obstante lo anterior al incorporar al análisis entre el volumen y la densidad por familia, se observa que las primeras cinco familias en el *ranking* de volumen se ubican en los cinco primeros lugares en el valor final de venta, pero estas familias no se encuentran en los primeros lugares en densidad, a excepción de la familia VT 23 la cual se ubica en el *ranking* de densidad entre las cinco primeras.

Para este ejemplo existe una disminución del 36,15% de valor entre la mejor familia (VT 23) y la peor familias (PB 309), ubicada dentro del *ranking* del valor final de venta por familia.

Es interesante observar que la familia TG 19 se encuentra en el *ranking* de volumen en primer lugar y en penúltimo lugar en densidad, lo que finalmente se traduce que obtenga un precio de venta final que lo ubica en cuarto lugar, en contraste el control C 307 que a pesar de encontrarse en primer lugar en el *ranking* de densidad se ubica en penúltimo lugar en volumen y por tanto se ubica en penúltimo lugar en el precio final de venta por familia.

Lo anterior indica que para este caso la estructura de valoración de Forestal Probosque, el volumen y la densidad son las dos variables que determinan el valor final que se puede obtener por unidad de superficie, que en este caso esta reflejado en el valor final por familia, siendo además evidente que lo más incidente sigue siendo el volumen. Esto es coincidente con lo que se ha visto operacionalmente, ya que en la medida que los trozos son de mayor diámetro (por consecuencia mayor volumen), mayor Bdmt se obtiene, mientras que los trozos en general son más bien delgados, generan un el rendimiento también menor <sup>(5)</sup>.

---

<sup>5</sup> Oñate, I. 2006. Forestal PROBOSQUE. Comunicación personal.

## 5. CONCLUSIONES

- La densidad básica promedio para El Laurel fue de  $0,496 \text{ g/cm}^3$  y para Los Guindos de  $0,526 \text{ g/cm}^3$ , encontrándose diferencias significativas entre sitios, la cual puede deberse a condiciones de sitios que están influenciando en este comportamiento.
- No existe una tendencia clara respecto a la relación entre el volumen y la densidad para la especie en estudio, ya que en El Laurel se encontró una disminución en el crecimiento y una disminución en densidad, en cambio en Los Guindos se encontró un aumento en el crecimiento y un aumento en densidad, lo cual ratifica que estas tendencias tienen relación con las condiciones de sitio existentes en cada lugar.
- En El Laurel se encontraron diferencias significativas entre medias familiares, siendo el mejor el control C 307 con una densidad de  $0,521 \text{ g/cm}^3$  y la peor familia la PB 12 con una densidad de  $0,462 \text{ g/cm}^3$ . Los Guindos no presenta diferencias significativas entre medias familiares, pero la familia que presenta la mayor densidad es la MG 4 con  $0,549 \text{ g/cm}^3$  y la peor fue la PB 22 con  $0,504 \text{ g/cm}^3$ .
- La heredabilidad para ambos sitios fue baja, lo que indica que existe un bajo control genético en la densidad básica en estos sitios.
- Los Guindos presentó una situación particular, ya que la heredabilidad fue de 0,039, es por esto que surge la hipótesis de que en este sitio se produjo una mala identificación de las familias.
- No existe correlación entre el volumen y densidad a nivel de medias familiares, lo cual posibilita mejorar ambas características en forma conjunta en un programa de mejoramiento genético.
- El volumen y densidad influyen en los valores de venta final por familia, pero la variable más incidente es este valor es el volumen por sobre la densidad, por lo cual se debe considerar al momento de la selección en un programa de mejoramiento genético.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Balocchi, C.; R. Delmastro. 1992. Principios de genética forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 180 p.
- Balocchi, C.; C. De Veer. 1994. Manual de ensayos genéticos. Bioforest S.A. 113 p.
- Barahona, G. 2005. Variación de la composición química en albura, duramen y altura de madera pulpable de *Eucalyptus globulus* proveniente de monte alto y monte bajo. Tesis Ing. Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 66 p.
- Consuegra, R. 1994. Caracterización de *Eucalyptus globulus* (Labill) como materia prima pulpable. Tesis Ing. Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 93 p.
- Cozzo, D. 1955. Eucalyptus – Eucalyptotecnia. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, Argentina. 380 p.
- Daniel, P.; U. Helms.; F. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Ed Mc Graw – Hill. México, D.F. 492 p.
- Delmastro, R.; J. Díaz-vaz.; J. Schlatter. 1980. Variabilidad de las características hereditarias del *Pinus radiata* (D. Don). Revisión bibliográfica. Investigación y desarrollo forestal. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 157 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 Ciências Florestais. Sector de Ciências Agrarias de Universidad Federal do Paraná. Curitiba. Brasil. 181 p.
- De Veer, C; C. Balocchi; P. Crespell; F. Droppelmann. 2001. Biocat: un programa para el análisis de ensayos genéticos forestales. In: Actas Simposio Internacional IUFRO “Desarrollando el eucalipto del futuro”, Valdivia, Chile. Septiembre 2001.
- Downes, G.; I. Hudson; C. Raymond; G. Dean; A. Michell; R. Schimleck; R. Evans; A. Muneri. 1997. Sampling plantation *Eucalypts* for wood and fibre properties. Ed. CSIRO publishing, Australia. 124 p.
- Díaz-vaz, J.; H. Poblete.; R. Juacida; F. Devlieger. 2002. Maderas comerciales de Chile. Ed. Marisa Cuneo. Valdivia, Chile. 91 p
- FAO. 1973. Guía para Planificar Empresas y Fábricas de Pasta y Papel. Roma. Estudio de Silvicultura y Productos Forestales N° 18. 425 p.

