

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN AXIAL DE LA DENSIDAD DE LA  
MADERA DE *Eucalyptus grandis* HILL (EX MAIDEN) PARA LA  
DETERMINACION DEL PUNTO DE MUESTREO

por

Sebastián FINOCCHIETTI SILVEIRA

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2005

Tesis aprobada por:

Director:

---

Nombre completo y firma

---

Nombre completo y firma

---

Nombre completo y firma

Fecha:

---

Autor:

---

Nombre completo y firma

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su profundo agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron a la realización de este trabajo. En general a la Cátedra de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía; al Departamento Forestal de la Facultad de Agronomía; al Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería y a la empresa Forestal Oriental S.A.

Especialmente quiero agradecer a las siguientes personas, cuya colaboración considero ha sido realmente invaluable, y fueron claves en el desarrollo de este trabajo final: Ing. Agr. MSc. José García de León; Ing. Agr. MSc. Jorge Hernández; Ing. Eduardo Vedovatti; Ing. Agr. Carmelo Centurión; Pto. Agr. Vilfredo Ibañez; y al Bach. Gonzalo Schiavo.

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°	Pagina
1. Pesos específicos aparentes básicos de <i>Eucalyptus grandis</i> en distintas localidades y procedencias.....	15
2. Rangos de densidad básica para diferentes especies de los géneros <i>Eucalyptus</i> y <i>Corymbia</i> , según distintas procedencias y localidades.....	17
3. Numero de discos extraídos por árbol, para ambas edades.....	50
4. Factores dendrométricos y cormométricos de los arboles en estudio, a una edad de 4 años.....	57
5. Factores dendrométricos y cormométricos de los arboles en estudio, a una edad de 8 años.....	57
6. Tamaño mínimo (n) de árboles requeridos, para representar la variación de la característica densidad básica, en la población....	60
7. ANAVA para la variable dependiente densidad básica, a los 4 años de edad .....	61
8. Prueba de Tukey entre medias de densidad básica, para la edad de 4 años.....	62
9. Parámetros estimados para el modelo cúbico.....	62

10. ANAVA para la variable dependiente densidad básica, a los 8 años de edad .....	64
11. Prueba de Tukey entre medias de densidad básica para la edad de 8 años.....	65
12. Parámetros estimados para el modelo cuadrático.....	65
13. Densidad básica promedio ponderada (DMP) por árbol, para 4 años de edad.....	68
14. Densidad básica promedio ponderada (DMP) por árbol, para 8 años de edad.....	69
15. Variación de la densidad básica del árbol promedio, por altura, para los 4 años de edad.....	70
16. Variación de la densidad básica del árbol promedio, por altura, para los 8 años de edad.....	71
17. Medidas de penetración con Pilodyn y densidad básica a la altura de pecho por árbol, para la edad de 4 años.....	74
18. Medidas de penetración con Pilodyn y densidad básica a la altura de pecho por árbol, para la edad de 8 años.....	76
19. Correlación y $R^2$ entre las diferentes alturas y el promedio ponderado de la densidad básica, en árboles de 4 años.....	79

20. Correlación y $R^2$ entre las diferentes alturas y el promedio ponderado de la densidad básica, en árboles de 8 años.....	82
---	----

Gráfico N°

1. Rangos de variación y promedios observados, para la densidad básica a los 4 años de edad.....	59
2. Rangos de variación y promedios observados, para la densidad básica a los 8 años de edad.....	59
3. Promedio y rango de variación de la densidad básica del árbol promedio, a los 4 y 8 años de edad.....	60
4. Variación axial estimada por el modelo cúbico, conjuntamente con la variación observada, para los 4 años.....	63
5. Variación axial estimada por el modelo cuadrático, conjuntamente con la variación observada, para los 8 años.....	66
6. Comparación de la variación axial de los árboles promedio para las edades en estudio.....	72
7. Variación axial de la densidad básica en % de la altura comercial, para ambas edades en estudio.....	73
8. Correlación de las medidas de penetración con Pilodyn y la densidad básica promedio, para árboles de 4 años.....	75

9. Correlación de las medidas de penetración con Pilodyn y la densidad básica promedio, para árboles de 8 años.....	77
10. Correlación entre la densidad básica promedio y la densidad promedio a una altura de 2 metros, para árboles de 4 años de edad.....	80
11. Correlación entre la densidad básica promedio y la densidad a 1,3 m de altura, para arboles de 4 años de edad.....	81
12. Correlación entre la densidad básica promedio y la densidad al DAP para árboles de 8 años de edad.....	83
13. Correlación entre la densidad básica promedio y la densidad a los 2 metros de altura, para arboles de 8 años de edad.....	84

#### Figura N°

1. Mapa de distribución natural de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill (ex Maiden).....	3
2. Mapa de los predios de FOSA en donde se hizo el muestreo.....	43
3. Utilización del Pilodyn en los árboles seleccionados.....	47
4. Arbol apeado con discos descortezados y numerados.....	48
5. Discos marcados y ordenados según árbol al cual pertenecían.....	51

6. Balanza utilizada para el pesado de los discos.....	53
7. Estufa de secado utilizada en el estudio.....	54

## TABLA DE CONTENIDO

Página	
PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	IV
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Crecimiento del árbol.....	5
2.2 Características generales del peso específico.....	7
2.3 Variación del peso específico aparente básico.....	9
2.3.1 Variación genética del peso específico aparente básico.....	9
2.3.1.1 Heredabilidad del peso específico.....	10
2.3.1.2 Selección por peso específico.....	12
2.3.2 Variación del peso específico aparente básico dentro de la especie.....	13
2.3.3 Variación del peso específico aparente básico entre especies.....	15
2.3.4 Variación del peso específico aparente básico dependiendo del sitio de crecimiento.....	18
2.3.5 Variación del peso específico aparente básico con el espaciamiento y la fertilización.....	19
2.3.6 Variación del peso específico aparente básico dentro del árbol.....	21
2.3.6.1 Variación del peso específico aparente básico con la altura.....	21
2.3.6.2 Variación del peso específico aparente básico en sentido radial.....	24
2.3.6.3 Variación del peso específico aparente básico con la velocidad de crecimiento.....	26
2.3.6.4 Variación del peso específico aparente básico con la edad del árbol....	29
2.3.6.5 Variación del peso específico aparente básico con la humedad	

de la madera.....	31
2.4 Métodos de determinación del peso específico aparente.....	32
2.4.1 Utilización del Pilodyn en la determinación del peso específico aparente básico.....	32
2.4.2 Otros métodos de determinación del peso específico aparente básico.....	36
2.5 Importancia del peso específico en la producción industrial.....	39
<b>3. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1 Materiales.....	42
3.1.1 Instrumentos.....	42
3.1.2 Características del sitio y material experimental.....	43
3.1.2.1 Características climáticas.....	44
3.1.2.2 Características edafológicas y geológicas.....	44
3.1.2.3 Características del material de muestreo.....	45
3.2 Métodos de trabajo.....	46
3.2.1 Trabajo de campo.....	46
3.2.2 Trabajo de laboratorio.....	51
3.2.3 Procesamiento de datos.....	54
3.2.4 Características cormométricas y dasométricas de los árboles muestreados.....	56
3.2.4.1 Características dasométricas y cormométricas para la edad de 4 años.....	56
3.2.4.2 Características dasométricas y cormométricas para la edad de 8 años.....	57
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>58</b>
4.1 Variación axial del peso específico aparente básico a la edad de 4 años.....	61
4.2 Variación axial del peso específico aparente básico a la edad de 8 años.....	63

4.3 Comparación de la variación axial del peso específico aparente básico para ambas edades.....	66
4.4 Correlación entre medidas de Pilodyn y peso específico aparente básico al DAP.....	73
4.4.1 Correlación para árboles a la edad de 4 años.....	74
4.4.2 Correlación para árboles a la edad de 8 años.....	76
4.5 Cálculo del punto de muestreo representativo de todo el árbol.....	78
4.5.1 Cálculo del punto de muestreo representativo para árboles a la edad de 4 años.....	78
4.5.2 Cálculo del punto de muestreo representativo para árboles a la edad de 8 años.....	81
<b>5. DISCUSION.....</b>	<b>85</b>
5.1 Amplitud de la variación del peso específico aparente básico en los individuos seleccionados.....	85
5.2 Variación axial del peso específico aparente básico en los individuos seleccionados.....	85
5.3 Variación del peso específico aparente básico entre las dos edades en estudio.....	86
5.4 Correlación entre Pilodyn y peso específico aparente básico.....	86
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>7. RESUMEN.....</b>	<b>91</b>
<b>8. SUMMARY.....</b>	<b>92</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>93</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>100</b>

## 1. INTRODUCCION

Uruguay esta situado entre los 30 y 35 grados de latitud Sur con un relieve moderado de 500 m de altitud máxima sobre el nivel del mar. El clima es templado con precipitaciones relativamente bien repartidas y un total anual de 1200 mm. La temperatura anual media es de 17°C; la temperatura máxima del mes más cálido es de 30,5 °C y la mínima del mes mas frío es de 4,9 °C. El número de ocurrencia de heladas es de 15 a 18 veces al año para las zonas centro y sur del país. Los suelos definidos como de prioridad forestal se concentran en 4 zonas del país (Norte, Centro, Oeste y Sudeste). Los suelos de la zona norte son arenosos, profundos y de bajo contenido de materia orgánica. En las zonas centro y oeste, predominan los suelos pesados, de profundidad media y fertilidad media a alta. En el Sur, predominan las formaciones rocosas con suelos poco fértiles. La vegetación predominante en Uruguay es la pradera.

El género *Eucalyptus* es un gran genoma de plantas que incluye 700 especies, originarias de Australia y su distribución natural se da en climas secos, húmedos, tropicales y templados. Muy pocas (menos del 1%) de estas 700 especies son utilizadas con propósitos industriales.

En Uruguay se introducen los primeros ejemplares de *Eucalyptus* a mediados del siglo XIX, aunque no ha sido posible determinar a que especies pertenecían las primeras semillas importadas, ciertos árboles longevos denotan que se trataba de semillas de *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, *Eucalyptus melanophloia*, *Eucalyptus diversifolia*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus ovata*, *Eucalyptus sideroxylon*, *Eucalyptus citriodora* y *Eucalyptus paniculata*. En la segunda mitad del siglo XIX se produce un cambio tecnológico en la producción ganadera uruguaya (introducción del alambrado), y dentro del paquete tecnológico adoptado, entran los bosques de abrigo y sombra para el ganado.

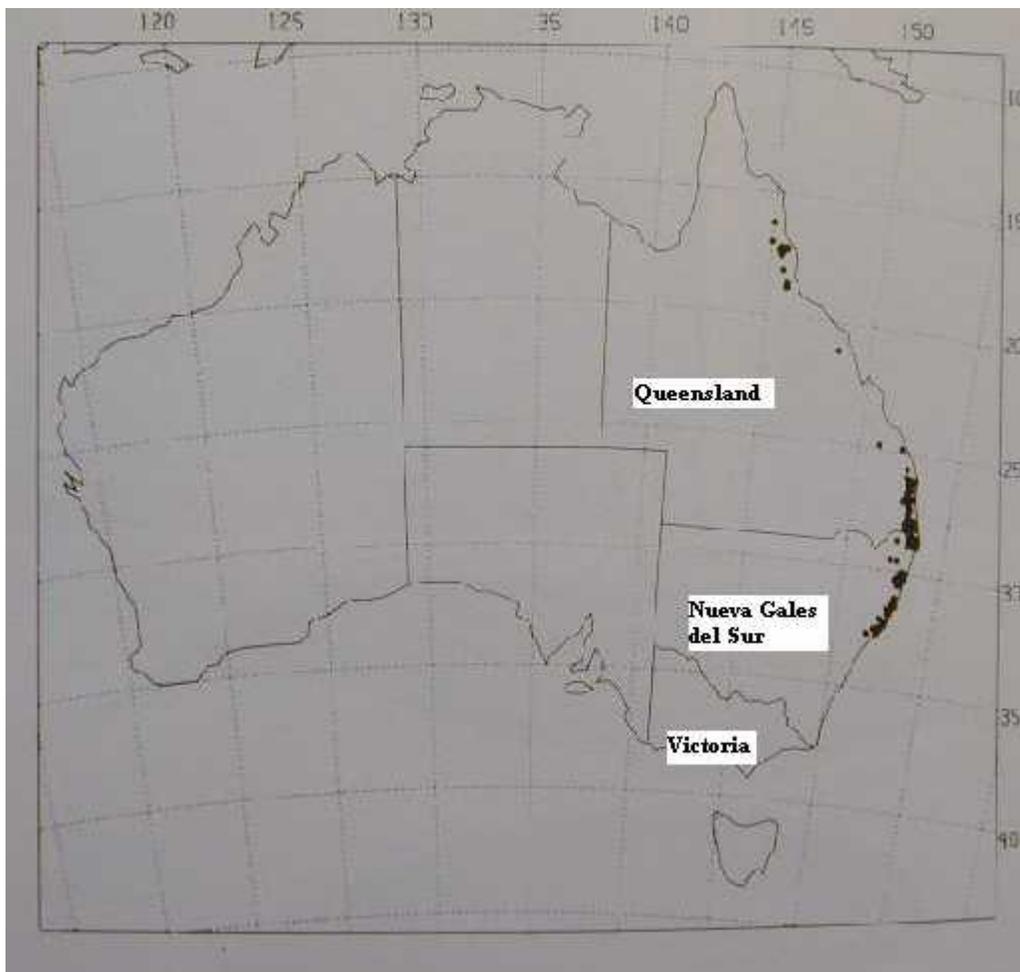
Ya sea por mayor abundancia de semillas, o por su rusticidad y desarrollo, la especie que tuvo mayor predominio fue el *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. En el primer cuarto del siglo XX, comienzan a plantarse con gran intensidad los llamados Eucaliptos colorados, con las especies *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus camaldulensis* los cuales son actualmente abundantes, y plantados para abrigo, leña, aserrado, recreación, etc. (Helguera y Lombardo 1953).

La promulgación de la Ley No. 15.939 (Ley Forestal) el 28 de diciembre de 1987, y publicada el 9 de febrero de 1988, se impulsa el desarrollo del complejo forestal del país mediante la implementación de beneficios tributarios y de financiación a la forestación con el propósito de forestar extensas áreas de terrenos calificados de prioridad forestal por sus características edafológicas. Este programa permitió alcanzar un incremento significativo de la masa forestal del país, registrándose en el año 2002 una superficie forestal de 615.613 ha con un 68,9 % de las plantaciones con las especies, *Eucalyptus globulus ssp. globulus* (58% del total de *Eucalyptus*), *Eucalyptus grandis* (35,8 % del total de *Eucalyptus*) y otros *Eucalyptus*, como el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, o el *Eucalyptus dunnii*, (5 % del total de *Eucalyptus*), llegando actualmente a una cifra cercana a las 700.000 ha de bosques artificiales (Fuente: MGAP- Dirección Forestal, Boletín Estadístico Año 4; N°3; 2003).

La especie en la cual se basa el siguiente trabajo es el *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden), árbol que presenta en Australia una distribución discontinua en zonas de litoral del sur de Queensland y norte de Nueva Gales del Sur. Las mayores poblaciones se encuentran hacia el sur de su área de distribución natural, y algunas poblaciones aisladas ocurren en el norte de Queensland cerca de Mackay y sobre la meseta de Atherton. En la parte más tropical de su área de distribución se encuentra hasta 900 m de altitud. Es una

especie que presenta un rango altitudinal de 300 a 900 metros sobre el nivel del mar, y un rango latitudinal que va desde los 32 ° S a los 17 ° S. Esto se puede observar en la figura N° 1 donde se presenta un mapa de Australia con la ubicación de la especie en estudio.

**Figura N°1: Mapa de distribución natural de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden).**



Fuente: Boland *et al.* Forest Trees of Australia CSIRO 1984.

Este trabajo tiene como objetivo, aportar nuevos conocimientos sobre la especie *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) en torno a una de las propiedades

físicas más importantes de la madera, como lo es el peso específico aparente básico (también conocida a nivel internacional como densidad básica, y por lo cual en este trabajo, implica lo mismo nombrarla de una forma u otra), la cual es un índice de calidad de madera, además de un factor determinante en su aptitud para la industrialización. El mismo estudia la variación de esta propiedad dentro del árbol a diferentes alturas y para dos edades diferentes que implican media rotación (4 años) y rotación completa (8 años), ajustando estos datos a modelos matemáticos que representen la variación axial, con el objetivo de determinar la variación de esta propiedad en altura, y si es posible obtener un valor de densidad promedio para la especie (en esas condiciones de crecimiento). También se busca definir un modelo de variación axial del peso específico aparente básico por edades para la estimación temprana de dicho parámetro.

De este modo se tratará de definir una altura de muestreo donde el peso específico aparente básico sea representativo de todo el árbol, para de esta forma disminuir tiempo y recursos en la obtención de estos datos, tan importantes en programas de mejoramiento genético que tienen como objetivo el aumento de los rendimientos pulpables en la industria del papel.

También es parte del trabajo, el analizar datos de penetración con Pilodyn y su relación con la densidad básica al DAP, intentando correlacionar y ajustar modelos de predicción para los datos obtenidos.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CRECIMIENTO DEL ÁRBOL**

Senyszyn (1990), describe a la madera como un material orgánico vegetal, que comprende un conjunto de tejidos secundarios de los vegetales leñosos, resultantes del funcionamiento lateral del cámbium y situado entre este y la medula del árbol. Anatómicamente es un material que presenta tejidos variables, que resultan en un material heterogéneo, anisótropo, fibroso y compacto. Estos tejidos están orientados generalmente en el sentido del eje del árbol, con aspecto y propiedades diferentes, según el sentido que se considere, ya sea axial, tangencial, o radial.

Los árboles, como los arbustos, crecen por la incorporación sucesiva de numerosas capas de tejido leñoso en el tallo que envuelven la plántula original. El eje de esta plántula, formado por la raíz y el tallo, está dividido en tres capas principales. La más externa, llamada epidermis, está formada por células de paredes delgadas y protege los tejidos internos del eje. La capa central o córtex es un aglomerado de células más grandes de pared fina que funcionan durante un tiempo como células de almacenamiento. La capa interna o estela consta de un anillo de células pericíclicas resistentes, un anillo pluricelular de células de floema, un anillo pluricelular de células de xilema o leñosas y un núcleo interior de células de paredes delgadas llamado médula.

Según Ziliani (1998), en las primeras etapas del desarrollo de la planta se forma una capa celular embrionaria, llamada cámbium, entre el floema y el xilema. Cuando el cámbium se encuentra en periodo de división, produce alternativamente células de floema y xilema. Cuando una célula del cámbium se divide para formar células de xilema, la célula que ocupa una posición más

interna de las dos resultantes de la división se transforma en xilema, mientras que la exterior sigue actuando como cámbium en la división siguiente. Cuando ésta ocurre, la célula más externa se transforma en célula del floema, y la interna sigue actuando como cámbium. Se producen muchas más células de xilema que de floema.

El cámbium, presenta actividad estacional en muchas especies. Esto se debe a una serie de factores como el fotoperíodo, temperaturas altas, y factores de crecimiento propios de la especie. En regiones tropicales, donde no se distinguen estaciones marcadas a lo largo del año es de esperar que el cámbium presente una actividad continua a lo largo del año. Sin embargo esto no sucede en la totalidad de las especies, y es así que, a modo de ejemplo, que el porcentaje de árboles sin anillos de crecimiento en el bosque húmedo de la India es del 75 %, en el Amazonas 45 %, y en Malasia solo el 15 % de las especies presentan actividad continua. Una consecuencia de la actividad estacional del cámbium es la presencia, a nivel macroscópico así como microscópico, de los anillos de crecimiento. En ellos se distingue un leño temprano, ubicado en el interior del anillo formado al comienzo de la estación de crecimiento y que se caracteriza por estar formado por tejido menos denso, con elementos de mayor calibre. El leño tardío se ubica en el exterior del anillo y se forma al final de la estación de crecimiento, caracterizado por estar formado por tejido más denso, con mayor porcentaje de pared celular, presentando elementos de menor calibre (Davies, 1997).

Las continuas divisiones del cámbium aumentan poco a poco la circunferencia del eje. El cámbium también aumenta su perímetro a medida que la porción leñosa del tronco crece como consecuencia de la multiplicación de las células de xilema. Pero los tejidos situados fuera del cámbium (floema, periciclo, córtex), empiezan a continuación a romperse y sufrir fisuras

profundas, hasta que terminan por desprenderse de la planta. En la parte externa del floema se forma nuevo cámbium, llamado cámbium suberoso o felógeno, que va a formar suber y felodermis, que protegen el eje. A medida que éste prosigue el crecimiento, las capas de corcho desarrollan en la superficie fisuras características y, a medida que el cámbium suberoso se abre forzado por la presión del leño, se forma nuevo súber que lo sustituye.

En un tallo adulto aproximadamente el 90 % de su volumen (dependiendo de la especie), corresponde a xilema y el 10 % a la suma de suber, corteza y floema. (Ziliani, 1998).

## **2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PESO ESPECÍFICO**

El peso específico es la relación que existe entre el peso de la madera sólida (sin poros) y el volumen que ocupa. Ambos valores deben ser medidos en condición anhidra para que la humedad no influya. Generalmente, se toma como valor de peso específico 1.53, aunque existen diferencias según la proporción de celulosa y lignina que contenga la madera. El peso específico de la celulosa es de 1.56 y el de la lignina varía entre 1.38 y 1.41. (Tuset y Duran, 1979).

Al hablar de peso específico de la madera, se debe tener en cuenta que es un material poroso con aire en su interior, de modo que debe distinguirse entre peso específico de la madera y su peso específico aparente, el cual toma en cuenta el volumen y el peso de la madera con poros.

Zobel y Talbert (1988), citados por Centurión y Llano (1995), citan que el peso específico no es una característica simple de la madera, sino una combinación de características, tales como cantidad de madera de verano,

tamaño de las células, espesor de la pared celular, etc. Cada una de las cuales posee un fuerte patrón hereditario propio. Combinadas determinan lo que se conoce como peso específico y el cual a pesar de su complejidad casi siempre es tomado como una sola propiedad.

Para el peso específico aparente, los valores de peso y volumen pueden ser determinados en diversidad de condiciones, siendo de importancia el constatar y especificar el contenido de humedad bajo el cual se midió cada uno.

El peso específico aparente básico o densidad básica, es definido por la relación entre el peso de la madera absolutamente seca (anhidra), y su volumen saturado (humedad encima del PSF), siendo expresado en  $\text{g/cm}^3$ . (Lopes y Garcia, 2002).

Por otra parte, Barrichelo y Brito (1976), citados por Kageyama *et al.*(1982) dicen que la densidad básica de la madera, es la relación entre el peso absolutamente seco (anhidro) en gramos y su volumen en centímetros cúbicos, en estado de completa saturación, siendo esta la manera más usual de expresar este parámetro.

Foelkel *et al.* (1971), citan que dentro de las varias maneras de expresar la densidad de la madera, una de las mas prácticas, es la densidad básica o peso específico aparente básico, el cual es la relación entre el peso absolutamente seco (anhidro) de la madera, en gramos o toneladas, y su volumen respectivamente, en centímetros cúbicos o metros cúbicos, cuando se encuentra en estado de completa saturación.

## **2.3 VARIACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO**

Existen dos fuentes de variación respecto a las propiedades de la madera en el árbol; las variaciones entre árboles y las variaciones dentro del árbol. Las primeras vienen explicadas por causas genéticas, factores ambientales o ecológicos, y por gestión de la masa, mientras que las segundas están condicionadas por su situación dentro del árbol, la cual puede variar por edad respecto al cámbium, ancho de los anillos de crecimiento, altura del suelo, etc. (Rodríguez *et al.*, 2002).

Por otra parte Zobel *et al.* (1989), citados por Rodríguez *et al.*, (2002), afirman que la mayoría de las veces la variación dentro del árbol es superior a la variación entre árboles, por lo cual es imprescindible cuantificarla y definirla de la forma mas precisa, puesto que nos va a condicionar los productos que podemos obtener.

Rodríguez *et al.*, (2002) en un trabajo para *Pinus radiata* y *Abies alba*, encontraron que la variabilidad entre árboles presenta un coeficiente de variación del 5,4 %, mientras que la variabilidad máxima presente dentro de un árbol es de 12 %.

### **2.3.1 Variación genética del peso específico aparente básico**

Según Zobel y Talbert (1988), citados por Bianchi y Dibarboure (1993), una de las principales ventajas del mejoramiento genético de los árboles forestales radica en que una vez que se obtiene el cambio, este puede mantenerse por varias generaciones. Una de las desventajas es la falta de conocimiento de lo que se desea en el futuro, por lo cual hay que ser cauteloso y muy conservador para encarar un programa de mejoramiento. Los métodos

que se utilizan para causar cambios en los árboles y el mejoramiento que surge de ellos varia con las diferentes características.

Según Arbuthnot (1991), citado por Rojas *et al.* (1993), los programas de genética forestal orientados al mejoramiento de la producción de pulpa incluyen la mejora y selección de varias propiedades de la madera. La densidad básica es de estas propiedades una de las mas importantes por cuanto está altamente correlacionada con algunas propiedades pulpables.

Cotterill y Brolin (1997), evidencian cambios sustanciales en las propiedades del proceso de pulpa y papel que se deben a la elección entre diferentes especies de *Eucalyptus*. Grandes cambios también se deben por la selección de las mejores familias y los mejores árboles (clones) dentro de una especie en particular. La ganancia genética de la selección dependerá de la heredabilidad y variabilidad de la característica a ser mejorada.

Lopes y Garcia (2002), afirman, que en términos generales, se puede decir que las variaciones de densidad básica están relacionadas con las características anatómicas de la madera, como la compresión y largo de la célula, ancho de la pared celular, diámetro de los lúmenes, y proporción y distribución de los tejidos del leño.

### **2.3.1.1 Heredabilidad del peso específico**

Zobel (1964), citado por Bianchi y Dibarboure (1993), dice que el cociente denominado heredabilidad es la medida cuantitativa de la herencia mas comúnmente empleada. Este cociente expresa la importancia relativa de la constitución génica y del medio ambiente como determinantes de una característica específica de la madera.

La heredabilidad es normalmente utilizada como referencia para explicar la porción de variabilidad observada que esta controlada genéticamente. Promueve por lo tanto, una indicación de la ganancia genética posible para una característica considerada; Lopes y Garcia (2002).

El peso específico aparente básico o densidad básica es un carácter que presenta una alta heredabilidad estimada tanto individualmente como familiarmente en *Eucalyptus*. La principal dificultad de uso en programas de mejoramiento forestal radica en su dificultad de medición en gran número de árboles, ya que los métodos de determinación convencionales o destructivos, implican gran cantidad de tiempo, un alto costo y la pérdida del material genético a analizar. (Rojas *et al*, 1993).

Raymond, (1995), en un estudio para especies de *Eucalyptus* localizados en Australia y Sudáfrica observó, que la heredabilidad varía entre 0,45 a 0,91 para la variable peso específico aparente básico, con una media de 0,65.

Kageyama *et al.* (1982), encontraron para progenies de *Eucalyptus grandis* de semilla proveniente de Coff's Harbour - Australia, y plantados en Brasil en el Estado de Sao Paulo, que los coeficientes de heredabilidad en sentido estricto para la densidad de la madera de plantas individuales, mostraron valores bastante altos, variando de 0,70 a 1,00 revelando un fuerte control genético para la característica. Las heredabilidades de medias familias eran también bastante altas, con valores que variaban entre 0,67 a 0,79, confirmando el alto grado de control genético sobre la densidad de la madera.

Según Dean y Cotterill, (1994), para *Eucalyptus globulus ssp. globulus* en Portugal por ejemplo, estudios han demostrado que la densidad básica, largo de fibra, contenido de celulosa y hemicelulosa, son altamente heredables con

rangos de heredabilidad que fluctúan entre 0,3 a 0,69. Mientras que Cotterill y Brolin (1997) por otra parte, dicen que el contenido de lignina tiene baja heredabilidad ( $h^2=0,09$ ).

### **2.3.1.2 Selección por peso específico**

Según Brasil *et al.*(1979), dentro de los patrones buscados de calidad de madera, la densidad básica fue el que mas sobresalió por ser fácilmente manipulable y de alta heredabilidad comprobada.

Zobel y Talbert (1988), citados por Bianchi y Dibarboure (1993), mencionan que los mejoradores de plantas tienen la experiencia de que las características que no han estado sujetas a presiones de selección en el pasado, tienen una gran proporción de varianza aditiva respondiendo muy bien a la selección.

Hardner y Tibbits (1996), dicen que la densidad de la madera (medida por penetración con Pilodyn) exhibe una gran proporción de variación aditiva ( $h^2=0,4$ ) y además parece no haber dominancia para esta característica.

Wang *et al.* (1984) citados por Lopes y Garcia (2002), dice que estudiando el comportamiento de la densidad básica en un test de progenie de *Eucalyptus grandis* con 1,4 años de edad, encontraron valores de heredabilidad para la densidad básica de 0,83 con relación a las familias y del orden de 0,80 para la heredabilidad individual de plantas, concluyendo que la variación de densidad de la madera entre progenies fue enteramente debida a diferencias genéticas. La ganancia genética estimada en la selección de 5 % en las mejores familias fue de 0,014 g/cm<sup>3</sup>. La ganancia en densidad básica de la

madera para la selección individual, utilizando técnicas de propagación vegetativa para el mejor individuo, fue de 0,090 g/cm<sup>3</sup>.

Davison (1978), citado por Kageyama *et al.*(1982) cita la instalación de un banco clonal de *Eucalyptus deglupta* en Nueva Guinea, el cual contiene clones identificados y clasificados en clases de densidad de madera, correspondientes a los tres principales usos finales, los cuales son:

- > 0,36 g/cm<sup>3</sup> ---- ----- Celulosa.
- 0,31 – 0,35 g/cm<sup>3</sup> --- Celulosa y aserrado.
- < 0,30 g/cm<sup>3</sup> ----- Laminados.

### **2.3.2 Variación del peso específico aparente básico dentro de la especie**

Ferreira *et al.* (1979), afirman que para las especies estudiadas la variabilidad entre árboles, dentro de poblaciones de la misma especie, es la característica más importante. La densidad de la madera varía significativamente de árbol a árbol, dentro de la población. Esa variación es mucho más importante que las variaciones entre poblaciones dentro de una localidad o entre poblaciones en localidades diferentes.

Souza *et al.* (1986) citados por Ribeiro y Zani Filho (1993), dicen que en análisis efectuados para *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus saligna* se demostró que la variabilidad entre procedencias estudiadas fue mucho mayor que entre especies, indicando la posibilidad de selección para el mejoramiento de la característica. Contemplando esta posibilidad y siguiendo con la cita de estos autores, Brasil (1983), estudiando la variación de la densidad básica de la madera entre y dentro de procedencias de *Eucalyptus urophylla*, constató que

las mayores ganancias podían ser obtenidas a través de la selección entre procedencias.

Ribeiro y Zani Filho (1993), mencionan que en su trabajo, así como en el de Barrett *et al.* (1975), se encontró una tendencia a la baja variación de la densidad básica para las diferentes procedencias de *Eucalyptus grandis* estudiadas.

Según Ferreira *et al.* (1979), el estudio de procedencias de semillas asociada a la variación de la calidad de la madera es todavía un campo abierto. Trabajos efectuados por Barrett; Carter y Seward (1975), en Rodesia y con *Eucalyptus grandis* a los 5 años de edad, mostraron que la densidad no varió en función de las 8 procedencias de semillas probadas, con una sola excepción para la procedencia de Atherton (Queensland – Australia). Según estos autores, las densidades variaban entre 0,390 a 0,440 gr/cm<sup>3</sup>, siendo la mas alta la asociada a la procedencia de Atherton. Ellos finalmente concluyen que las diferencias entre procedencias existen, pero no son tan relevantes, aunque están de acuerdo que es un área en la cual todavía falta mucho por hacer. Además en este mismo trabajo se pueden observar para los 50 árboles muestreados los valores de densidad básica promedio en los diferentes árboles varía entre 0,548 a 0,405 gr/cm<sup>3</sup> para los de 8 años, y entre 0,454 a 0,358 gr/cm<sup>3</sup>, para los de 4 años, a pesar de que son individuos que se encontraban en lugares muy cercanos unos de otros, por lo cual el factor ambiental y su efecto es muy similar para todos.

En la Cuadro N°1 se observa la gran variación que hay en la densidad básica para *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden), la cual varía entre 0,364 y 0,518 gr/cm<sup>3</sup>, difiriendo estos ejemplares, en lugar de procedencia, y sitio de plantación.

**CUADRO Nº1. Pesos específicos aparentes básicos de *Eucalyptus grandis* en distintas localidades y procedencias.**

Procedencia de la semilla	Nº árboles muestreados	Lugar de plantación	Rango de densidad básica media por árbol (gr/cm <sup>3</sup> )	Edad
Atherton – Queensland, Australia	5	Capao Bonito – SP	0,518 - 0,496	8
Atherton – Queensland, Australia	5	Pelotas - RS	0,508 - 0,464	9
Atherton - Queensland, Australia	5	Uberaba - MG	0,496 - 0,462	10,5
Río Claro – SP	30	Campo Mourao – PR	0,367 - 0,371	3
Río Claro – SP	30	Campo Mourao – PR	0,364 - 0,381	3
Río Claro – SP	30	Campo Mourao – PR	0,373 - 0,389	3
Río Claro – SP	30	Campo Mourao – PR	0,365 - 0,443	6
Woolgoolga - New South Wales, Australia	5	Pelotas - RS	0,471 - 0,431	9

SP = Sao Pablo; RS = Río Grande do Sul; MG = Minas Gerais; PR = Paraná

Fuente: extraído de EMBRAPA Florestas, Documento 38, Características de la madera de algunas especies de *Eucalyptus* plantadas en Brasil. Pereira *et al.* (2000).

**2.3.3 Variación del peso específico aparente básico entre especies**

El género *Eucalyptus* es conocido por su gran variabilidad genética. Son centenas de especies con propiedades físicas o químicas tan diversas, que hacen que los *Eucalyptus* sean utilizados para las más diversas finalidades. Incluso, dentro de una especie las propiedades pueden variar marcadamente, haciendo que determinadas progenies o procedencias, sean apropiadas para un proceso industrial y que otras sean totalmente inútiles.

Clarke *et al.* (1999), citados por Achugar y Scaglione (2003), encontraron en un estudio de 9 especies en dos sitios a los 6 años de edad, que *Eucalyptus grandis* es la especie que presenta menor densidad básica en ambos sitios (densidades entre 0,41 y 0,45 g/cm<sup>3</sup>), seguido por especies como *Eucalyptus oreades*, *Eucalyptus fraxinoides*, *Eucalyptus fastigata*, *Eucalyptus saligna*. Las especies de mayores densidades fueron *Eucalyptus smithii* y *Eucalyptus macarthurii*, seguidos por *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus nitens*.

Según Hillis (1978) citado por Kageyama *et al*, existen variaciones considerables en la densidad entre las especies de *Eucalyptus*, dentro de estas, así como también dentro de los árboles, siendo esto previsible, considerando la variación en las propiedades de las fibras y la proporción de los elementos estructurales.

Ferreira y Kageyama (1978) citados por Lopes y García (2002), dicen que en el género *Eucalyptus* se observa que la densidad básica puede variar de una especie a otra, entre árboles de la misma especie, dentro del mismo árbol, con relación a la edad de la población, y también con las condiciones ecológicas del sitio donde esta localizado. Por lo tanto, los factores que influyen esas variaciones pueden ser de orden genético, ambiental, o como resultado de la interacción entre esos efectos.

A continuación, se puede observar, al cuadro N°2, el cual presenta un ejemplo de la gran variación que hay para la característica densidad básica para algunas especies de los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia*.

**CUADRO Nº2. Rangos de densidad básica para diferentes especies de los géneros *Eucalyptus* y *Corymbia*, según distintas procedencias y localidades.**

Especie	Procedencia de la semilla	Nº árboles muestreados	Lugar de plantación	Rango de densidad básica media por árbol (gr/cm <sup>3</sup> )	Edad (años)
<i>Corymbia citriodora</i> Hook.	Rockhampton - Queensland, Australia	5	Uberaba - MG	0,740 - 0,720	10,5
<i>Corymbia maculata</i> Hook.	N.Woolgoolga - New South Wales, Australia	5	Uberaba - MG	0,677 - 0,647	10,5
<i>Eucalyptus benthamii</i> Maid. & Camb.	Wentworth Falls - N.S. Wales, Australia	10	Colombo - PR	0,412 - 0,394	4
<i>Eucalyptus botryoides</i> Smith.	Narooma - New South Wales, Australia	5	Pelotas - RS	0,502 - 0,452	9
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn.	Petford - Queensland, Australia	5	Uberaba - MG	0,700 - 0,674	10,5
<i>Eucalyptus cloeziana</i> F. Muell.	S.W. Kennedy - Queensland, Australia	5	Brasilandia - MG	0,686 - 0,674	6,5
<i>Eucalyptus dalrympleana</i> Maiden.	Ben Nevis - Tasmania, Australia	5	Sao Francisco de Paula - RS	0,461 - 0,423	9
<i>Eucalyptus deanei</i> Maiden.	Cessnock - New South Wales, Australia	5	Capao Bonito - SP	0,537 - 0,519	8
<i>Eucalyptus denticulata</i> I.Cook & Ladiges	Bendoc - Victoria, Australia	5	Sao Francisco de Paula - RS	0,484 - 0,454	9
<i>Eucalyptus dunni</i> Maiden.	Moletton - New South Wales, Australia	5	Capao Bonito - SP	0,568 - 0,534	8
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill. Ssp. <i>bicostata</i> (Maiden et al.) Kirkpatr.	Stanley - Victoria, Australia	5	Sao Francisco de Paula - RS	0,489 - 0,461	8
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden.	Atherton - Queensland, Australia	5	Capao Bonito - SP	0,518 - 0,496	8
<i>Eucalyptus microcorys</i> F. Muell.	Coff's Harbour - N.S. Wales, Australia	5	Uberaba - MG	0,653 - 0,625	10,5
<i>Eucalyptus nitens</i> (Deane & Maiden) Maiden	Anembo - New South Wales, Australia	4	Colombo - PR	0,423 - 0,405	4,5
<i>Eucalyptus nova-anglica</i> Deane et Maiden	Ebor - New South Wales, Australia	5	Sao Francisco de Paula - RS	0,458 - 0,434	8
<i>Eucalyptus obliqua</i> L'Her	Ebor - New South Wales, Australia	5	Sao Francisco de Paula - RS	0,435 - 0,397	9
<i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	S. Helenvale - Queensland, Australia	5	Brasilandia - MG	0,618 - 0,590	6,5
<i>Eucalyptus pilularis</i> Smith	Gallangowan - Queensland, Australia	5	Uberaba - MG	0,631 - 0,603	10,5
<i>Eucalyptus propinqua</i> Deane & Maiden	S.W. Casino - New South Wales, Australia	5	Capao Bonito - SP	0,680 - 0,608	8
<i>Eucalyptus regnans</i> F. Muell.	Mt. Loyd - Tasmania, Australia	5	Sao Francisco de Paula - RS	0,473 - 0,455	9
<i>Eucalyptus saligna</i> Smith	Barrengary Mountain - N.S.Wales, Australia	5	Capao Bonito - SP	0,545 - 0,513	8
<i>Eucalyptus seeana</i> Maiden	N. Grafton - New South Wales, Australia	5	Pelotas - RS	0,525 - 0,475	9
<i>Eucalyptus tereticornis</i> Smith	Kennedy River - Queensland, Australia	5	Brasilandia - MG	0,660 - 0,630	6,5
<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T.Blake	Queorema - Timor Portugues	5	Uberaba - MG	0,581 - 0,547	10,5
<i>Eucalyptus viminalis</i> Labill.	Eagle Hawk Neck - Tasmania, Australia	5	Sao Francisco de Paula - RS	0,467 - 0,431	8

SP = Sao Pablo; RS = Río Grande do Sul; MG = Minas Gerais; PR = Paraná; N.S. Wales = New South Wales. Fuente: extraído de Embrapa Florestas, Documento 38, Características de la madera de algunas especies de *Eucalyptus* plantadas en Brasil. Pereira *et al.* (2000).

Para Ribeiro y Zani Filho (1993), la utilización de un mayor número de especies del género en estudios sobre densidad básica de la madera dio inicio al agrupamiento de las mismas siguiendo la similitud de los valores observados. Estos autores citan que Foelkel *et al.* (1975), mostraron que las maderas de *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus saligna* se caracterizaban por presentar valores medios de densidad básica, mientras que *Eucalyptus paniculata*, *Corymbia maculata* y *Corymbia citriodora* expresan valores más altos.

Estos mismos autores, citan que Ferreira y Kageyama (1978), en una revisión de estudios de madera de *Eucalyptus* con edades entre 60 a 84 meses, clasificaron las especies en grupos, donde *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii*, y *Eucalyptus botryoides* se sitúan por debajo de los  $0.5 \text{ gr/cm}^3$ , y *Eucalyptus pilularis*, *Eucalyptus resinifera*, *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus propinqua* en torno de los  $0.5 \text{ gr/cm}^3$ , en cuanto, *Eucalyptus microcorys* y *Eucalyptus cloeziana* presentaron valores superiores a  $0.5 \text{ gr/cm}^3$ .

#### **2.3.4 Variación del peso específico aparente básico dependiendo del sitio de crecimiento**

Según Ribeiro y Zani Filho (1993), las variaciones edafoclimáticas entre lugares de plantación afectarán significativamente la densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis*. Citan los autores que variaciones similares fueron observadas por Albino (1983), y Moraes (1987), en estudios que se desarrollaron en diferentes localidades con la misma especie.

Según Bianchi y Dibarboure (1993), el hábitat natural tiene una gran influencia sobre el peso específico aparente básico de la madera, ya que conociéndose los rangos naturales por especie, a la vez, puede ser reconocido para cada especie el rango de variación en su hábitat natural.

Según Ferreira *et al* (1978), citados por Kageyama *et al*, (1982), en un estudio con *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urophylla*, de diversas edades se observó, que para las tres especies estudiadas, la variabilidad entre árboles dentro de la población es la característica más importante. Esa variación es mucho más importante que las variaciones verificadas entre poblaciones dentro de una localidad o entre poblaciones en localidades diferentes.

Según Bianchi y Dibarboure (1993), los datos promedio de peso específico aparente básico obtenidos en *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) en diferentes lugares mostraron enormes variaciones que van desde los 0,340 a 0,752 g/cm<sup>3</sup>.

Zobel y Talbert (1988), citados por Bianchi y Dibarboure (1993), afirman que si bien es cierto que existen diferencias entre rodales creciendo en diferentes sitios, localidades, áreas geográficas, se ha mantenido en cada caso una gran variación individual en el peso específico aparente básico de un árbol a otro.

### **2.3.5 Variación del peso específico aparente básico con el espaciamiento y la fertilización**

Según Malan y Hoon (1992), los patrones de variación de densidad en árboles de la especie *Eucalyptus grandis*, son significativamente afectados por el grado de supresión que estos experimenten. Esto produce un pronunciado efecto inverso en la uniformidad de la madera por lo cual, a menor supresión en el árbol, mayor es la densidad y el grosor de las paredes de las fibras, por lo que se puede concluir que las prácticas silviculturales que apuntan a acelerar la tasa de crecimiento en *Eucalyptus grandis* no van en detrimento de las

propiedades básicas de la madera, pero si reducen la variabilidad entre árboles, produciendo uniformidad en los rodales, cosa que es muy importante, ya que la falta de esta, es uno de los problemas en las especies comerciales.

Wilkins y Horne (1990), citados por Wilkins (1990), informan que en un rodal de nueve años y medio de *Eucalyptus grandis* se observó una diferencia de densidad de un 11 % mayor en los árboles con fertilización, que los que carecían de esta. Lo mismo concluyeron Du Toit *et al.* (2001), que encontraron un aumento significativo de la densidad básica en *Eucalyptus grandis* de Sudáfrica, donde se observó que los promedios pasaban de 0,448 gr/cm<sup>3</sup> en suelos sin fertilizar a 0,472 gr/cm<sup>3</sup> en los suelos fertilizados para una edad de 8,3 años.

Según Berger (2000), para *Eucalyptus saligna*, tanto la fertilización como el espaciamiento tienen un efecto considerable sobre la densidad básica de la madera, con aumentos de hasta un 4% de un menor a un mayor espacio vital (de 6m<sup>2</sup> a 12 m<sup>2</sup>), con una dosis de fertilizante de 400 kg/ha, y hasta un 5 % para 800 kg/ha. Entre las diferentes dosis de fertilización, para un mismo espaciamiento, la densidad aumentó en 2 % (6m<sup>2</sup>), 3 % (9m<sup>2</sup>) y 4% (12 m<sup>2</sup>).

Ferreira (1968) y Souza *et al.* (1979) citados por Berger (2000), comentan un aumento de la densidad básica en árboles más vigorosos. Es posible, que este aumento sea debido al mayor espesor de las capas de madera formadas recientemente en los árboles pertenecientes a mayores espaciamientos, conforme a lo sugerido por Oda *et al.* (1990). Debido a la competencia, luego de una determinada edad, los árboles pertenecientes a menores espaciamientos tienen menor concentración de madera adulta, ocasionando menores densidades con relación a árboles pertenecientes a mayores espaciamientos.

Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Brasil y Ferreira (1971) y Vital y Della Lucia (1987), citados por Berger (2000), que afirman que la densidad básica no es afectada por el espaciamiento, y Garcia *et al.* (1991), también citados por Berger (2000), que encontraron una disminución de la densidad con el aumento del espaciamiento.

Según Berger (2000), esta divergencia de resultados entre unos y otros autores puede ser debida a diversos factores. Uno de estos puede ser la alta variabilidad genética de las poblaciones originadas a partir de semilla, conforme lo comentado por Ferreira (1968) y Mello *et al.* (1976), entre otros, que puede ocasionar errores no perceptibles y enmascarar la diferencia entre los tratamientos estudiados. En este sentido, Elliott (1970), comenta que aun pueden haber diferencias entre los patrones de muestreo adoptados por cada investigador, además de que ese muestreo haya sido realizado a diferentes edades, ocasionando resultados discordantes debido a la probable asociación de la edad con el grado de competición entre árboles y la densidad básica.

### **2.3.6 Variación del peso específico aparente básico dentro del árbol**

#### **2.3.6.1 Variación del peso específico aparente básico con la altura**

Sturion *et al.* (1986), y Panshin y Zeeuw (1970), citados por Lopes y García (2002), concluyeron que en estudios de variación de la densidad básica en sentido longitudinal, estas pueden darse de forma continuamente decreciente, desde la base hasta la ápice, decreciente hasta el medio del tronco y, a partir de ahí, creciente hasta el ápice, y creciente desde la base hasta el ápice, o también de forma no significativa a lo largo de la altura del fuste. De un modo general se puede decir que el patrón de variación longitudinal no es

constante para las especies de *Eucalyptus*, quedando poco claras las causas que originan esa variación.