- González, J.; J. Molina. 1989. Consideraciones sobre los tratamientos silviculturales y los rendimientos cuantitativos y cualitativos en madera pulpable de *Pinus radiata* D. Don. Chile Forestal. Documento Técnico 38-39 pp.
- Greenhill, A. 1984. Variación del peso específico en árboles plus de *Pinus radiata* D. Don. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Cs. Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 76 p.
- Ignacio, E; J. Vargas; J. López.; A. Borja. 2005. Parámetros genéticos del crecimiento y densidad de madera en edades juveniles de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Agrocencias. 39(4): 469-479.
- Igartua, D.; S. Rivera.; M. Monterubbianesi.; S. Monteoliva; S. Farina; S. Karranza; 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. IN: Congreso iberoamericano de investigación en celulosa y papel. Misiones (Argentina), 1-4 octubre. pp 35-47.
- Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA). 1985. Suelos volcánicos de Chile. Ed Juan Tosso. Santiago, Chile. 300 p.
- Instituto Forestal (INFOR). 2002. Disponibilidad de madera pulpable de *Eucalyptus* en Chile 2001-2018. Informe Técnico 163. Instituto Forestal, Valdivia, Chile. 30 p.
- Instituto Forestal (INFOR). 2003. Estadísticas forestales 2002. Boletín estadístico 88. Instituto Forestal, Santiago, Chile. 149 p.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1986. NCh 176/2. Madera-parte 2: Determinación de la densidad. INN. Santiago (Chile). 11 p.
- Jayawickrama, K. 1992. Variaciones de las densidades de la madera de *Pinus radiata*, con énfasis a la producción de pulpa y papel.
- Libby, C. 1969. Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel. Ed Futura. México. 514p.
- López, J.; L. Parisi; L. Harrand. 2003. Densidad de la madera de tres huertos semilleros de progenies de *Eucalyptus grandis*. **INTERNET:** <http://www.sagpya.mecom.gov.ar/new/0-0/forestacion/pdf/2003/posters03/210%Lopez%20parisi%20poster%203%HUERTOS%20SEMILLEROS.pdf> (Mayo 3, 2005)
- Mancilla, H.; R. García.; J. Tapia; H. Durán; S. Urzúa. 1991. Chemical characterization of chilean hardwoods. Wood Sci. Technol. 25(1): 145-149.

- Melo, R.; J. Paz; A. Solís; M. Carrasco; M. Rojas; G. Rivero; A. Barriga. 1981. Evaluación de los recursos fibrosos en la sub-región Andina. Suplemento parte II: Los *Eucalyptus* en Chile. Organización de estados americanos-programa regional de desarrollo científico y tecnológico proyecto especial de celulosa y papel. Universidad de Concepción. 39 p.
- Miranda, I.; M. Tome; H. Pereira. 2003. The influence of spacing on wood properties for *Eucalyptus globulus* Labill pulpwood. *Appita Journal*. 56(2): 140-144.
- Morales, E. 2005. Diseño experimental a través del análisis de varianzas y modelo de regresión lineal. ed. Consultora Carolina. Valdivia, Chile. 227 p.
- Morales, R. 1968. Variación del peso específico y largo de traqueida según edad y sitio en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Tesis Ing. Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 58 p.
- Saavedra, C. 2004. Determinación de peso específico y de algunas propiedades biométricas en *Eucalyptus globulus* (Labill) como materia prima pulpable. Tesis Ing. en Maderas. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 90 p.
- Schlatter, J.; V. Gerding.; J. Adiazola. 1994. Sistema de ordenamiento de la tierra, herramienta para la planificación forestal aplicado a las Regiones VII, VIII y IX. Ed. UACH. Valdivia, Chile. 120 p.
- Prado, J.; S. Barros. 1989. *Eucalyptus* principios de silvicultura y manejo. INFOR/CORFO. Santiago, Chile. 199 p.
- Peredo, M. 2000. Utilización industrial de la madera de *Eucalyptus*. IN: I Congreso iberoamericano de investigación y desarrollo de productos forestales. Concepción (Chile), 16-20 octubre. pp 79-87.
- Valencia, S.; J. Vargas. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosque*. 3 (1): 81-87
- Villena, J. 2003. Calidad de la madera de *Eucalyptus globulus sp. globulus* como materia prima para la industria pastero-papelera. IN: I Simposio Iberoamericano *Eucalyptus globulus*. Montevideo (Uruguay), 30-31 mayo. pp 25-35.
- 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.
- White, T.; G. Hodge. 1989. Predicting breeding values with applications in forest tree improvement. Ed. Forestry sciens. U.S.A. 367 p.
- Zobel, B; J. Talbert. 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. México. 545 p.



## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**Abstract and Keywords**

## ABSTRACT AND KEYWORDS

This study analyzed the variability and heritability of basic wood density in *Eucalyptus globulus* at two sites as well as the relationship between trunk volume and density at the family level.

Trees were studied in open-pollinated progeny tests established in 1995, with randomized blocks and rows of five plants. The two sites studied were Fundo El Laurel in the Andean foothills near Collipulli, and Fundo Los Guindos near Nueva Imperial.

One breast-height disk was taken from ten trees from the same 20 families and two controls at each site. Density was determined following the NCh 176/2 standard.

Density differed significantly between sites, averaging 0.496 g/cm<sup>3</sup> in El Laurel and 0.526 g/cm<sup>3</sup> in Los Guindos.

At El Laurel, there were significant differences between families, with family means ranging from 0.504 to 0.521 g/cm<sup>3</sup>. There were no significant differences between families at Los Guindos, where family means ranged from 0.504 to 0.549 g/cm<sup>3</sup>.

Heritability of density was 0.371 at El Laurel, which is lower than literature values. At Los Guindos, however, heritability was even lower, 0.039, which may have resulted from mis-identification of the families.

There were no significant correlations between trunk volume and density at the family level.