Malan (1982) citado por Bianchi y Dibarboure (1993), encontró en *Eucalyptus grandis*, que el gradiente del peso específico aparente básico decrece con los incrementos en altura. Este fenómeno fue visto de forma mas pronunciada en árboles creciendo a altas tasas. El sitio de crecimiento demuestra que tiene un pronunciado efecto en la relación altura densidad. Árboles creciendo a baja tasa producen madera con densidad menor en las partes inferiores del árbol, pero esa densidad decrece desde los 2,4 metros hasta los 4,8 metros dependiendo del nivel del terreno, encontrándose un pronunciado incremento en las partes superiores del árbol. En el caso de árboles creciendo a altas tasas el peso específico aparente básico incrementó gradualmente desde los 2,4 metros hasta los 9,6 metros encontrándose un pronunciado incremento después de los 12 metros de altura.

Panshin y De Zeew (1970) citados por Barrichelo *et al.*, afirman que, en cuanto a la variación longitudinal de la densidad en un árbol, se presentan tres modelos probables:

Modelo 1: Decreciente uniformemente con la altura.

Modelo 2: Decreciente hasta cierto punto y creciente desde ahí hasta la punta del árbol. Algunas veces puede decrecer levemente en las partes superiores del árbol.

Modelo 3: Creciente desde la base hasta la punta, sin obedecer un patrón uniforme de variación.

Seguidamente Barrichelo *et al.* (1982), dicen que el modelo 1 de variación, es observado con mas frecuencia en las especies del género *Pinus*,

mientras que para el género *Eucalyptus* ha sido mas común observar para las especies comerciales una variación como la propuesta por el segundo modelo, o sea, decreciente hasta la región del DAP y creciente a partir de este punto, pudiendo o no decrecer hasta a la punta.

Ferreira (1972) citado por Barrichelo *et al.* (1982), dice que trabajando con *Eucalyptus grandis* en las edades de 11 a 16 años, concluyó que la densidad básica de la madera crecía en sentido de la base hacia la copa siendo esta tendencia común para las diferentes clases de altura estudiadas.

Brasil y Veiga (1977) trabajando con *Eucalyptus propinqua* observaron que la densidad crecía hasta un punto máximo próximo a la mitad de la altura comercial del árbol y decrecía en dirección de la copa. A partir de esto concluyeron que la región de máxima densidad parece estar relacionada a la presencia de madera de reacción, resultante de tensiones provenientes de la fuerza del viento.

Según el National Timber Research Institute (1980), citado por Bianchi y Dibarboure (1993), en una plantación de *Eucalyptus grandis* creciendo en Wilgeboom-Australia, se encontró el mayor valor de peso específico aparente básico cerca de la base del árbol, ocurriendo luego un brusco decrecimiento en dicha característica aproximadamente a los 4,3 m de altura. Posteriormente el peso específico aparente básico crece gradualmente a medida que el tronco crece en altura.

Vieira y Mello (1979) citados por Barrichelo *et al.*, dicen que trabajando con *Eucalyptus grandis* reforzaron la posibilidad de estimar la densidad básica media del árbol a partir de la densidad determinada para discos muestreados al DAP, a través de una ecuación de regresión lineal. Para esta misma especie

Barrichelo *et al.*, (1980), llegaron a conclusiones similares para muestras retiradas de poblaciones con edades de entre 5 a 10 años.

Según Barrichelo *et al.* (1982), la tendencia de la densidad media aritmética, es subestimar o sobrestimar la densidad media real (ponderada), dependiendo de la especie y conicidad de los árboles. De esta forma, los resultados muestran un valor sobrestimado para *Eucalyptus globulus ssp. globulus* y para *Eucalyptus grandis*, mientras que muestra un valor subestimado para *Eucalyptus saligna*.

Según Raymond (1995), la relación entre peso específico aparente básico, altura del árbol y volumen, no es muy clara con correlaciones que varían en el rango de – 0.67 a 0.47.

### **2.3.6.2 Variación del peso específico aparente básico en sentido radial**

Paul B.H. (1963) citado por Tuset y Duran (1979), estudio para latifoliadas las correlaciones existentes entre el tipo de porosidad y el peso específico aparente básico, determinando para latifoliadas de porosidad circular y semicircular que el peso específico aparente básico disminuye cuando disminuye el ancho de los anillos de crecimiento. En porosidad difusa (*Eucalyptus grandis*), encontró diferencias entre latifoliadas semi-duras, donde el peso específico aparente básico aumenta con el ancho de los anillos de crecimiento y las latifoliadas blandas donde esa propiedad disminuye cuando aumentan estos. La madera con anillos de ancho intermedio resulto ser la de mayor peso específico.

Brown *et al.* (1952), citado por Tuset y Duran (1979), señala que la variación de la característica en estudio no esta relacionada con el ritmo de

crecimiento expresado por el ancho de los anillos, siendo el porcentaje del leño tardío un índice del peso específico más confiable que el anterior.

Malan y Arbuthnot (1995), dicen que la densidad de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) varia considerablemente entre y dentro de los árboles. En árboles maduros la densidad se incrementa rápidamente desde la medula hasta la corteza, pero en árboles jóvenes de rápido crecimiento estos gradientes de densidad no existen. Sin embargo existen marcadas diferencias entre leño temprano y tardío, haciendo a la madera extremadamente variable dentro del árbol.

Shikaputo *et al.* (1986), citado por Bianchi y Dibarboure (1993), determino para *Eucalyptus grandis*, que la densidad básica presenta en la dirección radial un decrecimiento inicial desde el centro hacia fuera, viéndose posteriormente un incremento hacia la corteza.

Diversos autores prueban que existe un incremento en el peso específico aparente básico desde la medula hacia la corteza en muchas especies de *Eucalyptus*, como el *Eucalyptus camaldulensis* (Chudnoff, 1961), *Eucalyptus grandis* (Ferreira, 1972; Hans *et al.*, 1972; Brasil *et al.*, 1979; Malan 1989), *Eucalyptus robusta* (Skolmen, 1972), *Eucalyptus regnans* (Frederick *et al.* 1982). Este fenómeno es típico de especies de rápido crecimiento, con abundante madera juvenil.

López y Staffieri (2003), observaron en un estudio para *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis*, un gradiente entre medula y corteza, que es de 29,5 % para el primero y 27,6 % para el segundo, indicando según estos, para *Eucalyptus grandis*, una madera con una densidad mas homogénea a nivel radial.

Benson (1963), citado por Brasil *et al.* (1979), señaló que en latifoliadas la porosidad puede indicar la variación de la densidad en sentido radial, ya que en las especies con porosidad dispuesta en anillos concéntricos, la tendencia de la densidad es decrecer en sentido radial, desde la medula hacia la corteza, pero el fenómeno parece no ser típico para aquellas especies con porosidad difusa (como el género *Eucalyptus*). En cambio, Brasil y Ferreira (1972) citados por Brasil *et al.* (1979), encontraron un aumento de la densidad básica en el sentido medula-corteza, en árboles como el *Eucalyptus grandis*.

### **2.3.6.3 Variación del peso específico aparente básico con la velocidad de crecimiento**

Según Malan (1991), citado por Xavier *et al.*, (1997), la tasa de crecimiento no afecta, de forma significativa, las propiedades de la madera, pero, hay una pequeña correlación genética negativa entre tasa de crecimiento con densidad básica de la madera y compresión de la fibra.

De Bell *et al.* (2001), citan también, que es difícil correlacionar la densidad de la madera con la tasa de crecimiento, y se observan resultados contradictorios, lo cual puede indicar la falta de correlación entre ambas variables.

Van Buijtenen (1969), citado por Brasil *et al.* (1991), encontró que para algunas especies del género *Pinus*, el ritmo de crecimiento y el peso específico están fuerte y negativamente correlacionados.

Según Malan (1991), y Malan (1988), estudios hechos por el mismo demuestran una alta y significativa correlación genética entre la tasa de crecimiento con la densidad y el largo de fibra, lo cual sugiere que el

seleccionar por mayor tasa de crecimiento puede ser perjudicial para estas dos propiedades. Un decrecimiento en el largo de fibra puede tener un indeseable efecto en la calidad del papel, mientras que una disminución de la densidad de la madera, reducirá la fortaleza de esta, cambiará su comportamiento durante el secado, su rendimiento de pulpa y varias otras propiedades físicas de la madera.

Klem (1968) citado por Brasil *et al.* (1991), afirma para coníferas, que existe una correlación negativa entre el ritmo de crecimiento y el porcentaje de leño tardío, lo cual explica la reducción del peso específico de la madera formada sobre condiciones de rápido crecimiento.

Brasil (1972), citado por Brasil *et al.* (1979), verificó en un estudio sobre *Eucalyptus propinqua* de 5 años de edad para dos localidades del estado de Sao Paulo, que en la región donde el ritmo de crecimiento era menor, los valores de densidad básica fueron superiores a los de la zona de mayor crecimiento.

Según Ribeiro y Zani Filho (1993), las variaciones de la densidad básica pueden estar asociadas al ritmo de crecimiento del árbol. Estos autores anteriores, citan que Albino (1983), estudiando la densidad básica de doce especies de *Eucalyptus*, verificó que, en los lugares donde las especies presentaban mayor crecimiento, los valores de densidad básica fueron menores. Resultados semejantes fueron obtenidos por Moraes (1987) en un estudio sobre la variación genética de la densidad básica de la madera y características de crecimiento en progenies de *Eucalyptus grandis* instaladas en tres localidades del estado de Sao Paulo.

En cambio, Stöhr y Mackay (1983), citados por Achugar y Scaglione (2003), comparando árboles de 14 años con iguales situaciones de manejo en un mismo sitio, observaron que los árboles de menor crecimiento muestran una clara tendencia a exhibir menor densidad básica. Destacan que los árboles de crecimiento rápido muestran mayores valores de densidad en todas las alturas muestreadas, ya que los patrones de variación vertical no presentan diferencias asociadas a la velocidad de crecimiento.

Malan y Hoon (1992), observaron que la densidad básica, tiende a aumentar en árboles de mayor crecimiento, argumentando que árboles creciendo más libremente producen madera adulta a edades más tempranas. Concluyen que acelerar la velocidad o tasa de crecimiento no tiene efectos perjudiciales en las propiedades básicas de la madera, y además reducen la variación de las mismas dentro del árbol.

Según Vigneron, *et al.* (1995), la densidad básica se incrementa significativamente con el crecimiento (para cierta edad). A más rápido crece el árbol, entonces más densa será la madera. Sin embargo este aumento en densidad no es muy alto. El paralelismo entre el incremento sistemático de la densidad con el diámetro (para cierta edad), muestra que un mayor crecimiento no disminuye la densidad sino que la incrementa, cualquiera sea la edad de rotación. El mismo autor cita, que muchos autores han mostrado interés en los efectos del crecimiento sobre la densidad básica en *Eucalyptus*, particularmente en *Eucalyptus grandis* (Malan, 1988, 1991). Los resultados no son consistentes, yendo desde correlaciones fuertemente negativas (Schonau, 1974), a fuertemente positivas (Bhat *et al.*, 1990). La inconsistencia de los resultados puede probablemente deberse a la confusión a escala individual de los efectos ambientales y genéticos.

#### **2.3.6.4 Variación del peso específico aparente básico con la edad del árbol**

Según Ferreira (1972), y Foelkel *et al.*, (1983), citados por Lima *et al.*, (2001), estudios con árboles a partir de semilla, mostraron que la densidad de la madera de las especies de *Eucalyptus* se incrementa con la edad del árbol.

Vital *et al.* (1984) y Kollmann *et al.* (1975), citados por Lopes y Garcia (2002), concluyen que cuanto más viejo es el árbol, entonces mayor es su densidad básica, y que este aumento es debido al espesamiento de las paredes de las fibras y de la deposición de extractivos. Concluyen lo mismo Sturion *et al.*(1986), Albino (1983), Mendes *et al.* (1983) y Ferreira (1972), citados por Lopes y García (2002), así como también Malan (1991), en lo referente al aumento de densidad básica con un aumento de la edad.

Malan (1991), afirma que el aumento de densidad con la edad, se debe a los efectos combinados del incremento en diámetro de la fibra, así como un decrecimiento en el tamaño de los lúmenes, por un engrosamiento de la pared celular.

En un estudio de cinco especies del género *Eucalyptus*, Backman y García De León (2003), encontraron que para todas las especies, la densidad básica de la madera se incrementa con la edad (para *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus dunnii* de un 9 a 11 %, mientras que para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y *Eucalyptus benthamii* menos de un 7 %). Esto tiene que ser tomado en consideración cuando, se trata de predecir la densidad básica de la madera de árboles al final de la rotación, basándose en información obtenida de árboles mas jóvenes (media edad de rotación en este caso).

Panshin y Zeeuw (1970) citados por Lopes y Garcia (2002), relatan que es difícil determinar una influencia directa de la edad del árbol sobre la densidad básica de la madera. Los posibles efectos de la edad son frecuentemente enmascarados por las condiciones ambientales durante el ciclo de vida del árbol. Mencionan que determinadas especies, de acuerdo con las condiciones ambientales a que están sometidas, pueden presentar un aumento o disminución de la densidad básica en función de la edad. Afirman, con todo esto, que la edad del árbol aisladamente e independientemente de las condiciones ambientales, no afecta a la densidad básica de la madera.

Lopes y García (2002), para *Eucalyptus saligna* constataron la tendencia de aumento de la densidad básica en función de la edad del dosel, pero se observó también que ocurre un decrecimiento de la tasa de crecimiento de la densidad básica de la madera, en función de la edad de la población.

Ferreira *et al.* (1979), encontraron un aumento significativo de la densidad en función de la edad de las plantaciones, para *Eucalyptus grandis*.

Ferreira y Kageyama (1978) citados por Ribeiro y Zani Filho (1993), constataron un aumento de la densidad básica de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus propinqua* entre las edades de 5 a 11 años. Para *Eucalyptus grandis* en cambio, el aumento fue menos pronunciado, según los mismos autores.

Barrichelo y Brito (1979) citados por Ribeiro y Zani Filho (1993), observaron que la densidad básica aumenta hasta una cierta edad, cuando prácticamente se estabiliza (aunque los autores no nombran a que edad ocurre esto).

Lima *et al.*, (2001), afirman que debido a que la densidad básica varía con la edad, es importante el conocer la magnitud y la significancia de esta correlación a diferentes edades. La posibilidad de medir densidades a edades tempranas, puede significar un aceleramiento de los programas de mejoramiento para esta característica.

#### **2.3.6.5 Variación del peso específico aparente básico con la humedad de la madera**

Lopes y García (2002), afirman, que otra propiedad de elevada importancia para la determinación de calidad de madera, es la humedad natural de esta, o sea, la humedad de la madera de árboles vivos, expresada como la relación entre el peso de agua contenida en la madera recién apeada, y el peso seco de esa misma madera. Además afirman, que es obvio, que la humedad de saturación total de la madera sea inversamente proporcional a su peso específico aparente básico o densidad básica, y que la correlación entre estas dos variables sea significativa, esto es, especies más densas deben poseer menor tenor de humedad en su madera.

Foelkel *et al.* (1983) citados por Lopes y García (2002), demostraron que la densidad básica se correlaciona de forma lineal e inversamente proporcional con el máximo tenor de humedad de la madera.

Busnardo *et al.* (1983), citados por Lopes y García (2002), encontraron resultados que indican una correlación inversa, altamente significativa, entre esas dos propiedades. Afirman que en una madera de densidad básica más elevada, habrá menos espacios vacíos a ser ocupados por agua. Concluyeron que es posible estimar la densidad básica de la madera, por la determinación del tenor de humedad de esta en el árbol vivo (humedad natural). Mencionan

también, la importancia de la determinación de la humedad natural, observándose las fluctuaciones a lo largo del año.

García y Lima (1990), citados por Lopes y García (2002), constataron en *Eucalyptus grandis* y *Pinus oocarpa*, una variación altamente significativa y correlación inversa entre la densidad básica y la humedad natural de la madera. Árboles de *Eucalyptus grandis* con densidad básica en el entorno de 0,40 g/cm<sup>3</sup> presentaron una humedad natural de 72,89%, y árboles con densidad básica en el entorno de 0,38 g/cm<sup>3</sup> presentaron una humedad natural que varía entre 101,58 a 123,89 %. Concluyen finalmente, que los árboles seleccionados en programas de mejoramiento para altas densidades, deben presentar menores tenores de humedad natural. Comentan además, la posibilidad de selección de individuos por la característica humedad, dentro de una población ya seleccionada por la característica peso específico aparente básico.

## **2.4 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO APARENTE**

### **2.4.1 Utilización del Pilodyn en la determinación del peso específico aparente básico**

Greaves *et al.*, (1995), define al Pilodyn como un instrumento portátil que maneja con fuerza conocida, una aguja acerada de alta precisión que se introduce en la muestra de madera. La profundidad de penetración es leída directamente en una escala en la parte superior del instrumento. Este dispositivo, fue originalmente desarrollado para dar un grado de pudrición blanda en columnas de transmisión de energía eléctrica y en durmientes de vías de tren en servicio, pero ha mostrado ser muy prometedor como método de medición indirecta, de la densidad de la madera en árboles en pie.

Rojas *et al.*, (1993), definen al Pilodyn como un instrumento portátil (pistola) que mide indirectamente la densidad de la madera de los anillos exteriores de árboles en pie a través del impacto de una aguja de acero en la madera. La profundidad de penetración de la aguja esta inversamente correlacionada con la densidad de la madera y se expresa en milímetros.

Nicholls (1985), presenta el método del Pilodyn (evaluado y utilizado en este trabajo final), creado por Hoffmeyer (1978), el cual consiste en introducir un cilindro romo en la madera mediante un resorte cargado, estimando la densidad a través de la profundidad de penetración del cilindro. En la práctica la corteza es removida del lugar donde se va a realizar el ensayo.

Según Greaves *et al.*, (1995), el muestreo con Pilodyn es mas barato y menos destructivo que la directa medida de densidad, permitiendo un gran número de medidas y una mayor intensidad de selección que la medida directa, resultando en una alta ganancia esperada.

Da Silva y Brune (1982), afirman que el Pilodyn puede ser utilizado con éxito en la selección masal de árboles en futuros programas de mejoramiento genético de esta característica (densidad), pues su facilidad y rapidez de utilización favorece una gran economía de tiempo, además de no perjudicar el desenvolvimiento del árbol. Estos mismos autores verificaron que el modelo lineal simple es el que mejor se ajusto para todas las especies estudiadas. Reportaron precisiones medias de estimación de la densidad al DAP y la densidad promedio en *Eucalyptus urophylla* ( $r^2 = 0,70$  y  $0,79$ , respectivamente), y *Eucalyptus grandis* ( $r^2 = 0,45$  y  $0,62$  respectivamente), y precisiones bajas en *Corymbia citriodora* ( $r^2 = 0,44$  y  $0,51$  respectivamente), y *Eucalyptus saligna* ( $r^2 = 0,50$  y  $0,44$ , respectivamente).

Greaves *et al.*, (1995), dicen que el costo relativo del uso del Pilodyn como método de estimación de la densidad de la madera, en comparación con el sacar un disco al DAP y estimar su densidad con métodos tradicionales, es 13.5 tiempos mas barato (en recursos humanos), y asumiendo dos observaciones de Pilodyn por árbol.

Según Böthig (2001), si se toma en cuenta que con el Pilodyn las lecturas tienen una apreciación de 1 milímetro, es muy importante la sensibilidad del método. El hecho de que a densidades menores, la sensibilidad del método sea más alta, y por lo tanto el mismo cambio en la densidad provoque mayores variaciones en la profundidad de penetración, implica que en el rango de menores densidades las medidas de Pilodyn sean más aceptables. La incertidumbre esperada para el rango de mayores densidades será entonces mayor. Este límite entre densidades es considerado en los  $0,45 \text{ g/cm}^3$ .

Greaves *et al.*, (1995), dicen que ha habido pocos estudios en *Eucalyptus* pero las correlaciones genéticas entre Pilodyn y densidad has sido consistentemente altas (Dean *et al.*, (1990): -0.93 en *Eucalyptus globulus*, Greaves *et al.*, (1995): - 0.84 en *Eucalyptus nitens*).

Raymond (1995), revisando las correlaciones genéticas y fenotípicas citadas en la bibliografía entre la penetración del Pilodyn y la densidad básica, señala valores de 0,61 a 0,93 y 0,48 a 0,72, respectivamente, indicando que existe una fuerte correlación negativa entre ambos parámetros tanto a nivel genotípico como fenotípico.

Greaves *et al.*, (1995), estima una repetibilidad para penetración con Pilodyn de 0.73, sugiriendo que solo unas pocas medidas por árbol son requeridas para obtener un realista indicador de este valor fenotípico. Además,

citan los mismos autores, que la alta heredabilidad y repetibilidad para la penetración con Pilodyn, sugiere que dos observaciones son suficientes para la selección individual de árboles: dos observaciones resultan en un incremento en efectividad de selección sobre una simple observación, del 8 %, mientras que tres observaciones resultan en un posterior incremento en efectividad de solo el 3 %. Por lo tanto, concluyen los autores, dos observaciones por árbol proveen 94 % de la efectividad máxima de selección obtenible.

En lo referente al punto de muestreo con el Pilodyn, se toma generalmente al DAP, pero Greaves *et al.*, (1995), dicen que sin embargo, la densidad es conocida por variar considerablemente dentro del árbol y la relación puede no alcanzar para la predicción de toda la densidad del árbol. En el estudio de estos autores afirman que observaron una fuerte relación lineal ( $r^2 = 0.93$ ), entre densidad a 1,3 m de altura y toda la densidad del árbol. Este resultado sugiere que discos de densidad a 1,3 m de altura son un preciso estimador de toda la densidad del árbol, siendo relativamente independiente de la familia y el sitio.

Finalmente, concluyen Greaves *et al.*, (1995) que la medición de densidad por Pilodyn no rinde mucha ganancia en densidad como la selección directa, pero es considerablemente mas barato, y una mucho mayor intensidad de selección puede ser aplicada a un menor costo. Es por esto, que la ganancia esperada por unidad monetaria gastada en mediciones, es mayor en la selección con Pilodyn. Además, lo destructiva que es la medición directa de densidad puede estorbar y afectar a la selección individual, y en tal caso, las ganancias obtenidas con el Pilodyn exceden bastante a las esperadas por medición directa de la densidad.

#### **2.4.2 Otros métodos de determinación del peso específico aparente básico**

Según Tuset y Duran (1979), el peso específico aparente toma en consideración el volumen y el peso de la madera con poros, estos valores son medidos en diversidad de condiciones, según los países, es importante hacer constar en que condiciones de humedad se determinaron ambos.

En EEUU por ejemplo, se utiliza el peso de la madera en estado anhidro, mientras que el volumen se mide en condición anhidra, a 12 % de humedad, y en estado verde. En Australia, Francia y Brasil, se mide el peso y el volumen al mismo tenor de humedad. Es importante destacar que la humedad de la madera influye tanto en su peso como en su volumen aunque este último solo varía entre el 0 y el 30 %, que son los límites dentro de los cuales se producen los fenómenos de contracción e hinchamiento de la madera. Dentro de las diversas expresiones del peso específico aparente, deben preferirse aquellas cuyas condiciones sean fácilmente reproducibles como:

$$Pa = Ga / Va ; \quad Pb = Ga / Vb ; \quad Pc = Ga / Vc$$

Donde:

Pa = Peso específico aparente anhidro.