Keywords: Wood Properties, Genetic Parameters, Variation, Heredability.

**ANEXO 2**  
**Distribución de los ensayos**



**Cuadro 1.** Información general del ensayo

Empresa	Forestal Probosque Ltda.
Predio	El Laurel
Código ensayo	PB9540
Zona de Crecimiento	Precordillera
Diseño estadístico	Bloques al azar
Tipo de parcela	5 x 1
N° de bloques	7
N° de familias	38
N° de controles	4
Arboles por parcela	5
Espaciamiento	2.5 x 3.0
Hileras de borde	2
Total de árboles	1470
Superficie total c/borde	2.04 ha
Tipo de prep. Suelo	Subsolado
Fecha de plantación	1995
Fumigaciones	Control malezas (establecimiento, año 1, año 2).
Fertilizaciones	Mezcla NPK (plantación) Boro (año 2)

**Cuadro 2.** Identificación de familias y controles

Código Familia	Identificación en terreno	Código Familia	Identificación en terreno
PB0012	PB12	VT0020	VT20
PB0014	PB14	VT0021	VT21
PB0015	PB15	VT0022	VT22
PB0022	PB22	VT0023	VT23
PB306	PB306	VT0024	VT24
PB309	PB309	VT0025	VT25
PB311	PB311	VT0028	VT28
PB409	PB409	VT0031	VT31
PB410	PB410	VT0032	VT32
PB412	PB412	VT0034	VT34
PB495	PB495	MG0001	MG1
PB496	PB496	MG0002	MG2
VT0001	VT1	MG0003	MG3
VT0003	VT3	MG0004	MG4
VT0007	VT7	MG0005	MG5
VT0008	VT8	TG0004	TG4
VT0012	VT12	TG0019	TG19
VT0015	VT15	TG0024	TG24
VT0017	VT17	TG0027	TG27

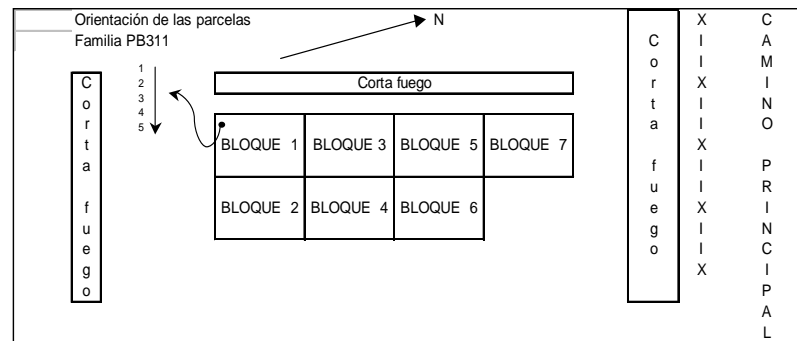
  

Controles	Identificación en terreno	Descripción
C308	C1 - RH	APS Roble Huacho
C307	C2 - QU	APS Quilachaquín
C201	C3 - TC	Control comercial Temuco
C302	C4 - MG	APS Manto Grande

**Cuadro 3.** Distribución de familias por bloque

<b>Bloque 1</b>													
PB311	PB306	VT3	VT28	C4	VT22	MG3	VT34	MG1	PB12	VT15	PB14	VT31	VT24
MG2	VT21	TG19	VT1	TG4	PB495	PB309	PB410	C3	VT17	C1	MG4	VT32	VT25
VT23	PB496	VT7	VT12	TG24	C2	PB412	PB15	MG5	PB409	PB22	TG27	VT8	VT20
<b>Bloque 2</b>													
TG19	TG27	VT22	PB22	C2	VT15	VT23	VT32	PB12	VT25	C1	PB409	PB495	TG24
VT1	PB496	C3	MG4	PB15	PB14	PB412	VT31	MG1	VT34	VT21	VT24	VT12	C4
VT8	VT3	VT17	MG3	PB306	PB410	PB309	TG4	VT20	MG2	PB311	VT7	VT28	MG5
<b>Bloque 3</b>													
PB12	MG3	PB409	PB495	PB306	VT15	VT34	VT3	TG27	VT24	PB15	PB14	PB412	MG2
MG4	VT7	VT28	C4	C1	VT1	VT32	VT12	C3	VT20	VT22	VT21	TG19	PB410
TG4	PB309	VT31	VT17	VT23	MG5	PB311	PB496	PB22	C2	VT8	MG1	TG24	VT25
<b>Bloque 4</b>													
VT7	VT28	VT20	PB12	PB410	C4	MG4	VT1	TG27	MG5	PB496	MG1	C2	MG3
PB22	TG19	PB409	PB15	VT22	VT23	PB309	PB495	MG2	VT3	C1	VT17	TG4	PB311
VT24	VT8	PB14	VT25	VT21	VT15	PB412	C3	VT32	VT34	TG24	PB306	VT31	VT12
<b>Bloque 5</b>													
VT32	PB15	PB311	VT25	PB495	C3	PB410	PB412	TG24	VT23	VT21	C1	VT1	VT7
VT31	VT34	PB12	VT17	MG5	TG19	VT22	PB409	VT12	MG3	MG4	VT8	MG2	C2
C4	VT28	TG27	MG1	PB309	VT24	PB22	PB496	TG4	VT3	PB14	PB306	VT15	VT20
<b>Bloque 6</b>													
PB412	VT12	C2	VT31	MG5	TG19	VT21	C4	PB12	PB495	VT1	VT25	VT34	VT15
VT7	MG1	MG2	VT8	TG4	PB22	TG27	PB306	PB14	C1	PB311	VT28	VT20	C3
TG24	PB15	VT17	VT32	VT3	PB496	VT23	PB409	PB309	VT24	MG3	PB410	MG4	VT22
<b>Bloque 7</b>													
TG4	MG1	MG3	PB410	VT8	MG5	C4	VT12	C3	PB14	VT21	PB306	VT20	VT22
PB412	VT32	VT15	PB12	PB496	VT7	PB22	VT34	VT23	PB15	PB311	VT3	TG24	VT24
MG4	TG19	PB309	PB495	MG2	VT17	VT28	VT31	C1	VT1	TG27	C2	PB409	VT25

**Figura 1.** Distribución de bloques





**Cuadro 4.** Información general del ensayo

Empresa	Forestal Probosque Ltda.
Predio	Los Guindos
Código ensayo	PB9541
Zona de Crecimiento	Los Sauces
Diseño estadístico	Bloques al azar
Tipo de parcela	5 x 1
N° de bloques	10
N° de familias	50
N° de controles	4
Arboles por parcela	5
Espaciamiento	2,5 x 3,0
Hileras de borde	3
Total de árboles	2700
Superficie total c/borde	2,6 ha
Tipo de prep. Suelo	Subsolado
Fecha de plantación	1995
Fumigaciones	Control malezas (establecimiento, año 1, año 2).
Fertilizaciones	Mezcla NP (plantación) Boro (año 2)

**Cuadro 5.** Identificación de familias y controles

Código Familia	Identificación en terreno	Código Familia	Identificación en terreno
PB0012	PB12	VT0017	VT17
PB0014	PB14	VT0020	VT20
PB0015	PB15	VT0021	VT21
PB0016	PB16	VT0022	VT22
PB0018	PB18	VT0023	VT23
PB0021	PB21	VT0024	VT24
PB0022	PB22	VT0025	VT25
PB306	PB306	VT0028	VT28
PB308	PB308	VT0031	VT31
PB309	PB309	VT0032	VT32
PB311	PB311	VT0033	VT33
PB409	PB409	VT0034	VT34
PB410	PB410	VT0035	VT35
PB412	PB412	TG0004	TG4
PB495	PB495	TG0018	TG18
PB496	PB496	TG0019	TG19
PB503	PB503	TG0024	TG24
PB504	PB504	TG0027	TG27
VT0001	VT1	TG0032	TG32
VT0002	VT2	MG0001	MG1
VT0003	VT3	MG0002	MG2
VT0008	VT8	MG0003	MG3
VT0012	VT12	MG0004	MG4
VT0013	VT13	MG0005	MG5
VT0015	VT15	MG0006	MG6

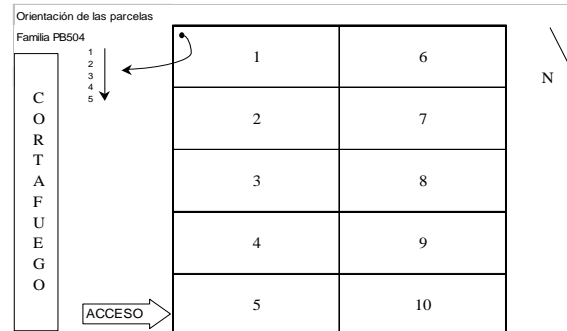
  

Controles	Identificación en terreno	Descripción
C308	C1 - RH	APS Roble Huacho - FAMASA
C307	C2 - QU	APS Quilachaquín - FAMASA
C201	C3 - TC	Control comercial Temuco
C302	C4 - MG	APS Manto Grande - BASA