Pb = Peso específico aparente básico.

Pc = Peso específico aparente corriente.

Ga = Peso de la madera anhidra.

Va = Volumen de la madera anhidra.

Vb = Volumen de la madera en estado verde.

Vc = Volumen de la madera a 12 % de humedad.

Según el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (1970), citado por Bianchi y Dibarboure (1993), para lograr que la madera pierda toda su humedad, debe secársela en estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  (no mas de  $110^{\circ}\text{C}$  y no menos de  $100^{\circ}\text{C}$ ), hasta llegar a un peso constante.

El volumen por lo tanto, y según el Departamento de Construcción Civil de la Universidad Católica del Norte (Chile, 2004), se puede determinar por alguno de los siguientes métodos:

- Por medición directa, que es un método aplicable a probetas de cualquier tamaño, de forma regular, cuyas esquinas presenten ángulos rectos y cuyas superficies sean lisas, por lo cual se miden su volumen mediante el uso de formulas matemáticas.
- Por inmersión en agua, el cual es un método aplicable a probetas de forma irregular o superficie rugosa. La madera seca debe sellarse previamente sumergiendo la probeta en cera parafina caliente. En madera verde no es necesario el sellado. A continuación se coloca la probeta en un recipiente de volumen conocido y agregar agua hasta llenar el recipiente. Se saca la probeta del agua y se calcula el volumen remanente (desplazamiento de agua), o también se puede hacer, pero por diferencia de peso con agua destilada.
- Por inmersión en mercurio, es el otro método y es aplicable a probetas de tamaño reducido, de cualquier forma, densidad y contenido de humedad. No es necesario sellar la probeta con parafina, excepto si presenta poros o huecos muy abiertos en los cuales podría quedar atrapado mercurio,

provocando una medición errónea. El procedimiento es igual al de inmersión en agua.

Smith D. M. (1961), citado por Bianchi y Dibarboure (1993), describe el método de la balanza hidrostática, que se basa en el principio de Arquímedes. Dicho método es de gran utilidad para la determinación del peso específico en madera chipeada o de forma irregular. Los errores posibles causados por este método son debidos a las burbujas de aire que pueden quedar adheridas a la superficie rugosa, a la humedad remanente, al agua absorbida por la madera, y a la temperatura del agua.

Foelkel *et al.* (1971), describe el método desarrollado por Smith D. (1954), para calcular la densidad básica de la madera, el cual se denomina “Método de máximo tenor de humedad”, y el cual afirma que la densidad básica de la madera esta dada por la expresión:

$$D_b = \frac{1}{((P_m - P_{as})/P_{as}) + (1/G_s)}$$

Considerando que:

$P_m$  = peso al aire de la muestra saturada después de la remoción del agua superficial;  $P_{as}$  = peso anhidro;  $G_s$  = Densidad de la sustancia madera (se asume una densidad de 1,53 gr/cm<sup>3</sup>).

Según Foelkel *et al.* (1971) citando a Stamm (1964), la posibilidad de error con el método anterior sería el asumir que la densidad de la sustancia madera como 1.53 gr/cm<sup>3</sup>, cuando la misma varía entre 1.50 y 1.55 gr/cm<sup>3</sup>, y otra dificultad es la de conseguir la completa saturación de las muestras con

agua en ciertos casos. Para evitar este problema se utiliza un vacío de 125 mm de Hg, intermitentemente durante 5 días.

Nicholls (1985), describe el método del torcómetro creado por Paulge y Keller en el año 1970, el cual consiste en girar un taladro a una profundidad conocida en el tronco del árbol midiendo la fuerza necesaria para efectuar esta operación con un torcómetro de mano. Esta fuerza y profundidad esta relacionada con la densidad de la madera. Una crítica a este método es lo trabajoso de este método, al introducir el operario una mecha de 5 mm de diámetro a una de 38 mm dentro del árbol. Este método presenta la ventaja de obtener una buena correlación entre lectura del torcómetro y la densidad ( $R = 0.94$ ), para *Pinus radiata*, pudiéndose estimar la densidad de la madera con un 95 % de confianza. Otro método citado por este autor es el desarrollado por Mack (1979), para la estimación del peso específico aparente básico, basándose en la relación empírica que hay entre la fuerza requerida para apartar una garra introducida paralela al grano de un trozo de madera verde en función de la densidad de la madera. El aparato consta de una garra, una bomba y un torcómetro con el cual se mide la máxima fuerza necesaria para retirar la garra. Este método es bastante preciso y rápido en la medición.

## **2.5 IMPORTANCIA DEL PESO ESPECÍFICO EN LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL**

La densidad es un índice de calidad de madera que esta íntimamente asociado a las propiedades mecánicas y otras propiedades físicas de la madera. Es un factor determinante de su aptitud para la industrialización. Además se puede predecir el comportamiento de una madera frente a distintos esfuerzos a partir de la densidad, si se considera el efecto negativo de la

presencia de ciertos defectos como nudos, corazón esponjoso o madera de tensión, Böthig (2001).

Foelkel *et al.* (1971), afirman que para la industria de celulosa y papel la densidad es encarada sobre los siguientes aspectos:

- a) La madera es usualmente comprada en volumen, pero en su procesamiento es deseable conocer su peso seco para el adecuado control de las operaciones industriales.
- b) Es un importante factor a ser considerado en la producción de celulosa obtenida de una determinada madera, tanto en términos de rendimiento por digester individual como rendimientos por unidad de volumen.
- c) Su uniformidad dentro de una madera dada es deseable para la obtención de un producto final valorizado.
- d) La velocidad de impregnación de la madera por el licor de cocción y el consecuente ritmo de deslignificación son influenciados por la densidad, siendo esperable que dentro de una misma especie, maderas menos densas sean mas fácilmente deslignificadas y desfibradas.

Lo mismo que lo anterior es lo que dice Malan *et al.*, (1994), donde afirman que la capacidad de desfibrado muestra una relación inversa con la densidad de la madera. Los mismos autores dicen que la tensión del papel es determinada por la fuerza de la fibra y su cohesión. Es claro que la tensión y su fuerza se correlacionan fuerte y negativamente con la densidad de la madera, sugiriendo que la tensión y su fuerza en el papel producida por la madera de

*Eucalyptus* esta fuertemente determinada por la habilidad de la fibra a colapsar y formar fuertes ligamientos interfibras.

Tanto Arbuthnot (1991), como Du Plooy (1980), Male y Venter (1992), y Malan *et al.*, (1994), citados por Malan y Arbuthnot (1995), afirman que la densidad básica es el mayor determinante de las propiedades para hacer pulpa y papel. Todos encontraron excelentes correlaciones negativas entre densidad y propiedades del papel como la capacidad de desfibrado y tensión del papel así como también la densidad de la hoja. Por lo cual la densidad básica o peso específico aparente básico es uno de los componentes más importantes del valor económico de la producción de pulpa de *Eucalyptus*.

Zobel (1977) citado por Kageyama *et al.*(1982), argumenta, que la calidad de la madera va ganando cada vez mas importancia, principalmente cuando se trata de bosques de rápido crecimiento. Además, la importancia de la calidad de la madera es mayor cuando las rotaciones cortas son utilizadas. En muchos casos, la aceptación o rechazo de un producto por el mercado, puede ser directamente relacionada a los bajos valores de densidad básica. Para algunos productos, es deseable alta densidad básica de la madera, mientras que para otros esta debe ser baja. La utilización de la densidad básica de la madera como parámetro de calidad viene adquiriendo cada vez más importancia, al punto de ser definidos programas de mejoramiento específicos, dependiendo de la utilización final de la madera. Por otra parte, Malan y Arbuthnot (1995), citan que la densidad de la hoja se correlaciona bien y negativamente con la densidad de la madera. La habilidad de las células para colapsar o aplanarse permite una mejor adherencia entre las fibras, incrementando la densidad de la hoja, lo cual depende fuertemente del grosor de las paredes celulares, algo que esta altamente relacionado con la densidad de la madera.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 MATERIALES**

##### **3.1.1 Instrumentos**

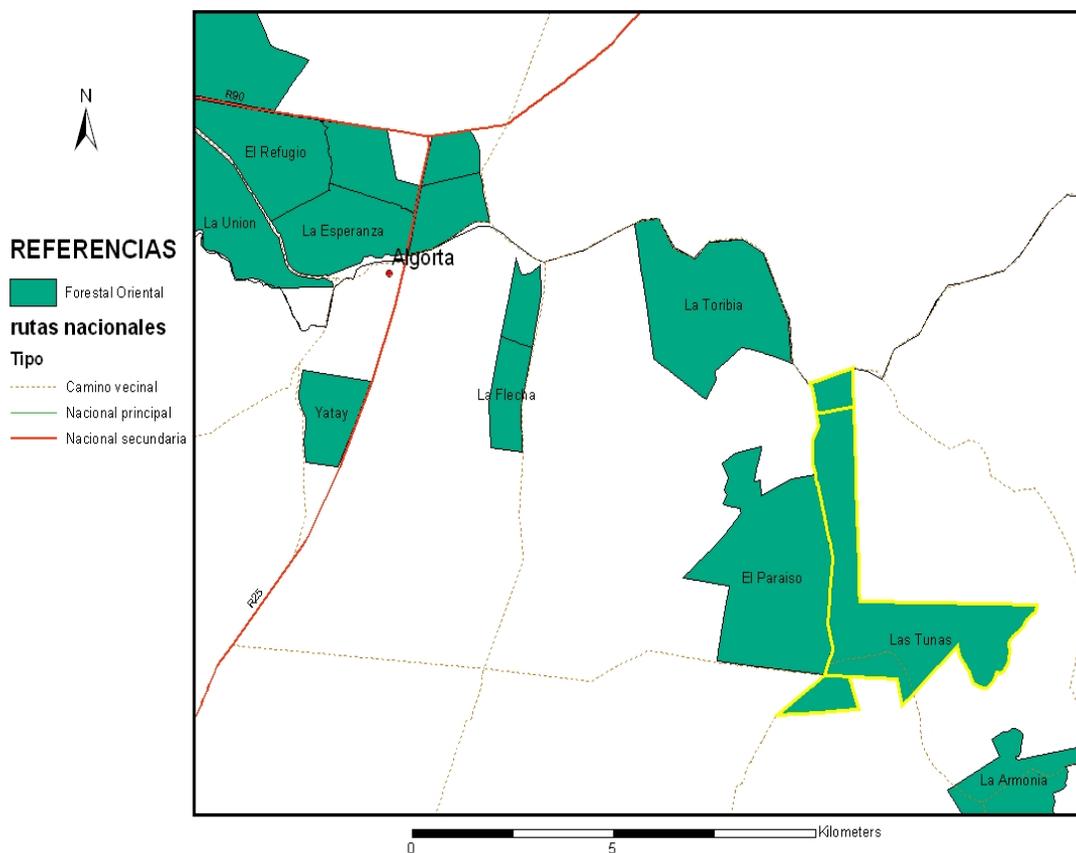
Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Balanza electrónica de precisión (0,01 gr.) marca Sartorius.
- Forcípula metálica.
- Pilodyn modelo 6J Forest.
- Motosierras (dos) marca Sthil, Modelo 036.
- Cinta métrica de 30 metros de largo.
- Estufa de secado, máximo 300 °C (+-5°C), sin marca.
- Estufa de secado, máximo 300 °C (+-5°C), marca Heraeus (Alemana).
- Agua destilada.
- Envase plástico de 15 litros.
- Marcadores permanentes de color negro.
- Base pivotante casera para sumergir discos, con punzón desmontable.
- Bolsas de polietileno herméticas.

### 3.1.2 Características del sitio y material experimental

Las parcelas seleccionadas para hacer el muestreo se encuentran ubicadas en los predios de FOSA, “Las Tunas” ubicado a unos 15 kilómetros al Este de la localidad de Algorta en el departamento de Río Negro y “La Unión”, ubicado en la ruta 90 cercano también a la localidad antes mencionada a aproximadamente 50 kilómetros de la ciudad de Paysandú y en el departamento de Paysandú, con una altitud menor a 100 metros, para ambos casos. En la próxima figura se puede observar un mapa de la zona, donde se encuentran los predios anteriormente mencionados.

**Figura N° 2. Mapa de ubicación de los predios de FOSA en donde se hizo el muestreo.**



### **3.1.2.1 Características climáticas**

Para las características ambientales, Malan (1991), señala a las precipitaciones como una variable que posee un gran efecto sobre la densidad básica en aquellos árboles en los que se observa una alta interacción genotipo ambiente para dicha propiedad.

El clima de la zona se caracteriza por tener una temperatura anual media cercana a los 18°C, una temperatura promedio en la estación mas fría en el entorno de los 12°C, y 26°C en la estación más cálida. Los días con heladas son entre 25–30, y los valores de precipitaciones medias anuales en el rango de 1000 a 1300 mm.

### **3.1.2.2 Características edafológicas y geológicas**

Los rodales de los cuales se extrajeron las muestras, se ubican geográficamente dentro de la unidad de suelos correspondiente a Algorta según la carta de reconocimiento de suelos a escala 1:1.000.000 (Uruguay -MGAP, 1976). Los suelos pertenecen a la zona 9 de CIDE, Grupo CONEAT 9.3. Los suelos predominantes corresponden a Argisoles Dístricos Ocrícos Abrúpticos a veces Típicos y como suelos asociados existen Brunosoles Subéutricos, a veces Dístricos Típicos y Lúvicos, de color pardo muy oscuro, textura franco arenosa, fertilidad media y drenaje moderadamente bueno a imperfecto.

El color de los horizontes superiores es pardo grisáceo oscuro, la textura es arenoso franca y son de fertilidad baja e imperfectamente drenados.

Según Bossi y Navarro (1988), el material geológico correspondiente a los sitios de muestreo se corresponde con la Formación Asencio, la cual se

desarrolla ampliamente en los departamentos de Soriano, Río Negro, Paysandú, Durazno, Flores, Florida y Canelones. Esta compuesta principalmente por areniscas de color rosa pálido a blanco, de grano fino, generalmente redondeado, con cemento arcilloso illítico o calcáreo. Estas areniscas constituyen las rocas resultantes de la sedimentación y litificación originales, de los que resultan rocas con poca resistencia mecánica a consecuencia de lo cual se desagregan y erosionan con suma facilidad.

Los granos son redondeados y subredondeados, el feldespato esta generalmente alterado y aumenta su proporción en las fracciones mas finas. Existe un proceso de ferrificación generalizado y casi especifico de esta formación.

### **3.1.2.3 Características del material de muestreo**

Los árboles muestreados provienen de semilla de FOSA, siendo los de 4 años de huerto semillero, mientras que los de 8 años de un área de producción de semilla.

Para ambos casos el marco de plantación es de 3 x 2 m (1666 plantas/ha), con una preparación similar, que consiste en dos pasadas de excéntrica y dos de rotovador.

Se hace control de malezas en las filas de plantación así como también en las fajas entre filas. La fertilización consiste en 60 gramos de mono amino fosfato por planta.

## **3.2 MÉTODOS DE TRABAJO**

### **3.2.1 Trabajo de campo**

Para el trabajo de campo se contó con la ayuda de personal de FOSA, y el transporte a los lugares de muestreo estaba también a cargo de la empresa.

El trabajo de campo consistió en el apeo de 50 árboles, 25 de los cuales eran de mitad de turno (4 años) y los restantes 25 de turno final (8 años). La elección de los ejemplares a ser apeados, se hizo de los árboles co-dominantes del rodal, los cuales una vez seleccionados, se les asignó un número de identificación y se les midió el DAP con corteza, con una forcípula.

Como se puede observar en la figura N° 3, al árbol seleccionado se le hicieron tres mediciones de Pilodyn al DAP (evitando nudos y deformaciones de crecimiento que distorsionaran la medición) lo más equidistantes posibles (120° una de otra) en la circunferencia del tronco, con un descortezado previo y medición del espesor de corteza en los puntos de medición. A continuación de esto se procedió a apear el árbol.

**FIGURA N°3. Utilización del Pilodyn en los árboles seleccionados.**



El árbol ya apeado se marcó con marcador negro cada un metro (a los 4 años) o dos de distancia (a los 8 años) desde la base hasta la altura comercial, y con una cinta métrica se midió tanto la altura comercial (altura en la cual el diámetro con corteza es igual a 8 cm.), como su altura total. Luego, se les sacó un disco de aproximadamente una pulgada de espesor cada un metro de distancia, a los árboles de 4 años de edad, hasta la altura comercial. A los

árboles de 8 años se les sacaba un disco del mismo espesor que los anteriores, pero cada dos metros de distancia hasta la altura comercial.

**FIGURA N°4. Árbol apeado con discos descortezados y numerados.**



Finalmente los discos, se descortezaban y se marcaban, numerándolos según el árbol y su posición en él (observar figura N°4). Los primeros 25 árboles son de 4 años de edad, mientras que desde el árbol 26 al 50 son de 8 años.

La numeración del disco me indica la altura y el árbol al que pertenece, así como también la edad de este árbol. Por lo cual, a modo de ejemplo, si

tenemos el disco 2.4, esto indica que este disco se encuentra a 4 metros de altura, del árbol número 2, que tiene una edad de 4 años.

En ambas edades también se sacó un disco al DAP para cada árbol al cual es importante recalcar, se le media el espesor de corteza. Este disco esta marcado como N° árbol . DAP, y es del mismo espesor que los anteriores. De esta forma se totalizan unos 731 discos de los cuales 418 discos pertenecen a los árboles de 4 años, y 313 discos pertenecen a los árboles de 8 años. Esto se puede ver en el cuadro N° 3 donde se da la información pertinente al número de discos por árbol y total por edad.

Finalmente como se puede observar en la figura N° 5, los discos se ordenaban según al árbol al que pertenecían, se les midió el diámetro sin corteza en 2 medidas perpendiculares (que luego se promediaban), se embolsaron en grupos de 2 a 4 árboles, y se enviaron a Montevideo para continuar con el trabajo de laboratorio.

**Cuadro N° 3. Número de discos extraídos por árbol, para ambas edades.**

<b>Árboles de 4 años.</b>		<b>Árboles de 8 años.</b>	
<b>Árbol N°</b>	<b>N° muestras</b>	<b>Árbol N°</b>	<b>N° muestras</b>
1	16	26	12
2	16	27	14
3	17	28	13
4	16	29	13
5	15	30	13
6	16	31	14
7	15	32	12
8	17	33	13
9	16	34	12
10	17	35	12
11	17	36	13
12	16	37	12
13	16	38	13
14	15	39	12
15	18	40	13
16	18	41	12
17	19	42	13
18	18	43	12
19	17	44	12
20	16	45	12
21	17	46	11
22	16	47	12
23	18	48	12
24	18	49	13
25	18	50	13
<b>Total</b>	<b>418</b>	<b>Total</b>	<b>313</b>

**FIGURA N°5.** Discos marcados y ordenados según árbol al cual pertenecían.



### **3.2.2 Trabajo de laboratorio**

El trabajo de laboratorio, se hizo en Facultad de Agronomía, en el laboratorio cedido gentilmente por la Cátedra de Fertilidad de Suelos, donde comenzó la medición de volúmenes de cada disco, siguiendo la norma T258 om-94, de la Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI).

Finalmente el secado hasta peso anhidro se hizo en Facultad de Ingeniería en el Instituto de Ensayo de Materiales, el cual colaboró con una estufa para secar la madera a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Brevemente describiremos el procedimiento efectuado:

- Para medir el volumen los discos se saturan por 48 horas sumergidos en agua, para el cálculo de peso específico aparente básico.
- Se calcula luego el volumen de cada disco, según el procedimiento dictado por la norma TAPPI T258 om-94.
- Se hace un pre-secado a  $55 - 60^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas de los discos cuyo volumen ha sido medido para eliminar posible ataque de hongos descomponedores y disminuir el tiempo de secado anhidro. El contenido final de humedad de los discos luego de esta etapa es de alrededor de un 8 % a 10 %.
- Secado hasta peso anhidro en Facultad de Ingeniería a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Aislado de los discos anhidro en bolsas de plástico herméticas, y posterior transporte hasta Facultad de Agronomía.
- Medición del peso anhidro en Facultad de Agronomía en Cátedra de Fertilidad de suelos, con la misma balanza utilizada para el cálculo de volumen previamente realizado.

- Calculo de peso específico aparente básico con valores de volumen verde y peso anhidro.

Parte de los instrumentos utilizados se pueden ver en las figuras N°6 y N°7 a continuación.

**FIGURA N°6. Balanza utilizada para el pesado de los discos.**



**FIGURA N°7. Estufa de secado utilizada en el estudio.**



### **3.2.3 Procesamiento de datos**

Con los datos obtenidos a campo, se hicieron tablas con variables dasométricas y cormométricas, como la altura total (Ht) promedio, altura comercial (Hc) promedio, factor de forma (FF) de cada árbol y factor de forma promedio, volumen total (Vt) y volumen comercial (Vc) para cada árbol y promedio, espesor de corteza promedio, las cuales pueden verse en el Anexo N° 1.

Se calculó la densidad básica promedio aritmética por árbol, (densidad básica de los discos de ese árbol, tomados a diferentes alturas), y de forma ponderada (ponderada por el volumen representado por cada disco del árbol).

El promedio ponderado se calcula de la siguiente forma:

$$DB_i \text{ prom} = \frac{[(DB_{\text{base}} + DB_{1m})/2].V_1 + [(DB_{1m} + DB_{2m})/2].V_2 + \dots + [(DB_{n-1} + DB_n)/2].V_n}{\text{Volumen total del árbol sin corteza}}$$

Donde:

- $DB_i \text{ prom}$ : Densidad básica promedio ponderada del árbol  $i$ , en  $\text{gr/cm}^3$ .
- $DB_{1m}$ : Densidad básica del disco a 1 m de altura, en  $\text{gr/cm}^3$ .
- $DB_{2m}$ : Densidad básica del disco a 2 m de altura, en  $\text{gr/cm}^3$ .
- $DB_n$ : Densidad básica del disco sacado a mayor altura en  $\text{gr/cm}^3$ .
- $DB_{n-1}$ : Densidad básica del disco anterior al sacado a mayor altura, en  $\text{gr/cm}^3$ .
- $V_1$ : Volumen sin corteza de la troza 1 en  $\text{m}^3$ .
- $V_n$ : Volumen sin corteza de la troza a mayor altura en  $\text{m}^3$ .

Los volúmenes utilizados en la fórmula corresponden a las trozas definidas por dos alturas de muestreo consecutivas. El volumen comercial considera un diámetro mínimo de 8 cm con corteza. Los volúmenes por troza se calcularon utilizando la fórmula de Smalian.

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el programa SAS (Statistical Analysis System, 1996), versión 8.2, en el cual se realizaron diversos análisis de varianza y pruebas de diferencias de medias, para detectar diferencias estadísticamente significativas entre las diversas fuentes de variación, para las edades y alturas analizadas.

Para explicar la variación en altura del peso específico aparente básico para ambas edades, se probaron modelos matemáticos, de los cuales, los que mejor se ajustaron son un modelo cuadrático y otro cúbico.

Adicionalmente se determinaron las correlaciones entre la penetración con Pilodyn al DAP y el peso específico aparente básico para ambas edades en estudio, conjuntamente con la ubicación del punto de muestreo más representativo para el peso específico aparente básico, de todo el árbol.