**Cuadro 6.** Distribución de familias

<b>Bloque 1</b>																			
PB504	PB306	TG32	VT28	C4	VT22	VT2	VT34	MG1	PB12	VT15	PB14	VT31	VT24	PB311	VT35	PB18	VT33	MG2	VT21
VT23	PB496	VT7	VT12	TG24	C2	VT13	PB15	MG5	PB503	PB22	TG27	TG18	VT20	MG3	PB495	PB409	VT8	VT19	TG19
<b>Bloque 2</b>																			
TG19	TG27	VT22	PB21	PB504	PB16	VT23	VT32	PB503	VT25	C1	VT2	TG32	TG24	VT3	VT15	PB12	PB495	VT1	PB496
VT8	PB308	VT17	VT35	PB306	PB410	VT33	TG4	VT20	MG2	PB311	VT7	VT28	MG5	MG3	PB309	PB409	VT13	VT12	MG4
<b>Bloque 3</b>																			
PB12	MG3	PB409	PB495	PB306	VT15	VT34	TG18	TG27	PB504	PB15	PB14	PB412	PB308	TG4	VT31	C1	VT3	MG4	VT7
MG4	VT7	VT28	PB18	PB16	VT1	VT32	VT12	C3	VT20	VT22	VT21	TG19	PB410	PB309	C4	VT35	MG2	PB21	VT13
PB21	VT13	VT2	VT17	VT23	MG5	PB311	PB496	PB22	C2	VT8	MG1	TG24	VT25	VT33	PB503	TG32	VT24	VT12	VT1
<b>Bloque 4</b>																			
VT7	VT28	VT20	PB12	PB410	C4	PB18	TG18	PB504	MG5	PB21	PB308	C2	MG3	VT8	TG27	MG1	VT34	PB22	TG19
PB22	TG19	PB409	PB15	VT22	VT23	TG32	PB495	MG2	VT3	C1	VT33	TG4	PB311	MG4	PB496	VT17	PB309	VT24	PB16
VT24	PB16	PB14	VT25	VT21	VT15	VT2	C3	VT32	PB503	TG24	PB306	VT35	VT12	VT1	VT13	VT31	PB412	VT24	VT2
<b>Bloque 5</b>																			
VT33	PB15	PB311	VT2	PB18	PB503	PB308	PB412	VT13	VT23	VT21	C1	VT1	VT7	VT32	PB12	VT25	PB410	VT31	VT34
VT31	VT34	TG32	VT17	MG5	TG19	VT22	PB409	PB16	MG3	MG4	VT8	MG2	C2	C4	PB504	PB495	TG24	PB21	VT28
PB21	VT28	TG27	MG1	PB309	VT24	PB22	PB496	TG4	VT3	PB14	PB306	VT15	VT20	VT35	TG18	C3	VT12	VT24	VT2
<b>Bloque 6</b>																			
PB412	VT12	C2	VT31	MG5	TG19	VT13	C4	PB12	PB495	VT1	VT25	VT34	VT15	VT7	PB306	TG18	PB311	PB308	MG1
PB308	MG1	MG2	VT8	TG4	PB22	TG27	PB503	PB21	TG32	VT35	VT28	VT20	C3	VT33	PB14	PB16	MG4	TG24	PB15
TG24	PB15	VT17	VT32	VT3	PB496	VT23	VT2	PB309	VT24	MG3	PB410	PB504	VT22	VT21	C1	PB18	PB409	VT32	VT1
<b>Bloque 7</b>																			
PB503	MG1	MG3	PB410	VT8	PB504	C4	VT12	VT2	PB14	VT21	PB306	VT20	PB308	TG4	VT7	PB311	VT22	PB412	VT32
PB412	VT32	VT15	TG18	PB496	TG32	PB22	VT34	VT33	PB15	VT3	TG24	VT24	PB12	C3	PB18	VT13	MG4	TG19	PB309
MG4	TG19	PB309	PB495	MG2	VT17	VT28	VT31	C1	VT1	TG27	C2	PB409	VT25	MG5	VT23	PB21	VT35	VT17	VT1
<b>Bloque 8</b>																			
PB503	PB21	MG4	VT32	PB412	VT35	VT7	VT3	TG4	PB311	VT25	VT28	TG27	PB504	PB15	PB16	VT12	PB309	VT22	VT2
VT22	PB18	TG18	VT31	MG2	PB496	PB308	PB14	C3	MG5	C2	VT15	VT8	TG32	VT13	MG3	PB306	MG1	VT17	PB22
VT17	PB22	VT34	VT21	VT23	TG24	C4	PB409	VT24	VT1	VT2	PB12	VT20	C1	TG19	PB495	PB410	VT33	VT12	VT1
<b>Bloque 9</b>																			
PB503	C4	VT2	PB306	PB504	TG32	C2	VT24	VT20	C3	MG2	MG5	VT7	PB311	MG3	VT8	VT12	C1	MG1	PB12
MG1	PB12	TG19	PB410	TG18	TG24	PB309	VT13	VT15	PB14	PB18	PB308	VT35	PB16	VT33	TG27	VT31	PB409	PB496	VT28
PB496	VT28	PB412	VT3	PB15	VT34	PB21	PB22	VT25	VT21	VT1	VT32	VT22	MG4	VT23	TG4	VT17	PB495	VT32	VT1
<b>Bloque 10</b>																			
C1	VT33	MG2	PB309	C3	VT28	PB21	TG18	PB306	TG27	VT13	VT23	PB18	PB14	VT7	PB504	VT1	C4	VT17	VT31
VT17	VT31	PB495	PB15	MG1	PB311	VT20	PB503	PB412	VT8	VT2	VT32	TG24	VT34	TG32	VT21	MG3	PB22	C2	VT3
C2	VT3	VT24	VT12	PB496	PB409	PB16	MG5	VT15	MG4	VT35	PB308	TG19	PB12	VT22	PB410	TG4	VT25	VT24	VT2

**Figura 2.** Distribución de bloques



**ANEXO 3**  
**Selección de las familias**

**Cuadro 1. Ranking familiar El Laurel**


Rank	vg	Pctl	Familia
1	0,20022	2	VT 23
2	0,19344	5	C302
3	0,17275	7	TG 19
4	0,16899	10	TG 4
5	0,13422	12	PB 410
6	0,09339	14	TG 24
7	0,08778	17	PB 496
8	0,06712	19	MG 3
9	0,06556	21	MG 4
10	0,04028	24	TG 27
11	0,03936	26	PB 12
12	0,03048	29	VT 20
13	0,02063	31	PB 306
14	0,016	33	PB 22
15	0,00953	36	PB 14
16	0,0089	38	VT 15
17	0,00841	40	VT 25
18	0,00483	43	VT 12
19	-0,0035	45	PB 15
20	-0,011	48	C308
21	-0,0144	50	PB311
22	-0,0169	52	MG 2
23	-0,0178	55	VT 1
24	-0,0188	57	PB495
25	-0,0226	60	C201
26	-0,0238	62	MG 5
27	-0,028	64	PB412
28	-0,0293	67	VT 8
29	-0,037	69	VT 17
30	-0,0425	71	VT 3
31	-0,0453	74	VT 24
32	-0,0547	76	VT 32
33	-0,0554	79	VT 7
34	-0,0619	81	VT 22
35	-0,0675	83	PB409
36	-0,0743	86	PB309
37	-0,0855	88	VT 21
38	-0,0912	90	VT 28
39	-0,1219	93	VT 34
40	-0,1269	95	C307
41	-0,1549	98	MG 1
42	-0,1567	100	VT 31