### **3.2.4 Características cormométricas y dasométricas de los árboles muestreados**

A continuación se presentan cuadros que describen dendrométricamente a los árboles bajo estudio, para ambas edades. Estos cálculos fueron hechos a partir de los datos obtenidos a campo.

#### **3.2.4.1 Características dendrométricas y cormométricas para la edad de 4 años**

Para los árboles muestreados de 4 años, se presenta a continuación el cuadro N°4, con los valores promedio, desvío estándar y coeficiente de variación, para la altura total (hasta la punta del fuste), altura comercial (hasta 8 cm de diámetro con corteza), el DAP con corteza (medido con forcípula), el espesor de corteza al DAP, el volumen real comercial sin corteza (calculado por la fórmula de Smalian), y el factor de forma comercial sin corteza.

**Cuadro N°4. Factores dendrométricos y cormométricos de los árboles en estudio, a una edad de 4 años.**

	Ht (m)	Hc (m)	DAP c/c (cm)	Esp. de corteza (cm)	Vr com s/c (m <sup>3</sup> )	FF com s/c
<b>Promedio</b>	22,80	15,95	18,58	0,47	0,21	0,41
<b>Desvío estándar</b>	0,80	1,23	2,30	0,06	0,04	0,03
<b>C.V (%)</b>	3,50	7,70	12,40	13,73	17,47	7,30

Donde, tanto para los cuadros N°4 y N°5 las variables abreviadas significan:

- Ht (m) = Altura total en metros.
- Hc (m)= Altura comercial en metros.
- DAP c/c (cm) = Diámetro a la altura de pecho con corteza en centímetros.
- Vr com s/c (m<sup>3</sup>)= Volumen comercial sin corteza en metros cúbicos.
- FF com s/c = Factor de forma comercial sin corteza.
- Esp. de corteza (cm) = Espesor de corteza en centímetros.
- C.V (%) = Coeficiente de variación en porcentaje.

**3.2.4.2 Características dendrométricas y cormométricas para la edad de 8 años**

Para los árboles de 8 años, se presenta a continuación el cuadro N°5, con los mismos factores calculados (de igual forma) para la edad de 4 años.

**Cuadro N°5. Factores dendrométricos y cormométricos de los árboles en estudio, a una edad de 8 años.**

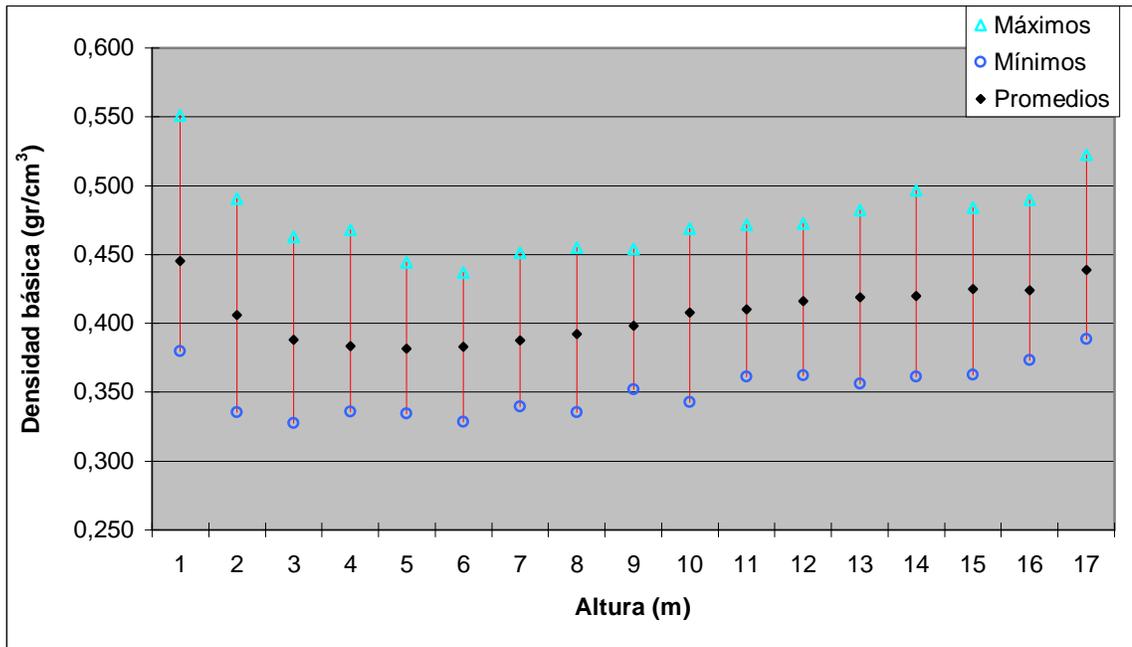
	Ht (m)	Hc (m)	DAP c/c (cm)	Esp. de corteza (cm)	Vr com s/c (m <sup>3</sup> )	FF com s/c
<b>Promedio</b>	28,88	22,72	21,13	0,56	0,40	0,45
<b>Desvío estándar</b>	1,18	1,81	1,77	0,09	0,08	0,03
<b>C.V (%)</b>	4,09	7,96	8,40	15,46	20,85	5,80

#### **4. RESULTADOS**

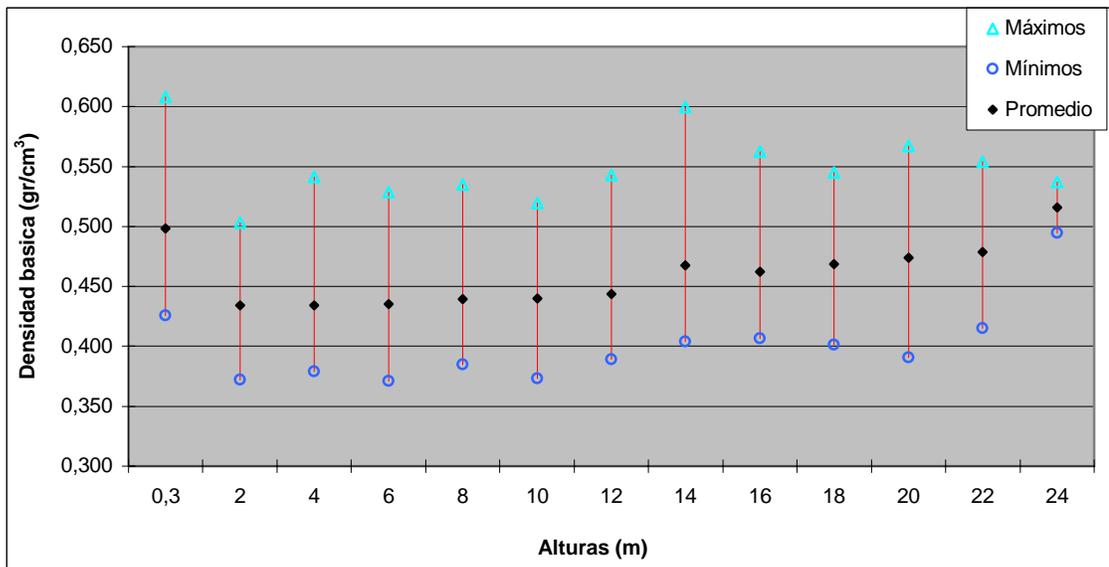
A continuación se presentan los resultados obtenidos para las propiedades en estudio con su correspondiente análisis. En una primera instancia se exponen los resultados de las determinaciones realizadas para la variación de la densidad básica con la altura a las edades de 4 y 8 años, con sus correspondientes análisis estadístico y los modelos matemáticos de variación axial que mejor se ajustaron, así como una aproximación a sus puntos óptimos de muestreo.

La variabilidad de los individuos puede ser observada tanto en los promedios totales para cada árbol, como en la variación que ocurre a diferentes alturas entre diferentes individuos. A continuación se pueden observar tres gráficos uno para cuatro, otro para ocho años, y un tercero con ambas edades, en los cuales se muestra la variabilidad (mediante rangos de variación) de la característica densidad básica, en altura, para los diferentes individuos seleccionados.

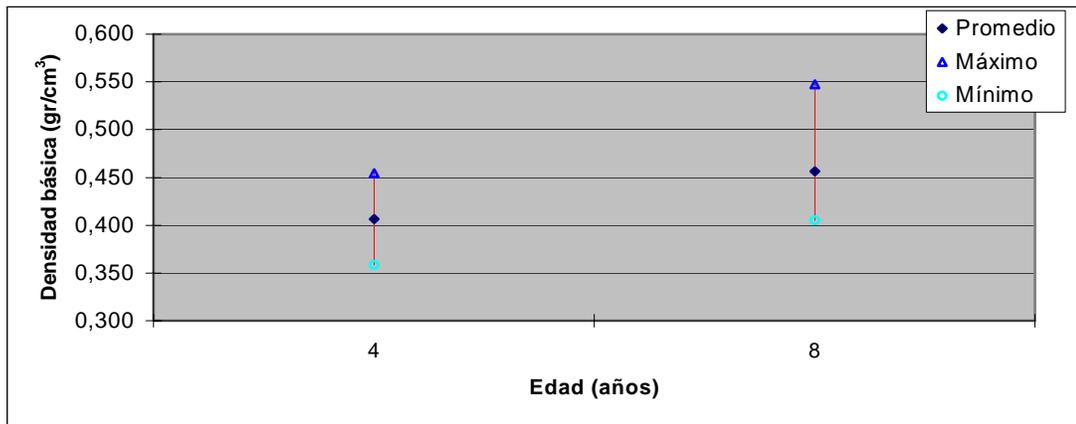
**Gráfico N°1. Promedios y rango de variación de la densidad básica a los 4 años de edad de los 25 árboles muestreados.**



**Gráfico N°2. Promedios y rango de variación de la densidad básica a los 8 años de edad de los 25 árboles muestreados.**



**Gráfico N°3. Promedio y rango de variación de la densidad básica del árbol promedio, a los 4 y 8 años de edad.**



Para comprobar la eficiencia del muestreo se estimó el tamaño mínimo de muestra requerido de acuerdo a los valores de variabilidad establecidos. En el cuadro N° 6 se puede observar el tamaño mínimo de muestra calculado para las dos edades en estudio.

**Cuadro N°6. Tamaño mínimo (n) de árboles requeridos, para representar la variación de la característica densidad básica, en la población.**

Edad	CV (%)	Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	Desvío estándar	Tamaño mínimo (n)
4 años	7,8	0,406	0,032	16
8 años	7,4	0,455	0,034	15

Se utilizó un  $t_{(25; 0,05)}$

Luego se define un modelo de variación axial del peso específico aparente básico por edades para la estimación temprana de dicho parámetro, y finalmente se incorporan los resultados de las determinaciones realizadas para el Pilodyn, y su correlación con la densidad básica a la altura de pecho.

#### 4.1 VARIACIÓN AXIAL DEL PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO A LA EDAD DE 4 AÑOS

Se hace un ANAVA con los promedios de densidad básica para los 4 años y se observan diferencias significativas entre medias.

**Cuadro N°7. ANAVA para la variable dependiente densidad básica, a los 4 años de edad.**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
<i>Modelo</i>	3	0,00634	0,00211	25,02	< 0,0001
<i>Error</i>	14	0,00118	0,00008443		
<i>Total corregido</i>	17	0,00752			

Fuente: Elaborado en base a resultados del programa SAS.

Observada la existencia de diferencias entre medias en el ANAVA, se hace prueba de Tukey para saber cuales son esas diferencias entre medias. Se presenta a continuación la prueba de Tukey, para la densidad básica a una edad de 4 años entre los tratamientos (alturas).

Se utilizan para Tukey los siguientes datos:

- Alfa ( $\alpha$ ) 0,05
- Grados de Libertad del Error 374
- Cuadrado Medio del error 0,001443
- Tratamientos 18
- Diferencia mínima por Tukey 0,0371

**Cuadro N°8. Prueba de Tukey entre medias de densidad básica para la edad de 4 años.**

Tratamiento	Media	Tukey
0,3	0,445	A
17	0,439	AB
16	0,439	AB
14	0,425	ABC
15	0,424	ABCD
13	0,420	ABCDE
12	0,419	ABCDEF
11	0,416	ABCDEF
10	0,410	ABCDEF
9	0,408	ABCDEF
1	0,406	BCDEF
8	0,398	CDEF
7	0,392	CDEF
2	0,388	CDEF
6	0,387	DEF
3	0,383	EF
5	0,383	EF
4	0,382	F

Fuente: Elaborado en base a resultados del programa SAS

La media de la variable dependiente es de 0,406 gr/cm<sup>3</sup>, el coeficiente de variación es de 7,8 %, y el R<sup>2</sup> es de 0,842. El modelo de regresión para variación axial de la densidad básica que se ajusto para los 4 años de edad, es un modelo cúbico cuyos parámetros estimados y su nivel de significancia se describen en el próximo cuadro.

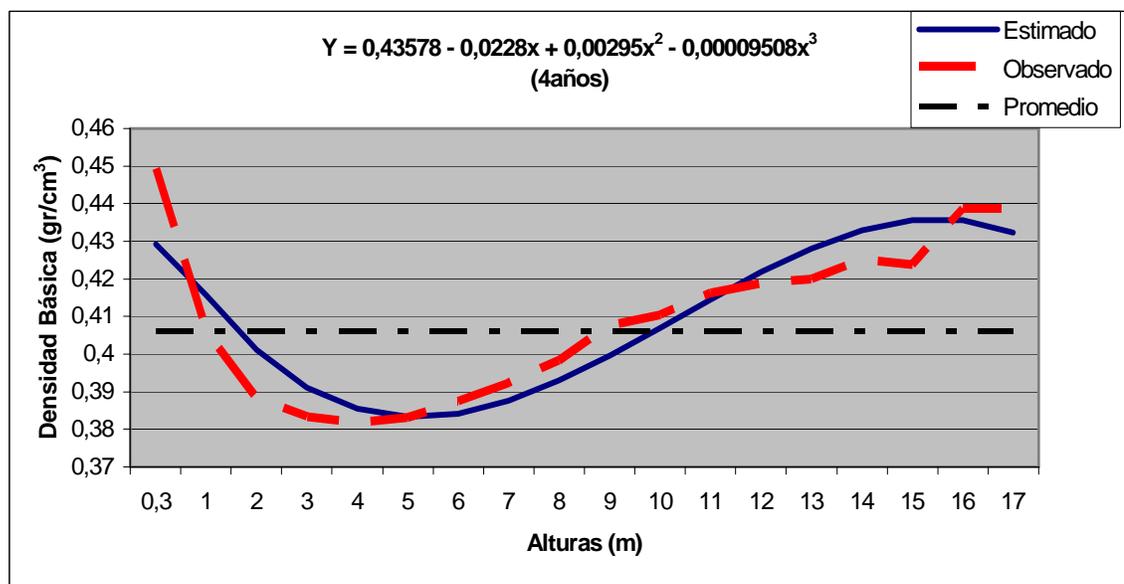
**Cuadro N°9. Parámetros estimados para el modelo cúbico.**

Variable	Parámetro estimado	Error estándar	Valor t	Pr > t
<i>Intercepto</i>	0,43578	0,0077	56,62	< 0,0001
<i>T1</i>	-0,02287	0,00403	-5,68	< 0,0001
<i>T2</i>	0,00295	0,00055117	5,34	0,0001
<i>T3</i>	-0,00009508	0,00002106	-4,52	0,0005

Fuente: Elaborado en base a resultados del programa SAS.

Por lo tanto el modelo propuesto para ajustar el comportamiento de la variación axial a los 4 años de edad se puede ver en el gráfico N°4 conjuntamente con la variación observada para la densidad básica a diferentes alturas, y la densidad básica ponderada promedio del árbol.

**Gráfico N°4. Variación axial estimada por el modelo cúbico, conjuntamente con la variación observada, para los 4 años.**



#### 4.2 VARIACIÓN AXIAL DEL PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO A LA EDAD DE 8 AÑOS

Se hace un ANAVA con los promedios de densidad básica para los 8 años y se observan diferencias significativas entre medias.

**Cuadro N°10. ANAVA para la variable dependiente densidad básica, a los 8 años de edad.**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
<i>Modelo</i>	2	0,00574	0,00287	11,15	0,0028
<i>Error</i>	10	0,00257	0,00025748		
<i>Total corregido</i>	12	0,00832			

Fuente: Elaborado en base a resultados del programa SAS.

Una vez observada la existencia de diferencias entre medias en el ANAVA, se hace la prueba de Tukey para determinar cuales son esas diferencias entre medias. Se presenta a continuación la prueba de Tukey, para la densidad básica a una edad de 8 años entre los tratamientos (alturas).

Se utilizan para la prueba de Tukey los siguientes datos:

- Alfa ( $\alpha$ ) 0,05
- Grados de Libertad del Error 274
- Cuadrado Medio del error 0,001569
- Tratamientos 13
- Diferencia mínima por Tukey 0,0370

**Cuadro N°11. Prueba de Tukey entre medias de densidad básica para la edad de 8 años.**

Tratamiento (m)	Media (gr/cm <sup>3</sup> )	Tukey
24	0,516	A
0,3	0,499	AB
22	0,479	ABC
20	0,474	BCD
18	0,469	BCDE
14	0,467	BCDE
16	0,462	BCDE
12	0,444	CDE
10	0,440	DE
8	0,440	DE
6	0,435	E
4	0,434	E
2	0,434	E

Fuente: Elaborado en base a resultados del programa SAS.

La media de la variable dependiente es de 0,455 gr/cm<sup>3</sup>, el coeficiente de variación es de 7,4 %, y el  $R^2 = 0,690$ .

El modelo de regresión para variación axial de la densidad básica que se ajustó para los 8 años de edad, es un modelo cuadrático cuyos parámetros estimados y su nivel de significancia se describen en el próximo cuadro.

**Cuadro N°12. Parámetros estimados para el modelo cuadrático.**

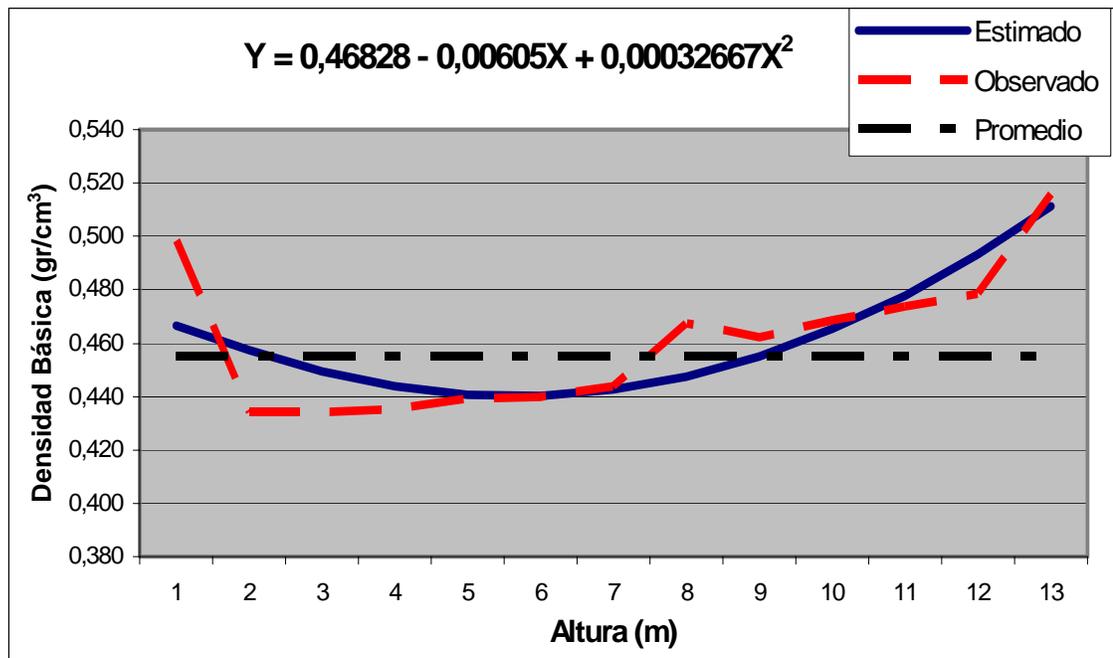
Variable	Parámetro estimado	Error estándar	Valor t	Pr > t
<i>Intercepto</i>	0,46828	0,01182	39,62	< 0,0001
<i>T1</i>	-0,00605	0,00229	-2,64	0,0246
<i>T2</i>	0,00032667	0,00009142	3,57	0,0051

Fuente: Elaborado por el autor en base a resultados del programa SAS

Por lo tanto el modelo propuesto para ajustar el comportamiento de la variación axial a los 8 años de edad se puede ver en el gráfico N°5,

conjuntamente con la variación observada para la densidad básica a diferentes alturas y la densidad básica ponderada promedio del árbol.

**Gráfico N°5. Variación axial estimada por el modelo cuadrático, conjuntamente con la variación observada, para los 8 años.**



#### 4.3 COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN AXIAL DEL PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO PARA AMBAS EDADES

Se presenta el estudio de los resultados de comparación del peso específico aparente básico para ambas edades, como varían las densidades para árboles de 4 años con los de 8 años, y las diferencias entre las variaciones axiales para ambas edades.

La primera impresión al observar los cuadros N°13 y 14, es un incremento en densidad básica de aproximadamente un 12 % a favor de los árboles de 8

años, por lo cual los árboles al final de la rotación son un 12% más pesados, que a mitad de ésta, a igual volumen.

A continuación en los cuadros N° 13 y N° 14, los parámetros presentados en estos son:

- DMP = Densidad media ponderada en  $\text{gr/cm}^3$ .
- L.inf = Limite inferior de la densidad media ponderada en  $\text{gr/cm}^3$ .
- L.sup = Limite superior de la densidad media ponderada en  $\text{gr/cm}^3$ .

**Cuadro N°13. Densidad básica promedio ponderada (DMP) por árbol, para 4 años de edad.**

Árbol N°	DMP (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de Confianza (g/cm <sup>3</sup> )*	
		L. Inf	L. Sup
1	0,413	0,404	0,422
2	0,453	0,444	0,463
3	0,413	0,402	0,425
4	0,385	0,375	0,396
5	0,379	0,366	0,392
6	0,434	0,421	0,448
7	0,409	0,397	0,422
8	0,406	0,394	0,417
9	0,433	0,404	0,461
10	0,369	0,358	0,38
11	0,383	0,372	0,394
12	0,424	0,413	0,435
13	0,446	0,437	0,456
14	0,418	0,403	0,433
15	0,354	0,346	0,362
16	0,448	0,435	0,462
17	0,377	0,364	0,39
18	0,353	0,342	0,364
19	0,363	0,352	0,374
20	0,454	0,442	0,466
21	0,405	0,396	0,414
22	0,36	0,352	0,367
23	0,365	0,35	0,379
24	0,444	0,43	0,458
25	0,385	0,372	0,398
<b>Promedio</b>	<b>0,406</b>	<b>0,391</b>	<b>0,415</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>0,032</b>	-	-
<b>C.V. (%)</b>	<b>8,285</b>	-	-

\* Intervalo de 95% de confianza (IC) para la media.

**Cuadro N°14. Densidad básica promedio ponderada (DMP) por árbol, para 8 años de edad.**

Árbol N°	DMP (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de Confianza (g/cm <sup>3</sup> )*	
		L. Inf	L. Sup
26	0,409	0,398	0,419
27	0,466	0,449	0,482
28	0,412	0,397	0,428
29	0,503	0,489	0,517
30	0,449	0,432	0,466
31	0,445	0,422	0,468
32	0,437	0,427	0,448
33	0,453	0,433	0,473
34	0,518	0,51	0,526
35	0,471	0,455	0,487
36	0,481	0,456	0,506
37	0,545	0,526	0,564
38	0,477	0,457	0,498
39	0,412	0,398	0,425
40	0,445	0,433	0,457
41	0,434	0,414	0,454
42	0,44	0,423	0,456
43	0,432	0,425	0,439
44	0,398	0,383	0,413
45	0,452	0,438	0,467
46	0,438	0,426	0,45
47	0,47	0,448	0,492
48	0,453	0,444	0,463
49	0,45	0,434	0,465
50	0,431	0,409	0,453
<b>Promedio</b>	<b>0,455</b>	<b>0,437</b>	<b>0,469</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>0,034</b>	-	-
<b>C.V. (%)</b>	<b>7,402</b>	-	-

\* Intervalo de 95% de confianza (IC) para la media.

Finalmente se calculó el árbol promedio (cuadros N°15 y 16), de forma de mostrar las diferencias en la variación axial de la densidad básica, para cada una de las edades en estudio.

**Cuadro N°15. Variación de la densidad básica del árbol promedio, por altura, para los 4 años de edad.**

Altura (m)	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de Confianza (g/cm <sup>3</sup> )*	
		L. Inf	L. Sup
0,3	0,445	0,429	0,462
1	0,406	0,385	0,427
2	0,388	0,374	0,403
3	0,383	0,370	0,397
4	0,382	0,369	0,394
5	0,383	0,370	0,396
6	0,387	0,373	0,402
7	0,392	0,378	0,406
8	0,398	0,387	0,410
9	0,408	0,394	0,421
10	0,410	0,397	0,424
11	0,416	0,403	0,430
12	0,419	0,405	0,433
13	0,420	0,407	0,433
14	0,425	0,411	0,439
15	0,424	0,404	0,444
16	0,439	0,397	0,480
17	0,439	0,439	0,439
<b>Promedio</b>	<b>0,409</b>	<b>0,394</b>	<b>0,424</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>0,021</b>	<b>0,020</b>	<b>0,024</b>
<b>CV (%)</b>	<b>5,04</b>	<b>5,162</b>	<b>5,570</b>

\* Intervalo de 95 % de confianza para la media.

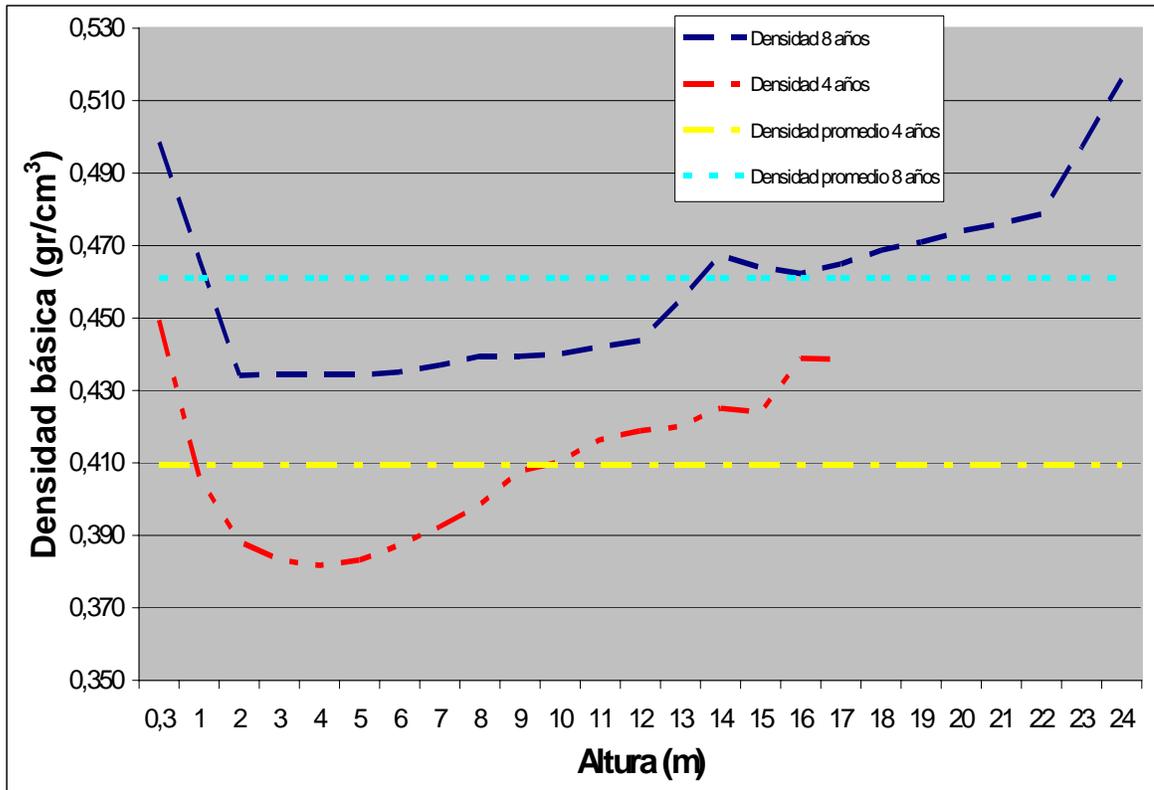
**Cuadro N°16. Variación de la densidad básica del árbol promedio, por altura, para los 8 años de edad.**

Altura (m)	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Intervalo de Confianza (g/cm <sup>3</sup> ) *	
		L.Inf	L.Sup
0,3	0,499	0,481	0,516
2	0,434	0,422	0,447
4	0,434	0,419	0,449
6	0,435	0,421	0,450
8	0,440	0,424	0,455
10	0,440	0,426	0,454
12	0,444	0,429	0,459
14	0,467	0,451	0,484
16	0,462	0,447	0,477
18	0,469	0,453	0,485
20	0,474	0,456	0,492
22	0,479	0,452	0,505
24	0,516	0,474	0,557
<b>Promedio</b>	<b>0,461</b>	<b>0,443</b>	<b>0,479</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>0,026</b>	<b>0,021</b>	<b>0,033</b>
<b>CV (%)</b>	<b>5,70</b>	<b>4,694</b>	<b>6,796</b>

\* Intervalo de 95 % de confianza para la media.

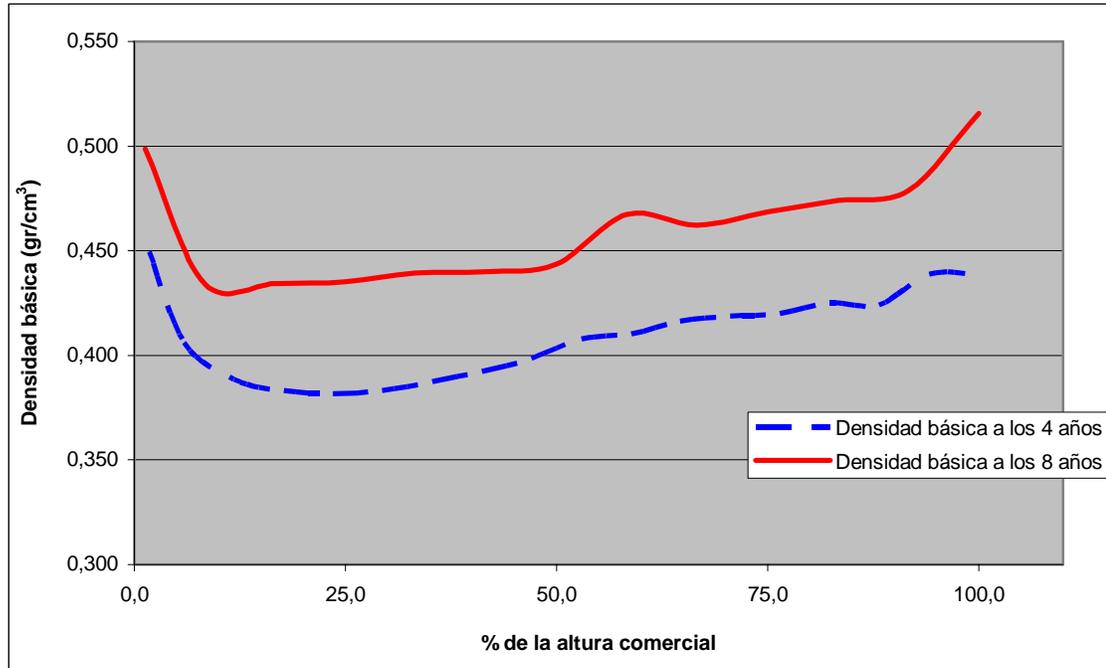
Los gráficos N°6 y 7, se hicieron con datos mostrados en los cuadros anteriores, hasta la altura en la cual se tiene información para ambas edades (altura comercial).

**Gráfico N°6. Comparación de la variación axial de los árboles promedio para las edades en estudio.**



A continuación, en el gráfico N°7 (en forma complementaria al gráfico anterior) se puede observar la comparación de la variación axial de los árboles promedio para ambas edades en estudio, pero en porcentaje de la altura comercial.

**Grafico N°7. Variación axial de la densidad básica en % de la altura comercial, para ambas edades en estudio.**



#### **4.4 CORRELACIÓN ENTRE MEDIDAS DE PILODYN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO AL DAP**

Como método de determinación de densidad no destructivo, la medición mediante el uso del Pilodyn es rápida, barata y fácil de hacer, por lo cual puede ser utilizada como un buen estimador de la densidad del árbol.

Existe una correlación alta y negativa para la medida de penetración con Pilodyn y el peso específico aparente al DAP. Esto implica, que a mayor profundidad de penetración de la aguja del Pilodyn, entonces menor será el peso específico aparente básico de ese árbol.

#### 4.4.1 Correlación para árboles a la edad de 4 años

El coeficiente de correlación observado para esta edad es alto y negativo, lo cual implica una relación inversa entre ambas variables. Se calculó (además de los valores promedio, desvío y CV, para cada variable), la recta de regresión para esta correlación negativa, así como el  $R^2$ .

**Cuadro N°17. Medidas de penetración con Pilodyn y densidad básica a la altura de pecho por árbol, para la edad de 4 años.**

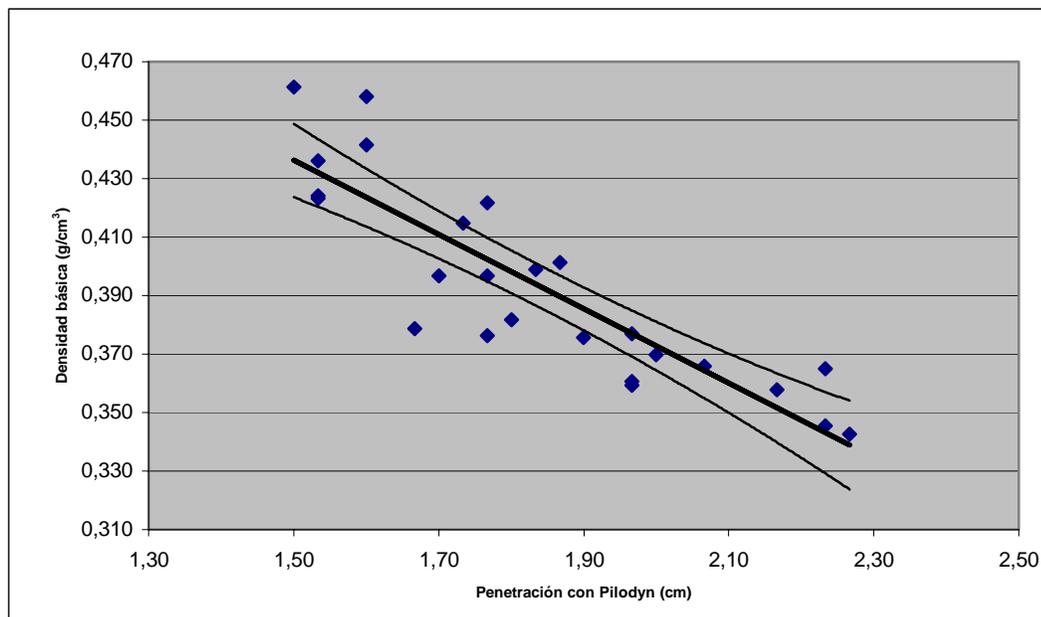
Árbol N°	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Pilodyn (cm)
1	0,397	1,77
2	0,461	1,50
3	0,401	1,87
4	0,370	2,00
5	0,376	1,77
6	0,424	1,53
7	0,422	1,77
8	0,379	1,67
9	0,397	1,70
10	0,358	2,17
11	0,382	1,80
12	0,415	1,73
13	0,423	1,53
14	0,399	1,83
15	0,359	1,97
16	0,436	1,53
17	0,361	1,97
18	0,345	2,23
19	0,366	2,07
20	0,458	1,60
21	0,377	1,97
22	0,365	2,23
23	0,343	2,27
24	0,441	1,60
25	0,376	1,90
<b>Promedio</b>	<b>0,393</b>	<b>1,85</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>0,034</b>	<b>0,23</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>8,667</b>	<b>12,43</b>

Los datos del cuadro anterior fueron utilizados para calcular la correlación, el  $R^2$  y la recta de regresión, cuyos resultados se exponen a continuación:

- $r = -0,87$ .
- $R^2 = 0,7627$ .
- Recta de regresión de la correlación es:  $Y = 0,6266 - 0,1269X$ .

Del cuadro N°17 también se observa que el promedio de la densidad básica al DAP subestima el promedio de densidad básica a los 4 años ( $0,406 \text{ g/cm}^3$ ), en un 3,3 %.

**Gráfico N°8. Correlación de las medidas de penetración con Pilodyn y la densidad básica promedio, para árboles de 4 años.**



- Intervalo de confianza del 95% para la recta de regresión.

#### 4.4.2 Correlación para árboles a la edad de 8 años

El coeficiente de correlación (r) observado para esta edad es como se indicó anteriormente alto y negativo, lo cual implica una relación inversa entre las variables densidad básica y penetración con Pilodyn. Se calculó además de los valores promedio, desvío y CV, para cada variable, la recta de regresión para esta correlación negativa, así como el  $R^2$ .

**Cuadro N°18. Medidas de penetración con Pilodyn y densidad básica a la altura de pecho por árbol, para la edad de 8 años.**

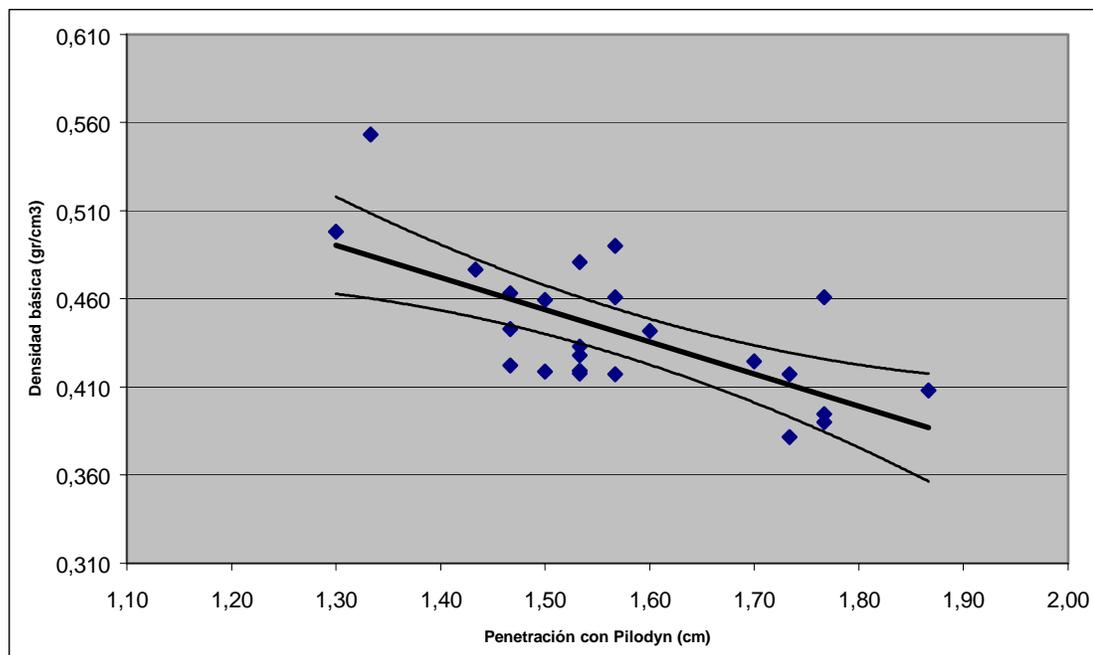
Árbol N°	Densidad básica (gr/cm <sup>3</sup> )	Pilodyn (cm)
26	0,419	1,53
27	0,461	1,57
28	0,390	1,77
29	0,490	1,57
30	0,433	1,53
31	0,417	1,57
32	0,422	1,47
33	0,481	1,53
34	0,498	1,30
35	0,443	1,47
36	0,461	1,77
37	0,553	1,33
38	0,463	1,47
39	0,419	1,50
40	0,408	1,87
41	0,417	1,73
42	0,428	1,53
43	0,419	1,53
44	0,382	1,73
45	0,442	1,60
46	0,425	1,70
47	0,477	1,43
48	0,459	1,50
49	0,418	1,53
50	0,395	1,77
<b>Media</b>	<b>0,441</b>	<b>1,57</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>0,039</b>	<b>0,14</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>8,797</b>	<b>8,93</b>

Los datos del cuadro anterior fueron utilizados para calcular la correlación, el  $R^2$  y la recta de regresión, cuyos resultados son expuestos a continuación:

- $r = -0,66$ .
- $R^2 = 0,4362$ .
- Recta de regresión de la correlación es:  $Y = 0,7277 - 0,1825x$ .

Del cuadro N°18 también se observa que el promedio de la densidad básica al DAP subestima el promedio de densidad básica a los 8 años ( $0,455 \text{ g/cm}^3$ ), en un 3,1 %.

**Gráfico N°9. Correlación de las medidas de penetración con Pilodyn y la densidad básica promedio, para árboles de 8 años.**



- Intervalo de confianza del 95%, para la recta de regresión.

## **4.5 CÁLCULO DEL PUNTO DE MUESTREO REPRESENTATIVO DE TODO EL ÁRBOL**

En esta etapa del trabajo se calcula el punto de muestreo que sea representativo de la densidad promedio de ese árbol. Para esto lo que se hizo es correlacionar la densidad por altura del árbol con su densidad promedio ponderada. A partir de esto se calcula el coeficiente de correlación ( $r$ ) y el de determinación ( $R^2$ ), así como la recta de regresión, para el punto más representativo.

### **4.5.1 Cálculo del punto de muestreo representativo para árboles a la edad de 4 años**

Se muestra a continuación el cuadro N°19, en el cual se tienen los datos de altura, correlación y  $R^2$ , para las diferentes alturas en el árbol.

**Cuadro N°19. Correlación y R<sup>2</sup> entre las diferentes alturas y el promedio ponderado de la densidad básica, en árboles de 4 años.**

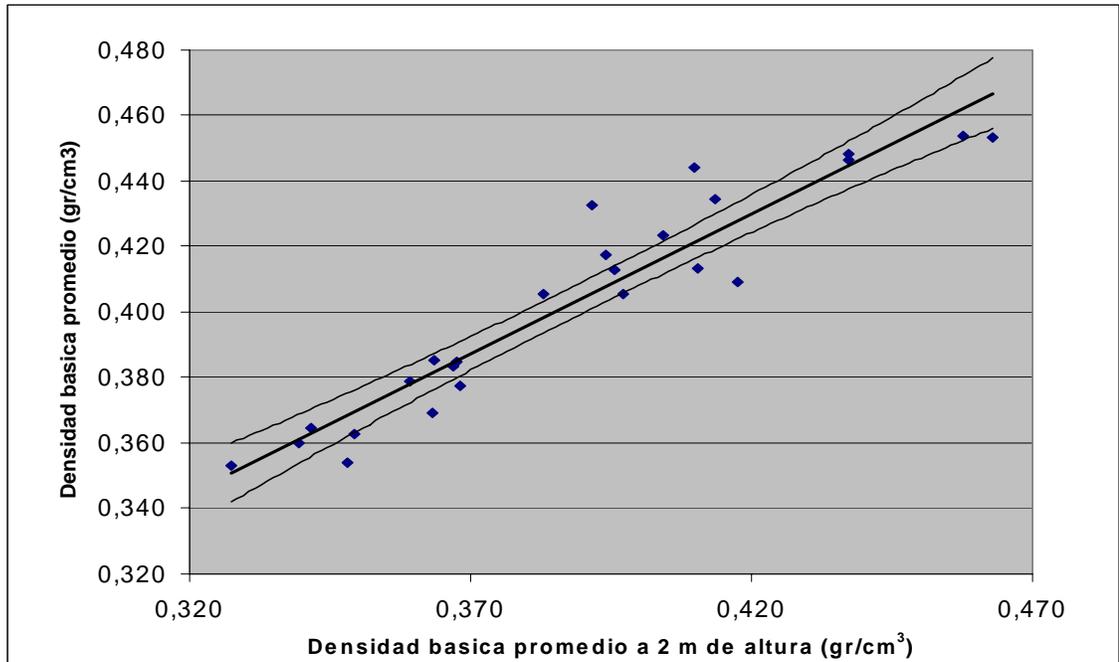
Altura (m)	R <sup>2</sup>	r+
0,3	0,787	0,890***
1	0,686	0,828***
1,3	0,871	0,933***
2	0,896	0,947***
3	0,844	0,919***
4	0,863	0,929***
5	0,869	0,932***
6	0,766	0,875***
7	0,897	0,947***
8	0,821	0,906***
9	0,846	0,920***
10	0,768	0,876***
11	0,689	0,830***
12	0,743	0,862***
13	0,594	0,770***
14	0,551	0,742***
15	0,736	0,858***
16	0,963	0,982***
17	s/d	s/d

+ \*\*\*significativo al nivel de probabilidad del 1%; s/d = sin datos.

Como se puede observar desde el DAP hasta los 5 metros de altura la correlación es mayor a 0,90 y el R<sup>2</sup> mayor a 0,80. Se observa también una alta correlación entre los 7 y los 9 metros, así como también a los 16 metros. Pero al ser alturas poco prácticas para efectuar muestreos, no serán tomadas en cuenta.

Esto implica que hasta los 5 metros de altura, hay puntos de muestreo altamente correlacionados con la densidad promedio del árbol, encontrándose a los 2 metros de altura el mayor valor de estos coeficientes.