**Cuadro 2. Ranking familiar Los Guidos**

Familia	vg	Pctl
PB 309	0,16344	2
VT 8	0,14561	4
VT 20	0,12538	6
PB 14	0,08948	7
VT 21	0,08542	9
TG 24	0,07869	11
PB 15	0,07694	13
PB 18	0,05647	15
VT 17	0,0553	17
PB 496	0,0522	19
C 201	0,05032	20
PB 504	0,04957	22
VT 13	0,04552	24
MG 3	0,04417	26
PB 22	0,04336	28
PB308	0,04236	30
TG 32	0,03447	31
PB 12	0,03166	33
TG 19	0,02852	35
VT 35	0,02203	37
VT 23	0,0217	39
VT 22	0,01819	41
VT 1	0,0175	43
PB503	0,01561	44
VT 2	0,01536	46
PB410	0,00604	48
VT 32	0,00167	50
PB 21	-0,0055	52
MG 4	-0,0058	54
VT 25	-0,0091	56
VT 15	-0,0123	57
VT 7	-0,0147	59
VT 24	-0,0155	61
PB 16	-0,0159	63
VT 34	-0,0171	65
PB409	-0,0201	67
VT 3	-0,0274	69
C307	-0,0391	70
TG 18	-0,0448	72
PB 412	-0,0465	74
MG 5	-0,0512	76
VT 31	-0,0585	78
C302	-0,0593	80
C308	-0,0628	81
VT 28	-0,0641	83
PB306	-0,0676	85
MG 2	-0,0759	87
VT 33	-0,0801	89
TG 27	-0,0808	91
TG 4	-0,0879	93
MG 1	-0,0888	94
VT 12	-0,0889	96
PB 311	-0,1055	98
PB 495	-0,1718	100

**Cuadro 3. Ranking conjunto**

Familia	vg	Rank	Pctl
VT 23	0,148	1	2
TG 19	0,134	2	4
TG 24	0,117	3	6
VT 20	0,111	4	7
PB 496	0,095	5	9
PB 410	0,093	6	11
C302	0,086	7	13
VT 8	0,084	8	15
MG 3	0,075	9	17
PB 14	0,07	10	19
PB 309	0,069	11	20
PB 18	0,057	12	22
PB 15	0,053	13	24
PB 504	0,05	14	26
PB 12	0,048	15	28
TG 4	0,047	16	30
VT 13	0,046	17	31
PB 308	0,042	18	33
PB 22	0,041	19	35
MG 4	0,039	20	37
TG 32	0,035	21	39
VT 35	0,022	22	41
C 201	0,019	23	43
PB503	0,016	24	44
VT 2	0,015	25	46
VT 17	0,014	26	48
VT 21	0,006	27	50
VT 1	-0	28	52
VT 25	-0	29	54
VT 15	-0	30	56
PB 21	-0,01	31	57
PB 16	-0,02	32	59
VT 27	-0,03	33	61
TG 27	-0,03	34	63
PB 306	-0,04	35	65
VT 32	-0,04	36	67
VT 24	-0,04	37	69
TG 18	-0,04	38	70
VT 3	-0,05	39	72
VT 7	-0,05	40	74
C 308	-0,05	41	76
PB 412	-0,05	42	78
MG 5	-0,05	43	80
PB 409	-0,06	44	81
VT 12	-0,06	45	83
MG 2	-0,07	46	85
VT 33	-0,08	47	87
PB 311	-0,09	48	89
VT 34	-0,09	49	91
VT 28	-0,11	50	93
C 307	-0,11	51	94
PB 495	-0,14	52	96
VT 31	-0,15	53	98
MG 1	-0,17	54	100