**Gráfico N°10. Correlación entre la densidad básica promedio y la densidad promedio a una altura de 2 metros, para árboles de 4 años de edad.**



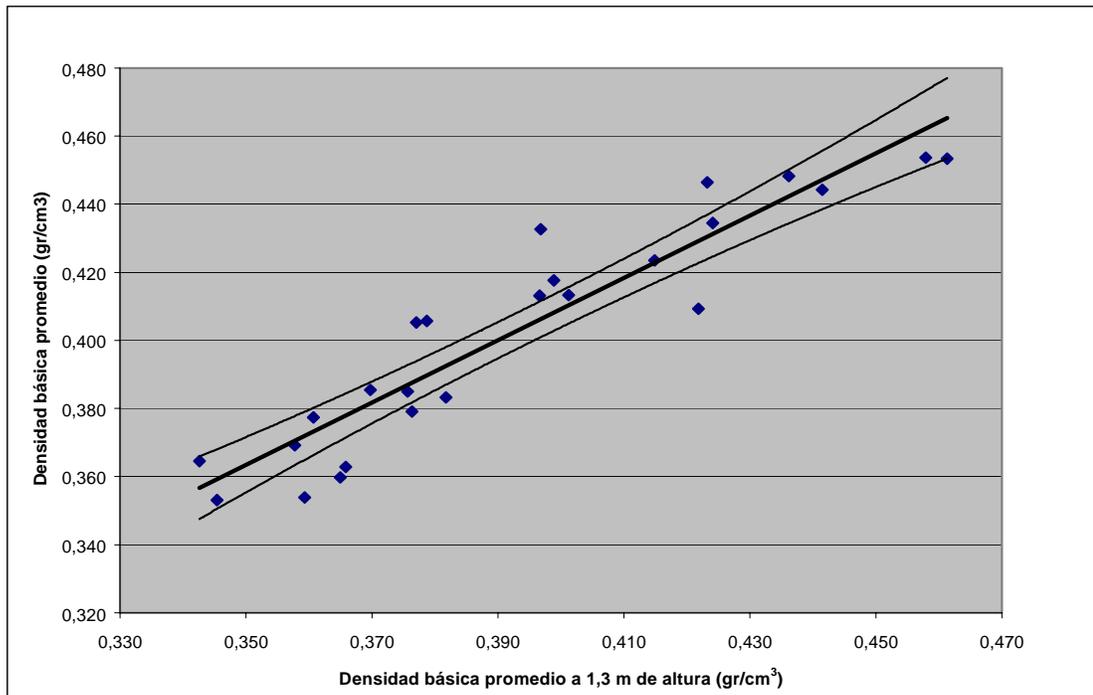
- Intervalo de confianza de 95% para la recta de regresión.

La recta de regresión (gráfico N°10) para el punto de muestreo a los 2 metros de altura y su  $R^2$  son:

- $Y = 0,0713 + 0,8544X$
- $R^2 = 0,896$ .

La correlación al DAP entre la densidad básica a esta altura y la densidad básica promedio del árbol también es muy alta por lo cual a continuación se podrá observar en el próximo gráfico la regresión para estas variables, así como la ecuación de la recta.

**Gráfico N°11. Correlación entre la densidad básica promedio y la densidad a 1,3 m de altura, para árboles de 4 años de edad.**



- Intervalo de confianza del 95 % para la recta de regresión.

La ecuación de la recta de regresión entre densidad básica promedio y densidad al DAP con su  $R^2$  son:

- $Y = 0,0435 + 0,9142X$
- $R^2 = 0,8708$ .

#### **4.5.2 Cálculo del punto de muestreo representativo para árboles a la edad de 8 años**

Se muestra a continuación el cuadro en el cual se tienen los datos de altura, correlación y  $R^2$ , para las diferentes alturas en el árbol.

**Cuadro N°20. Correlación y  $R^2$  entre las diferentes alturas y el promedio ponderado de la densidad básica, en árboles de 8 años.**

Altura(m)	$R^2$	r +
0,3	0,687	0,829***
1,3	0,835	0,914***
2,0	0,850	0,922***
4,0	0,849	0,921***
6,0	0,859	0,927***
8,0	0,836	0,915***
10,0	0,604	0,777***
12,0	0,874	0,935***
14,0	0,714	0,845***
16,0	0,660	0,812***
18,0	0,661	0,813***
20,0	0,496	0,704***
22,0	0,484	0,696***
24,0	s/d	s/d

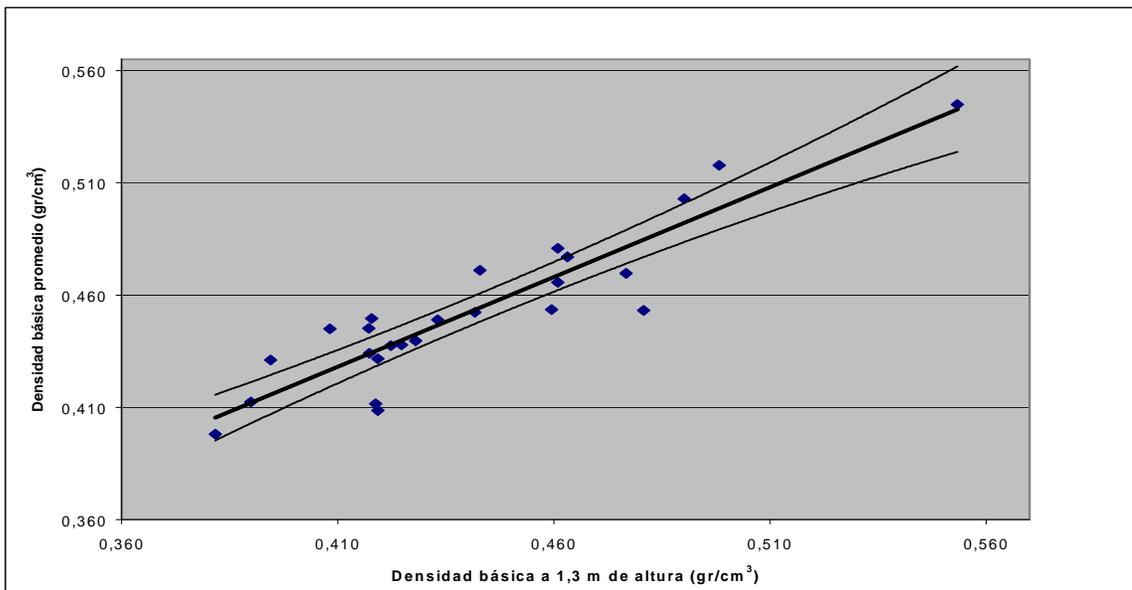
+ \*\*\*significativo al nivel de probabilidad del 1%; s/d = sin datos.

Como se puede observar desde el DAP hasta los 8 metros de altura la correlación es mayor a 0,90 y el  $R^2$  mayor a 0,80. Se observa también una alta correlación a los 12 metros, pero son alturas poco prácticas para efectuar muestreos, por lo cual no las tomaremos en cuenta y al igual que a los 4 años de edad, se priorizará las alturas prácticas para efectuar la medición, las cuales también presentan correlaciones altas y no muy diferentes a las de los mayores valores de “r” presentados en otros puntos.

Esto implica que desde el DAP hasta los 8 metros de altura son puntos de muestreo altamente correlacionados con la densidad promedio del árbol, con valores de  $R^2$  mayores a 0,80 y en el entorno de 0,85 para los 2, 4 y 6 metros de altura.

A continuación se podrán observar los gráficos N° 12 y 13, para las alturas de 1,3 metros y 2 metros respectivamente, con las correspondientes ecuaciones de sus rectas de regresión.

**Gráfico N°12. Correlación entre la densidad básica promedio y la densidad a 1,3 m de altura, para árboles de 8 años de edad.**

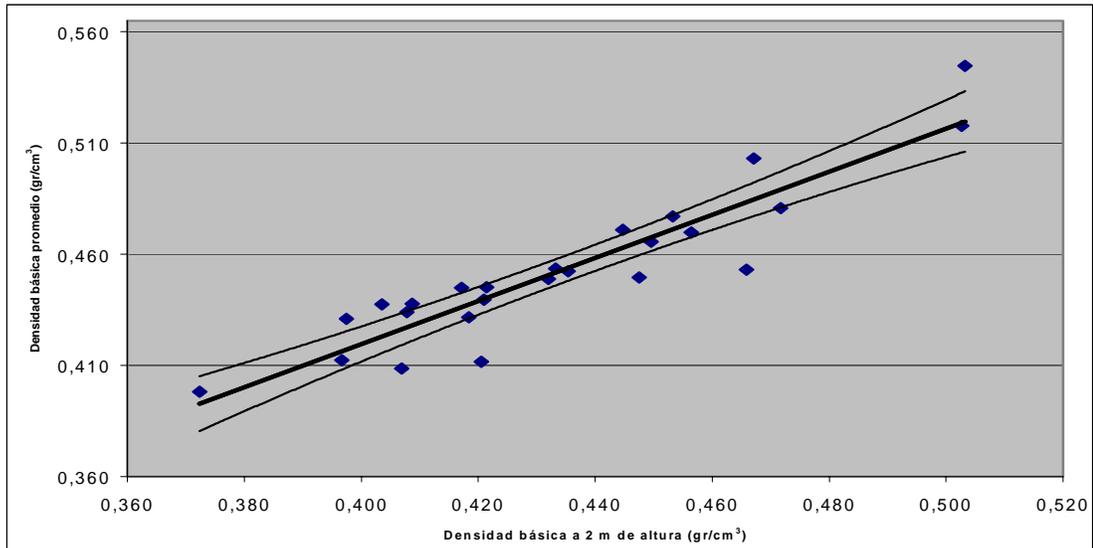


- Intervalo de confianza de 95 % para la recta de regresión.

Para el gráfico N°12, la ecuación de la recta de regresión entre densidad básica promedio y densidad básica al DAP con su  $R^2$  a los 8 años de edad son:

- $Y = 0,1 + 0,8002X$
- $R^2 = 0,8346$ .

**Gráfico N°13. Correlación entre la densidad básica promedio y la densidad a los 2 metros de altura, para árboles de 8 años de edad.**



- Intervalo de confianza del 95 % para la recta de regresión.

La ecuación de la recta de regresión entre densidad básica promedio y densidad básica a los 2 metros de altura (gráfico N°13), con su  $R^2$  son:

- $Y = 0,0318 + 0,9695X$
- $R^2 = 0,8497$ .

## **5. DISCUSION**

### **5.1 AMPLITUD DE LA VARIACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO EN LOS INDIVIDUOS SELECCIONADOS**

La variabilidad observada entre los individuos seleccionados es baja, bastando solamente un tamaño mínimo de muestra de 15 individuos por edad, para representar la variabilidad de la población en referencia a la característica densidad básica. Esta población presenta un coeficiente de variación de 7,8 % para la edad de 4 años y de 7,4 % para los 8 años.

### **5.2 VARIACIÓN AXIAL DEL PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO EN LOS INDIVIDUOS SELECCIONADOS**

El patrón de variación axial de la densidad básica, para ambas edades indican que es mayor en la base, decrece hasta media altura, para finalmente aumentar hacia la copa. Esto coincide con lo expresado por Panshin y Zeeuw (1970), citados por Lopes y Garcia (2002), quienes señalan este mismo patrón de variación del peso específico aparente básico en altura, al igual que Barrichello *et al.* (1982).

Tanto los análisis de varianza, como las pruebas de diferencia de medias (Tukey), indican diferencias significativas entre las alturas, para ambas edades, lo cual permite ajustar modelos de regresión que intenten describir de la mejor forma posible estas tendencias. Estos modelos ajustados son un modelo cúbico para los 4 años de edad y un modelo cuadrático para los 8 años.

El modelo ajustado para los cuatro años presenta un  $R^2$  de 0,755, mientras que el ajustado a los 8 años presenta un  $R^2$  de 0,69.

### **5.3 VARIACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO ENTRE LAS DOS EDADES EN ESTUDIO**

Los resultados obtenidos indican que los árboles más viejos son más densos que los más jóvenes, estando de acuerdo con lo encontrado por Malan (1991), Backman y García De León (2003), Lopes y García (2002), *Ferreira et al.*, (1979), Ribeiro y Zani Filho (1993) y Lima *et al.* (2001).

El promedio de densidad para los individuos de 4 años anduvo en el entorno de  $0,406 \text{ gr/cm}^3$ , mientras que para los 8 años aumento hasta  $0,455 \text{ gr/cm}^3$ , lo cual implica un aumento del 12 % en densidad básica entre una edad y otra, coincidiendo con lo establecido en la bibliografía.

### **5.4 CORRELACIÓN ENTRE PILODYN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE BÁSICO**

La correlación obtenida entre las medidas de Pilodyn y la densidad básica al DAP indican, según Raymond (1995), que es alta y negativa para ambas edades, por lo cual a mayor profundidad de penetración, menor es la densidad de esa madera. Estas correlaciones encontradas, están dentro de los parámetros establecidos en la bibliografía, pero son menores que las encontradas por Greaves *et al.* (1995), para otras especies de *Eucalyptus*.

La correlación entre penetración con Pilodyn y densidad en el punto presenta un  $r$  de - 0,87 para 4 años, y un  $r$  de - 0,66 a los 8 años (ambos casos con un 95 % de confianza para la recta de regresión).

Con los resultados obtenidos, se puede afirmar que el Pilodyn es un método de muestreo no destructivo que puede ser utilizado para la predicción

de la densidad básica, pero tomando por supuesto ciertas precauciones, y coincidiendo en esto con Böthig (2001), debido principalmente a la poca sensibilidad del método, por la poca apreciación que tienen las lecturas (1 mm).

Las estimaciones utilizando el Pilodyn tendrán mayor poder predictivo cuando la evaluación se realiza en un punto de muestreo altamente correlacionado con la densidad promedio ponderada del árbol, los cuales a la vez estarán determinados por la edad del árbol.

Para calcular un punto de muestreo que sea representativo de la densidad promedio del árbol para ambas edades, lo que se hizo fue correlacionar los promedios para cada altura con el promedio del árbol, obteniendo valores de correlación altamente significativos.

Downes *et al.* (1970), citados por Achugar y Scaglione (2003), señalan que el coeficiente de correlación entre el punto óptimo de muestreo y la densidad promedio debería ser un valor no menor a 0,70.

En este trabajo se pudo comprobar que para árboles de 4 años el punto de muestreo a utilizar es al DAP (con un  $r = 0,933$ ) o también, a los 2 metros (con un  $r = 0,947$ ), aunque se pudo observar que desde el DAP hasta los 5 metros de altura, los coeficientes de correlación son mayores a 0,90.

Para los 8 años de edad se observaron valores de  $r > 0,90$  desde el DAP hasta los 8 metros de altura, para la correlación entre densidad básica promedio del árbol y densidad a cierta altura. Es debido a esto, que se toma el DAP como punto de muestreo, no tanto por poseer el mayor valor de correlación (el cual se encuentra a los 12 metros, donde  $r = 0,935$ ), sino por ser un valor de correlación alto y práctico ( $r_{\text{DAP}} = 0,914$ ).

Para ambas edades en estudio, los valores de densidad básica al DAP subestiman en un 3,3 % (4años) y 3,1 % (8 años) a la densidad básica promedio del árbol.

Tanto para 4 como para 8 años, las correlaciones calculadas para el cálculo del punto óptimo de muestreo, son altamente significativas, para probabilidades menores al 1 %.

## **6. CONCLUSIONES**

Para las dos edades se constató, que la densidad básica varía axialmente en *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) con una tendencia que puede ser explicada por un modelo cúbico a los 4 años de edad, y por un modelo cuadrático a los 8 años. Esta variación axial de la densidad hace que sea mayor en la base del árbol, decreciendo hasta los 4 – 6 metros, para luego lentamente comenzar a aumentar, hasta lograr altos valores similares a los de la base, en la zona de la copa.

Para la densidad básica y la edad, los resultados obtenidos muestran un aumento del 12 % de la densidad promedio de un árbol, desde los 4 a los 8 años.

Los resultados obtenidos en el uso del Pilodyn, como un instrumento de determinación no destructivo de la densidad básica, mostraron una correlación alta y negativa entre la densidad básica promedio al DAP y la penetración de este instrumento a igual altura. Los valores de correlación obtenidos fueron de - 0,87 y - 0,66 para los 4 y 8 años respectivamente, siendo altas (sobre todo a los 4 años), como para estimar directamente la densidad básica con precisión, por este método.

Para ambas edades, la densidad básica al DAP es menor que la densidad básica promedio ponderada de los árboles, siendo de 0,393 y 0,441 gr/cm<sup>3</sup>, para los 4 y 8 años respectivamente (la densidad básica promedio ponderada para los 4 años es de 0,406 gr/cm<sup>3</sup> y para los 8 años 0,455 gr/cm<sup>3</sup>).

En referencia al punto óptimo de muestreo, para 4 años la zona de muestreo se encuentra entre el DAP y los 5 metros de altura, tomándose como

punto de muestreo a 1,3 m por practicidad ( $r = 0,933$ ), y/o a los 2 metros de altura por presentar el valor de correlación mas alto ( $r = 0,947$ ).

Para 8 años, se recomienda tomar el DAP como punto de muestreo, no tanto por poseer el mayor valor de correlación (este se encuentra a los 12 metros y es  $r = 0,935$ ), sino por ser un valor de correlación alto y practico ( $r = 0,914$ ) además de presentar una zona entre el DAP y los 4 metros donde la densidad básica es poco variable (bajos rangos de variación) y por lo tanto más homogénea. Se concluye que el punto óptimo de muestreo es similar para ambas edades (4 y 8 años).

## **7. RESUMEN**

Se estudió la variación axial de la densidad básica, buscando tendencias y ajustando modelos matemáticos a éstas. Se extrajeron, discos de una pulgada de espesor a árboles co-dominantes de rodal, cada un metro (4 años) o dos metros (8 años), se calculó su volumen saturado y peso anhidro siguiendo la metodología empleada por la norma TAPPI T258 om-94. Se pudieron establecer modelos de variación axial de la densidad básica de la madera, correlaciones entre densidad básica promedio del árbol y las diferentes alturas de muestreo. Se concluyó que la densidad básica es mayor en la base, tiende a disminuir hasta los 2 a 4 metros de altura para luego aumentar nuevamente hasta la copa. La densidad básica aumenta con la edad, (0,406 a 0,455 gr/cm<sup>3</sup>) durante los primeros 8 años de crecimiento. Se determinó una alta correlación negativa entre la densidad básica al DAP y la penetración con Pilodyn a la misma altura. Se determinó el punto óptimo de muestreo en donde la densidad básica es representativa de la densidad de todo el árbol. Este punto se encuentra al DAP y/o 2 metros de altura para 4 años, y al DAP para los 8 años.

**Palabra clave:** *Eucalyptus grandis*, densidad básica, Pilodyn, muestreo, densidad de la madera.

## 8. SUMMARY

The basic density axial variation was studied to define tendencies along the stem. To explain those tendencies, mathematical models were adjusted. Discs of one inch thickness every one or two meters according to the age (4 and 8 years respectively), were extracted from co-dominant trees. The saturated volume and the dried weight was calculated, according to the TAPPI T258 om-94 standards. Basic density axial variation models were established, as well as correlations among the mean basic density of the tree and the different sampling heights. It was concluded, that basic density is bigger at the base, and decreases until 2 meters height, and increased from there to the top of the tree. I concluded that basic density increased with the age of the tree. High and negative correlation between basic density at DBH and Pilodyn penetration at the same height was found. The optimal sampling point where basic density is representative of all tree density, was determined; for four years old trees, this point was at DBH or two meters, and at DBH for eight years old trees.

**Keywords:** *Eucalyptus grandis*, basic density, Pilodyn, sampling, wood density.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. ACHUGAR LAGUARDIA, L.A.; SCAGLIONE SANSON, G. 2003. Evaluación de propiedades de la madera en clones de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía, 97 p.
2. BACKMAN M. E., GARCIA DE LEON J.P. 2003. Correlations of pulp and paper properties at an early age and full rotation age of five *Eucalyptus* species. Conferencia EUCEPA, Aveiro-Portugal.
3. BARRICHELO L.E.G.; BRITO J.O.; MIGLIORINI A.J. 1982. Estudo da variacao longitudinal da Densidade basica de *Eucalyptus* ssp. 4º Congreso Florestal Brasileiro Anais Ano 8 Nº28, 10 –15 Mayo 1982 Bello Horizonte – Brasil: 726-731.
4. BERGER R. 2000. Crecimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sobe o efecto do espacamento e da fertilizacao.. Dissertacao de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, R.S. Brasil 126 p.
5. BIANCHI COPPOLA, B.; DIBARBOURE PARODI, H. 1993. Selección de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) por peso específico aparente básico y evaluación de tensiones de crecimiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía. 114 p.
6. BOLAND D.J.; BROOKER M.I.H.; CHIPPENDALE G.M.; HALL N.; HYLAND B.M.P.; JOHNSTON R.D.; KLEINING D.A.; TURNER J.D. 1984. Forest Trees of Australia. CSIRO 442 p.

7. BOSSI J.; NAVARRO R. 1988. Geología del Uruguay. Tomo II, Montevideo. Universidad de la Republica, 966p.
8. BÖTHIG S. 2001. Densidad, dureza y color de *Eucalyptus grandis* en Uruguay. Informe de Investigación N°5. Proyecto de tecnología de ensayos de productos forestales LATU-JICA (1998-2003).
9. BRASIL M.A.M.; ARRUDA VEIGA R.A. FERREIRA M. 1977. Variacao da densidade basica nas seccoos transversais do caule da base do tronco para a copa de Eucalipto. IPEF 15: 73-82.
10. \_\_\_\_\_.; ARRUDA VEIGA R.A.; DO AMARAL MELLO H. 1979. Densidade basica de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, aos 3 anos de idade. IPEF 19: 63-76.
11. \_\_\_\_\_., *et al.* 1991. Correlations between wood specific gravity and dendrometric parameters of *Pinus elliottii* Engelm var. *elliotti*.. Cientifica, Sao Paulo, 19 (2):181-188.
12. CENTURION, C; LLANO, L; 1993. Peso específico básico del *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía. 78 p.
13. COTTERILL P.P.; BROLIN, A. 1997. Improving Eucalyptus wood, pulp and paper quality by genetic selection. In Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts. IUFRO Conference: 1-13.

14. DA SILVA ROSADO S.C.; BRUNE A. 1982. Avaliacao da densidade basica da madeira en arvores vivas. 4º Congresso Florestal Brasileiro: Anais Ano 8. Nº28, 10 –15 Mayo 1982, Bello Horizonte – Brasil: 859-862.
15. DAVIES P. 1997. Desarrollo. Montevideo. Facultad de Agronomía. 28p.
16. DE ASSIS RIBEIRO F.; ZANI FILHO J. 1993. Variacao da densidade basica da madeira em especies/procedencias de Eucalyptus ssp. IPEF 46: 76-85.
17. DE BELL D.S.; KEYES R.C.; GARTNER B.L. 2001. Wood density of Eucalyptus saligna grown in Hawaiian plantations: effects of silvicultural practices and relation to growth rate. Australian Forestry 64 (2), 2001. pp 106-110.
18. DU TOIT, B.; ARBUTHNOT, A.; OSCROFT D.; JOB R.A. 2001. The effects of remedial fertilizer treatments on growth and pulp properties of Eucalyptus grandis stands established on infertile soils of the Zululand coastal plain. South African Forestry Journal 192: 9-18.
19. EULACIO, N.; VOLFOVICZ, R. 1996. Descripción estadística; aplicaciones en las ciencias agrarias. Montevideo. Facultad de Agronomía. 64p.
20. FERREIRA C.A.; DE FREITAS M.; FERREIRA M. 1979. Densidade basica da madeira de plantacoes comercias de Eucaliptos, na regio de Mogi-Guacú (S.P). IPEF 18: 106-117.
21. FOELKEL C.E.B.; BRASIL M.A.M.; BARRICHELO L.E.G., 1971. Metodos para determinacao da densidade basica de cavacos para coniferas e folhosas. IPEF 2/3: 65-74.