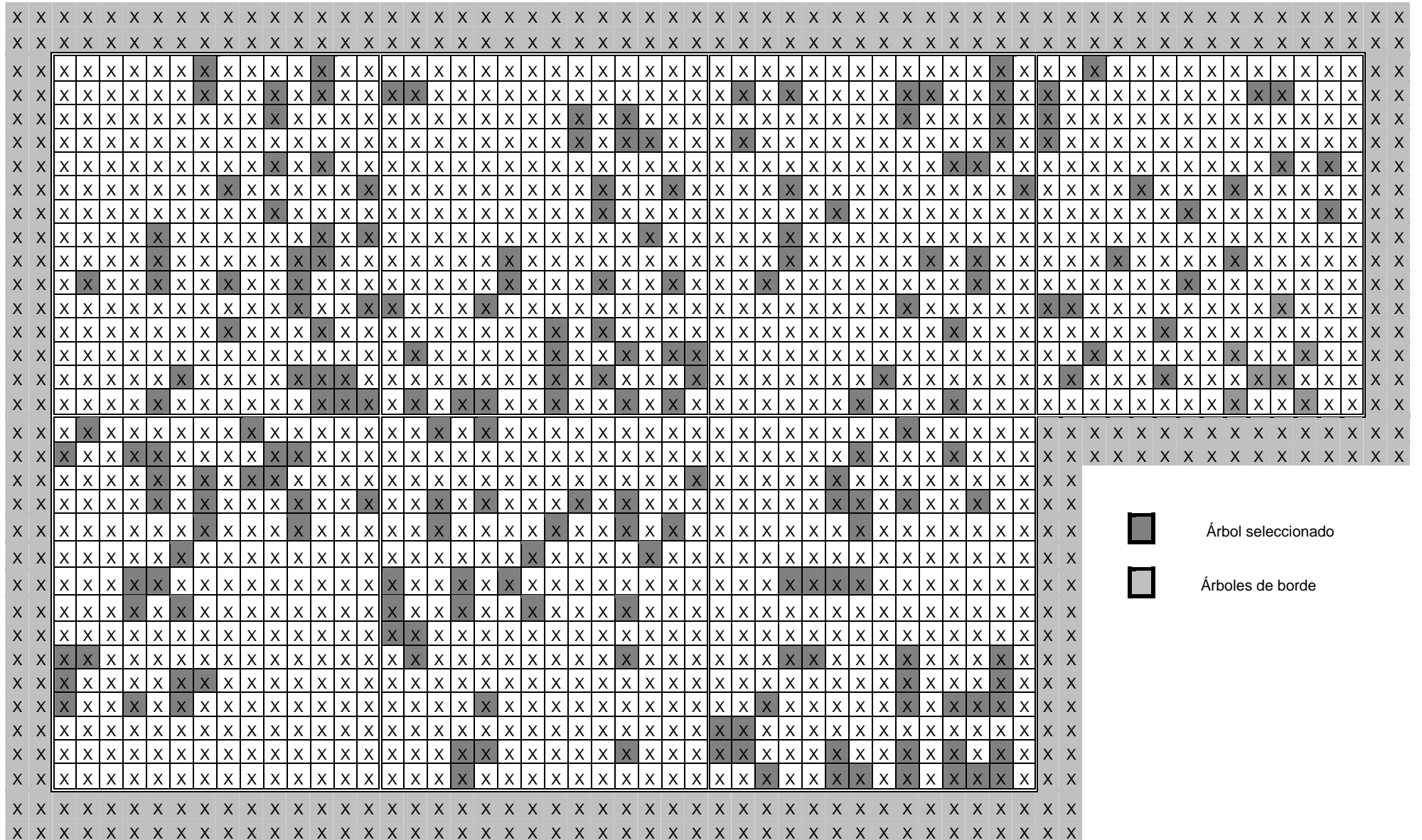
 Familia seleccionada ambos ranking

 Familia seleccionada ranking conjunto

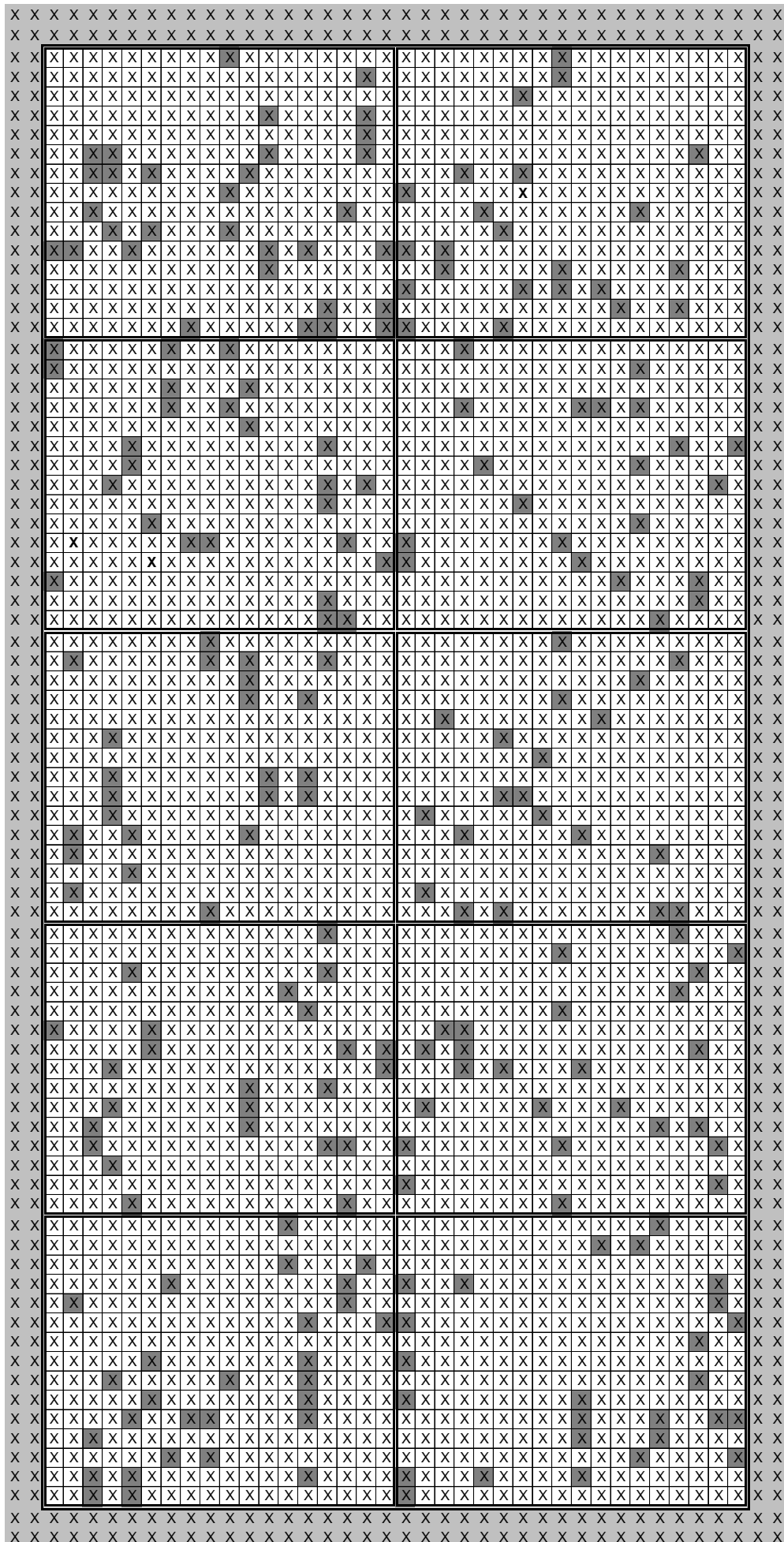




**ANEXO 4**  
**Distribución de los árboles seleccionados por ensayo**

**Cuadro 1.** Distribución de los árboles en terreno para El Laurel



**Cuadro 2. Distribución de los árboles en terreno para Los Guindos**



 Árbol seleccionado  
 Árboles de borde

**ANEXO 5**  
**Modelos estadísticos**

- Entre ensayos: Corresponde a un diseño factorial de 2 factores, donde el primer factor es el sitio y el segundo es la familia (Morales, 2005), que esta dado por la siguiente modelo:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

donde:

$y_{ijk}$  = Es la variable respuesta densidad

$\mu$  = Es el efecto medio del ensayo.

$\tau_i$  = Es el efecto del *i-ésimo nivel del factor A (sitio)*.

$\beta_j$  = Es el efecto del *j-ésimo nivel del factor B (familia)*.

$\tau\beta_{ij}$  = Es la interacción, del efecto del *i-ésimo nivel del factor A(sitio)* por el *j-ésimo nivel factor B(familia)*.

$e_{ijk}$  = Es el error aleatorio

- Dentro del ensayo: Corresponde a un diseño completo al azar (Morales, 2005), que esta dado por la siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

donde:

$y_{ij}$  = Es la variable respuesta densidad.

$\mu$  = efecto medio del ensayo.

$\tau_i$  = Es el efecto del *i-ésima Familia*.

$e_{ij}$  = Es el error aleatorio.

**ANEXO 6**  
**Parámetros descriptivos por ensayo**

**Cuadro 1.** Parámetros descriptivos de la densidad básica para El Laurel

<b>Familia</b>	<b>NºObs</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desv.Estd.</b>	<b>CV%</b>	<b>Volumen Medio (m<sup>3</sup>)</b>
C307	10	0,457	0,521	0,587	0,0373	7,2	0,251
VT23	10	0,485	0,519	0,551	0,0221	4,3	0,369
MG3	10	0,463	0,518	0,563	0,0352	6,8	0,288
PB22	10	0,462	0,508	0,571	0,032	6,3	0,31
C308	10	0,465	0,505	0,541	0,0222	4,4	0,3
MG4	10	0,443	0,505	0,568	0,0376	7,4	0,291
VT1	10	0,462	0,504	0,534	0,0226	4,5	0,276
VT8	10	0,449	0,504	0,556	0,0322	6,4	0,278
PB14	10	0,475	0,501	0,532	0,016	3,2	0,273
VT21	10	0,454	0,501	0,563	0,03	6	0,255
PB309	10	0,434	0,5	0,544	0,0342	6,8	0,245
TG24	10	0,45	0,498	0,551	0,0352	7,1	0,315
PB15	10	0,454	0,497	0,534	0,0247	5	0,287
PB410	10	0,452	0,497	0,563	0,034	6,8	0,364
PB496	10	0,426	0,492	0,528	0,0319	6,5	0,331
TG4	10	0,417	0,488	0,558	0,0425	8,7	0,373
VT25	10	0,459	0,486	0,523	0,0237	4,9	0,283
VT20	10	0,439	0,481	0,519	0,0261	5,4	0,298
TG27	10	0,432	0,478	0,536	0,0342	7,1	0,3
VT17	10	0,406	0,475	0,509	0,031	6,5	0,266
TG19	10	0,43	0,468	0,514	0,0298	6,4	0,383
PB12	10	0,411	0,462	0,508	0,028	6,1	0,32

**Cuadro 2.** Parámetros descriptivos de la densidad básica para Los Guindos

<b>Familia</b>	<b>NºObs</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desv.Estd.</b>	<b>CV%</b>	<b>Volumen Medio (m<sup>3</sup>)</b>
MG4	10	0,515	0,549	0,606	0,0259	4,7	0,348
VT17	9	0,504	0,544	0,581	0,0272	5	0,377
C307	10	0,494	0,543	0,59	0,037	6,8	0,443
VT13	10	0,471	0,537	0,586	0,0418	7,8	0,366
VT20	10	0,498	0,537	0,59	0,0297	5,5	0,411
VT23	10	0,505	0,536	0,566	0,0206	3,8	0,378
C308	10	0,477	0,534	0,589	0,0386	7,2	0,356
TG24	10	0,447	0,533	0,577	0,0429	8	0,354
PB308	10	0,471	0,532	0,652	0,0566	10,6	0,365
TG4	10	0,473	0,532	0,568	0,0243	4,6	0,302
VT25	10	0,481	0,53	0,575	0,0308	5,8	0,308
PB15	10	0,482	0,53	0,589	0,0312	5,9	0,377
MG3	10	0,462	0,53	0,618	0,042	7,9	0,387
TG27	10	0,459	0,527	0,568	0,0378	7,2	0,339
PB410	10	0,469	0,524	0,596	0,0424	8,1	0,404
PB496	10	0,477	0,519	0,609	0,0399	7,7	0,376
PB14	10	0,438	0,518	0,606	0,043	8,3	0,414
PB18	10	0,475	0,516	0,578	0,0287	5,6	0,417
TG19	10	0,49	0,516	0,557	0,0201	3,9	0,374
VT21	10	0,465	0,515	0,577	0,0409	7,9	0,403
VT1	10	0,446	0,514	0,575	0,0372	7,2	0,317
VT8	10	0,468	0,512	0,571	0,0352	6,9	0,43
PB309	10	0,407	0,51	0,576	0,0495	9,7	0,397
PB12	10	0,471	0,509	0,583	0,0342	6,7	0,383
PB22	10	0,447	0,504	0,585	0,0397	7,9	0,323



**ANEXO 7**  
**Análisis de Varianzas**

**Cuadro 1.** Análisis de Varianza para la densidad básica, para El Laurel

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Valor F</b>	<b>P-Valor</b>
Familia	21	0.0521	0.0025	2.62	0.0003 **
Error	198	0.1873	0.0010		
Total Corregido)	219	0.2394			

\*\* : altamente significativo al 99% de confianza (P-Valor <0.01)

**Cuadro 2.** Análisis de Varianza para la densidad básica, para Los Guindos.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados Libertad</b>	<b>Suma Cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Valor F</b>	<b>P-Valor</b>
Familia	24	0.0354	0.0015	1.08	0.366ns
Error	224	0.3057	0.0014		
Total Corregido)	248	0.3411			

ns: no significativo al 95% de confianza (P-Valor >0.05)