22. GREAVES B.L.; BORRALHO N.M.G.; RAYMOND C.A. 1995. Use of a pilodyn for indirect selection of basic density in *Eucalyptus nitens*. In Proceedings of the Cooperative Research Centre for Temperate Hardwood Forestry. IUFRO Conference, 19-24 February, Hobart, Australia: 106-109.
23. HARDNER C.; TIBBITS W. 1996. Wood density in *Eucalyptus nitens* is under strong additive genetic control but inbreeding depression is absent. In Tree Improvement for Sustainable Tropical Forestry: 193-194.
24. KAGEYAMA P.Y.; MORA A.L.; BARRICHELO L.E.G.; MIGLIORINI A.J.; SANSIGOLO C.A. 1982. Variacao genética para Densidade da Madeira em Progenies de *Eucalyptus grandis*. 4º Congresso Florestal Brasileiro Anais Ano 8 Nº28 10 –15 Mayo 1982 Bello Horizonte – Brasil: 318-324.
25. LIMA J.T., ROSADO S.C.S., TRUGILHO P.F. 2001. Assessment of wood density of seven clones of *Eucalyptus grandis*. South African Forestry Journal 191: 21-27.
26. LOMBARDO A.; HELGUERA G. 1953. Los Eucalyptus en el primer centenario de su introducción en el Uruguay. Almanaque del Banco de Seguros del Estado Año XL: 172-210.
27. LOPES A.; GARCIA J.N. 2002. Densidade basica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padroes de casca apresentadas pela populacao. Scientia Forestalis 62: 13-23.

28. LOPEZ J.A.; STAFFIERI G.M. 2003. Variación radial de la densidad de la madera de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* a los 21 años de edad. EEA INTA Bella Vista, Corrientes, Argentina.
29. MALAN F.S. 1988. Genetic variation in some growth and wood properties among 18 full-sib families of South African grown *Eucalyptus grandis*: a preliminary investigation. *South African Forestry Journal* 146: 38-43.
30. \_\_\_\_\_. 1991. Variation association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. *South African Forestry Journal* 157: 16-23.
31. \_\_\_\_\_.; HOON M. 1992. Effect of initial Spacing and Thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*., *South African Forestry Journal* 163: 13-20.
32. \_\_\_\_\_.; ARBUTHNOT A.L. 1995. The inter-relationships between density and fibre properties of South African grown *Eucalyptus grandis*. In *Proceedings of the Cooperative Research Centre for Temperate Hardwood Forestry. IUFRO Conference, 19-24 February, Hobart, Australia: 116-118.*
33. NICHOLLS J.W.P. 1985. A new method for determining wood density in the standing tree. *Australian Forest Research* 15 (2): 195-206.
34. RAYMOND C.A. 1995. Genetic control of wood and fibre traits in Eucalypts. In *Proceedings of the Cooperative Research Centre for Temperate Hardwood Forestry. IUFRO Conference, 19-24 February, Hobart, Australia: 49-51.*

35. REPORTE DE ESPECIE N°7, Eucalipto grandis. Trees Version 2, Agrosoft Ltda. 2001, Medellin- Colombia. 17 p.
36. RODRIGUEZ F.; BROTO M.; BADIA M.; GARCIA A.; CLOSA S. 2002. Estudio de la variación de las propiedades de la madera en el fuste. Universidad de Lerida & Institute National de Recherche Agronomique. Champenoux. LERFOB- España.
37. ROJAS P.; FERNANDEZ DE LA REGUERA P.; ARAVENA R. ; SAN MARTIN E. 1993. Funciones de predicción de densidad básica en *Eucalyptus globulus ssp. globulus* y *Eucalyptus nitens* por un método no destructivo. INFOR, ACTAS Simposio “Los Eucalyptus en el desarrollo forestal de Chile”. PUCON – Chile: 109-125.
38. SENYSZYN P. 1999. La Madera, aspectos estructural, cualitativo y utilitario. Montevideo. Facultad de Agronomía: 99 p.
39. SOKAL R.; ROLHF F. J.; 1979. Biometría, Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Madrid, H. Blume Ediciones: 832 p.
40. SORRENTINO A.; 1997. Manual para diseño y ejecución de Inventarios Forestales. Montevideo, Hemisferio Sur: 350p.
41. STEEL R., TORRIE J.; 1988. Bioestadística, Principios y procedimientos. Segunda edición, Mc Graw – Hill: 622p.
42. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). Norma T258 om-94.

43. TUSET. R.; DURAN F. 1979, Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur: 688 p.
44. UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE (CHILE). DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION CIVIL 2003. Determinación de la densidad de la madera por la Norma Nch 176/2 of. 86 Mod 1988.
45. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo: 96 p.
46. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION FORESTAL. 2003. Boletín estadístico Año 4, Nº 3: 52 p.
47. VIGNERON Ph.; GERARD J.; BOUVET J.M. 1995. Relationship between Basic density and growth in fertilization trial with clones of Eucalyptus hybrids in Congo. In Proceedings of the Cooperative Research Centre for Temperate Hardwood Forestry. IUFRO Conference, 19-24 February, Hobart, Australia: 68-71.
48. WILKINS A.P. 1990. Influence of silvicultural treatment on growth and wood density of Eucalyptus grandis grown on a previous pasture site. Australian Forestry 53 (3): 168-172.
49. XAVIER A.; GONCALVES BORGES R.C.; CRUZ C.D.; CECON P.R. 1997. Parametros genéticos de características de Qualidade da madeira en Eucalyptus grandis. Revista Arvore, Vicosa-MG 21 (1): 71-78.
50. ZILIANI G. 1998. Anatomía de Maderas. Montevideo. Facultad de Agronomía: 38p.

## 10. ANEXOS

**Anexo N°1. Cuadro con valores dasométricos y cormométricos, para árboles de 4 años.**

Árbol N°	Ht (m)	Hc (m)	DAP c/c (cm)	Esp. de corteza (cm)	Vr com s/c (m <sup>3</sup> )	FF com s/c
1	21,6	14,4	17,8	0,5	0,193	0,418
2	21,9	15,3	19,5	0,55	0,207	0,394
3	22,6	16,1	19	0,5	0,212	0,400
4	22,6	14,5	16,9	0,4	0,180	0,407
5	22,4	13,8	16,2	0,4	0,158	0,364
6	22	14,8	17,2	0,5	0,178	0,415
7	21,8	14,1	17,1	0,5	0,169	0,451
8	24,4	15,6	20,3	0,6	0,254	0,375
9	23	15,5	17,2	0,4	0,171	0,422
10	23,1	16,4	20,8	0,6	0,278	0,384
11	23,3	15,8	17,2	0,5	0,209	0,440
12	23	15,1	16	0,5	0,163	0,402
13	23,7	15,7	18	0,5	0,198	0,369
14	20,9	14,1	16,2	0,4	0,148	0,477
15	23,1	16,6	20,8	0,5	0,260	0,397
16	24	17,3	18,8	0,5	0,232	0,379
17	23,1	17,7	19	0,5	0,245	0,441
18	23,3	17,4	20	0,4	0,262	0,376
19	22,3	16,2	17,6	0,4	0,201	0,422
20	22,2	16	27,4	0,5	0,197	0,401
21	22,9	16,8	17,2	0,5	0,177	0,393
22	23,8	18,1	18	0,4	0,186	0,354
23	23,1	16,9	18,2	0,4	0,240	0,408
24	23,2	17,3	19	0,4	0,216	0,414
25	22,7	17,2	19,2	0,4	0,242	0,443
<b>Promedio</b>	22,8	15,95	18,584	0,47	0,207	0,406
<b>Desvío Estándar</b>	0,798	1,228	2,304	0,065	0,036	0,030
<b>C.V (%)</b>	3,500	7,699	12,399	13,734	17,475	7,301

Donde, para los anexos N° 1 y N° 2, los parámetros son Ht (m) = altura total, Hc (m) = altura comercial, Vr com s/c = volumen comercial sin corteza y FF com s/c = factor de forma comercial sin corteza.

**Anexo N°2. Cuadro con valores dasométricos y cormométricos, para árboles de 8 años.**

Árbol N°	Ht (m)	Hc (m)	DAP c/c (cm)	Esp. de corteza (cm)	Vr com s/c (m <sup>3</sup> )	FF com s/c
26	27,1	21,4	19,3	0,6	0,303	0,470
27	29,6	24,6	23	0,6	0,499	0,460
28	30,1	24,1	22,8	0,5	0,475	0,469
29	26,4	21,4	19,5	0,5	0,327	0,481
30	29,8	24,5	23,5	0,6	0,521	0,412
31	30,8	23,1	23,5	0,5	0,597	0,477
32	27,4	21,5	21,5	0,7	0,389	0,430
33	27,8	21,8	21,5	0,6	0,369	0,431
34	28,2	24,5	20,5	0,6	0,379	0,469
35	29,6	24,6	21,8	0,6	0,395	0,425
36	31,1	22,9	23,5	0,7	0,504	0,442
37	29,9	27,7	21,5	0,6	0,359	0,392
38	30	24,7	25	0,7	0,557	0,439
39	28,1	23,1	22,1	0,6	0,398	0,455
40	28,8	22,3	19,4	0,6	0,356	0,445
41	28,1	20,2	21,5	0,5	0,359	0,428
42	30,1	23,2	21,5	0,5	0,449	0,461
43	29,1	21,7	18,7	0,4	0,335	0,443
44	28,6	21,2	20,5	0,5	0,366	0,440
45	28,9	21,6	19,2	0,4	0,327	0,458
46	27,6	19,2	19	0,4	0,286	0,411
47	28,8	22,6	19,3	0,5	0,346	0,447
48	27,7	20,6	21,5	0,6	0,363	0,428
49	29	22,8	18,5	0,6	0,325	0,512
50	29,3	22,6	20,1	0,6	0,345	0,429
<b>Promedio</b>	<b>28,876</b>	<b>22,716</b>	<b>21,128</b>	<b>0,56</b>	<b>0,397</b>	<b>0,446</b>
<b>Desvío Estándar</b>	<b>1,181</b>	<b>1,808</b>	<b>1,775</b>	<b>0,087</b>	<b>0,083</b>	<b>0,026</b>
<b>C.V (%)</b>	<b>4,091</b>	<b>7,959</b>	<b>8,401</b>	<b>15,465</b>	<b>20,852</b>	<b>5,805</b>

**Anexo N°3. Medidas de Pilodyn al DAP y su promedio, para árboles de 4 años.**

Árbol N°	Medidas (cm)			Promedio Árbol (cm)
	1º	2º	3º	
1	1,7	1,7	1,9	1,77
2	1,6	1,4	1,5	1,50
3	1,9	1,8	1,9	1,87
4	2	2	2	2,00
5	1,9	1,7	1,7	1,77
6	1,5	1,6	1,5	1,53
7	1,7	1,8	1,8	1,77
8	1,7	1,6	1,7	1,67
9	1,8	1,6	1,7	1,70
10	2,1	2,2	2,2	2,17
11	1,7	1,9	1,8	1,80
12	1,7	1,8	1,7	1,73
13	1,6	1,5	1,5	1,53
14	1,9	1,8	1,8	1,83
15	1,9	2	2	1,97
16	1,5	1,5	1,6	1,53
17	1,9	2	2	1,97
18	2,3	2,3	2,1	2,23
19	2	2,1	2,1	2,07
20	1,5	1,6	1,7	1,60
21	1,9	1,9	2,1	1,97
22	2,1	2,3	2,3	2,23
23	2,3	2,3	2,2	2,27
24	1,7	1,5	1,6	1,60
25	2	1,8	1,9	1,90
<b>Promedio</b>	<b>1,86</b>	<b>1,84</b>	<b>1,86</b>	<b>1,85</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>
<b>C.V (%)</b>	<b>11,92</b>	<b>14,38</b>	<b>12,51</b>	<b>12,43</b>

**Anexo N°4. Medidas de Pilodyn al DAP y su promedio, para árboles de 8 años.**

Árbol N°	Medidas (cm)			Promedio Árbol (cm)
	1°	2°	3°	
26	1,5	1,5	1,6	1,53
27	1,5	1,7	1,5	1,57
28	1,7	1,8	1,8	1,77
29	1,5	1,5	1,7	1,57
30	1,6	1,5	1,5	1,53
31	1,6	1,6	1,5	1,57
32	1,5	1,5	1,4	1,47
33	1,5	1,5	1,6	1,53
34	1,3	1,3	1,3	1,30
35	1,4	1,6	1,4	1,47
36	1,8	1,8	1,7	1,77
37	1,3	1,3	1,4	1,33
38	1,5	1,5	1,4	1,47
39	1,6	1,5	1,4	1,50
40	1,8	2	1,8	1,87
41	1,7	1,7	1,8	1,73
42	1,5	1,5	1,6	1,53
43	1,6	1,5	1,5	1,53
44	1,6	1,8	1,8	1,73
45	1,5	1,6	1,7	1,60
46	1,8	1,6	1,7	1,70
47	1,5	1,4	1,4	1,43
48	1,5	1,5	1,5	1,50
49	1,5	1,6	1,5	1,53
50	1,8	1,7	1,8	1,77
<b>Promedio</b>	<b>1,56</b>	<b>1,58</b>	<b>1,57</b>	<b>1,57</b>
<b>Desvío estándar</b>	<b>0,14</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>0,14</b>
<b>C.V (%)</b>	<b>9,02</b>	<b>10,17</b>	<b>10,14</b>	<b>8,93</b>

**Anexo N°5. Volúmenes (cm<sup>3</sup>) por disco y por árbol, para la edad de 4 años.**

Disco Árbol	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>DAP</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	D <sub>13</sub>	D <sub>14</sub>	D <sub>15</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>17</sub>	Promedio	Desvío estándar	C.V. (%)
1	738,6	615,9	476	460,4	548,8	421,2	367,7	308,9	328,3	301,1	214	263,9	197,3	199,7	172,6	153,8	-	-	-	360,51	171,12	47,47
2	844,9	666,7	645,1	617,1	496,3	488,6	359,2	443,3	349,5	332	303,5	268,9	285	202,8	194,2	135,5	-	-	-	414,54	198,60	47,91
3	923,2	629,8	618,8	648,7	602,9	577,6	532,5	542,6	432,7	304,8	298	260,9	235,8	216,2	180,3	128,1	116,9	-	-	426,46	228,85	53,66
4	761,3	689,9	508,7	370,8	455,3	372,2	397,1	358,2	383,3	292,8	255,9	269,2	189,7	187,4	163	113,2	-	-	-	360,50	179,88	49,90
5	560,2	477,6	509,9	447,8	504,3	360,2	310,4	272	324,8	276,1	214,1	210,9	234,9	155	127,1	-	-	-	-	332,35	138,19	41,58
6	588	569,5	477,3	530,3	482,7	438,2	387,9	357,8	320,1	291,7	242,9	306,4	230,8	184,4	159,6	121	-	-	-	355,54	147,86	41,59
7	650,2	509,2	542,2	550,6	453,1	420,9	389,5	331,3	328,9	303,6	269	240,8	216,9	203,6	143,1	-	-	-	-	370,19	148,12	40,01
8	804,3	847,1	796,6	780	768,9	824	563,2	466,6	545,7	390,1	368,7	309,2	225,5	256,3	191,5	160	133,9	-	-	495,98	263,26	53,08
9	468	332,2	539,8	403,5	413,1	429,3	390	486,6	316,1	268,7	232,2	241,8	200,5	179,2	190,5	142,2	-	-	-	327,11	123,49	37,75
10	909,9	982,2	788,6	859,3	721,1	653,2	574,9	535,5	388	452,1	395,2	328,1	276,5	285,9	281,2	204,7	167,8	-	-	517,89	260,20	50,24
11	800,4	560,5	610,9	578,2	533,3	414,8	513,5	433,8	444,5	339,7	313,1	306,9	263,2	204,2	222,3	203,1	164,1	-	-	406,26	176,52	43,45
12	621,7	430,3	463,5	418,6	430,1	404,5	392,9	371,2	396,5	261,4	280,3	244,2	177,3	193,5	145,3	122,4	-	-	-	334,61	136,58	40,82
13	870,5	618,8	541,1	605,6	550,9	469,8	351,2	397,1	334,4	356,7	239,5	206,8	190	187,5	243,1	135,9	-	-	-	393,68	202,27	51,38
14	592	556,3	351	549,9	492,2	365,4	315,6	326,7	311,5	241,1	239,9	203,6	150	172,5	137,1	-	-	-	-	333,65	151,89	45,52
15	894,6	723,3	829,4	710,2	584	649,1	507,2	532,4	550,1	308,3	449,7	377,8	293,1	274	227,9	208	182,5	119,8	-	467,86	233,30	49,87
16	824	674,2	636,9	767,1	614,9	390,5	506,8	445,7	313,2	290,6	399,5	340,1	254,1	281,9	154,7	149,2	152,8	121,2	-	406,52	220,30	54,19
17	1013,3	484,6	690,9	743,2	588,8	570,3	567,7	419,9	483,3	450,4	353,2	319,6	390,5	293	275,6	150,5	209,1	173,4	137,9	437,64	225,57	51,54
18	845,2	793,1	731,4	897,7	688,8	781,1	689,7	380,2	459,6	418,4	323,2	322,3	343,5	304,9	217,1	159,8	191,9	135,4	-	482,41	258,22	53,53
19	612,3	682	631,5	689,9	595,5	633,1	475,6	521,2	495,9	292	375,9	320,6	280,5	165,2	195,7	115,8	117,5	-	-	423,54	203,91	48,14
20	948,2	780,5	674,1	539,8	623	562,2	361,1	429,9	387,1	430,1	322,2	232	268,1	200,5	208,3	123	-	-	-	443,13	230,17	51,94
21	785,9	679,2	426,2	633,2	510,6	442,1	320,1	453,2	325,9	362,1	335	318,7	260,6	216,3	163,6	140	-	-	-	398,29	182,49	45,82
22	902,7	526,6	612,9	578,1	679	634,2	643,1	559,9	437,5	403,1	302,3	240	258,9	221,8	104,3	122,1	-	-	-	451,66	227,06	50,27
23	861,7	742,2	887,3	572,2	655,5	859,3	385,2	387,9	390,6	412,7	294,8	302,1	356,5	276	244,1	148,9	130,1	85,8	-	444,05	258,52	58,22
24	696,2	672	508,1	685,5	589,2	512,5	538,7	462,6	354,5	329,8	410,5	248,1	206	285,7	195,9	135,8	120,2	129,6	-	393,38	198,45	50,45
25	940,2	726	652,8	739,5	715,2	563,6	673,7	500,1	516,8	442,3	432,9	376,4	359,7	228,2	214,4	140,8	116,6	129,4	-	470,48	242,81	51,61
<b>Promedio</b>	791,65	648,44	627,12	647,48	589,85	556,84	482,09	444,31	409,48	355,43	333,53	288,37	261,65	233,17	197,67	150,72	153,32	127,80	137,90			
<b>Desvío estándar</b>	145,81	156,12	141,73	134,12	101,33	150,58	118,76	68,13	81,14	69,01	66,20	53,96	66,02	46,41	47,59	28,99	32,28	25,87	-			
<b>C.V. (%)</b>	18,42	24,08	22,60	20,71	17,18	27,04	24,63	15,33	19,82	19,42	19,85	18,71	25,23	19,90	24,08	19,24	21,06	20,24	-			

**Anexo N°6. Pesos anhidro (gramos) por disco y por árbol, para la edad de 4 años.**

Disco Árbol	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>DAP</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	D <sub>13</sub>	D <sub>14</sub>	D <sub>15</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>17</sub>	Promedio	Desvío estándar	C.V. (%)
1	319,7	243,8	188,8	182,2	216,2	174,8	147,6	125,8	130,6	130,6	90,5	115,2	84,8	87,8	75,7	67,4	-	-	-	148,84	69,12	46,44
2	421,6	307,5	297,6	285,7	216,5	217,2	155,8	189	155,3	141,6	136,6	123,9	134,7	91,6	83,6	61,8	-	-	-	188,75	97,31	51,55
3	425,1	251,4	248,3	266,2	228,8	223,5	208,9	245	168,5	122,4	124,9	106,2	98,7	96	80,1	55,1	49,4	-	-	176,38	98,30	55,73
4	325,3	270,3	188,1	134,8	168,3	132,8	143	131,6	147,5	116,2	100,5	104,8	77	73,7	67,4	45,8	-	-	-	139,19	73,26	52,63
5	242,7	178,8	191,9	160,9	178,3	130,9	108,7	96,8	119,9	107,8	84,9	84,2	96,8	61,4	52,8	-	-	-	-	126,45	53,50	42,30
6	277,2	251,6	202,4	219,3	198,5	177,6	157,5	148,4	140,1	124,6	107	141,5	108,7	88,3	71,6	58,6	-	-	-	154,56	63,02	40,77
7	309,4	213,1	228,7	229,9	177	158,6	157,6	125,4	128,7	120,9	109,6	97,1	90,4	81,2	61,5	-	-	-	-	152,61	68,23	44,71
8	346,2	337,1	301,7	298,6	291,1	331,9	217,8	179,2	221,7	160	156,6	134,2	95,2	107,6	85	73,4	59	-	-	199,78	101,12	50,62
9	257,8	151,5	214,2	158	152,6	161	149	179,4	127,2	109,1	91,4	94,4	77,9	74,9	74,3	56,1	-	-	-	133,05	55,56	41,76
10	382,5	361,9	282,1	312,2	250,3	229,9	200,4	192,1	135,5	159,1	145,5	124,2	103,9	114,1	106,3	77,5	70,4	-	-	191,05	97,70	51,14
11	351,5	209,4	233,2	212,2	193,1	156	181,3	153,8	165,8	129,2	124,6	124,8	104	80,1	84,7	84,7	65,1	-	-	156,09	71,54	45,83
12	278	180,4	192,3	169,2	173,6	162,4	166	151,7	167,9	107,3	125,8	103,6	81,9	89,9	61,9	56,4	-	-	-	141,77	57,16	40,32
13	417	271,4	229	264,8	240,9	197,9	153,5	175,4	145	157,7	108,3	95,7	85,3	85,6	120,7	62,3	-	-	-	175,66	92,30	52,54
14	265,5	273	140	216,7	192,3	146,2	124,8	127,6	121,2	95,8	102	86,2	61,1	76,2	60,4	-	-	-	-	139,27	68,53	49,21
15	339,7	259,7	298	247,2	196,1	224,2	169,4	180,7	189,4	108,9	156	136,5	109,1	98,2	84,2	77,5	68,1	47,7	-	166,14	83,39	50,19
16	408,7	304,6	277,8	335,4	263,4	162,2	213,2	186,7	136,5	129,3	187,4	157,9	118,8	127,4	70,2	66,9	74,8	63,3	-	182,47	100,27	54,95
17	412,9	175	249,2	273,7	205,8	198,9	203,3	149,1	184,3	171,2	131,2	121,5	161,3	120	107,9	65,3	85,4	72,9	60,5	165,76	84,79	51,15
18	329,6	266,1	252,6	293,9	239,6	262,7	226,7	130,1	154,1	149,9	121,4	119,7	127,1	109,9	83,7	63,3	75	52,6	-	169,89	86,69	51,03
19	249,4	240,5	231	240,9	204,1	221,9	160,3	179,5	172	108,3	141,1	116,1	106,4	67,1	76,6	45	45,8	-	-	153,29	71,27	46,49
20	482,7	371,4	308,7	247	291,4	235	157,7	190,3	176,2	180,7	144,4	97,6	113,1	88,7	91,5	53	-	-	-	201,84	116,21	57,58
21	339,7	259,7	160,7	251,4	197,7	169,4	125,9	182,9	139,1	147,3	140,8	135,9	112,1	86,7	68,8	61,5	-	-	-	161,23	73,48	45,58
22	357,8	187,1	223,7	196,3	247,7	212,1	239,3	200,4	150,7	144,2	103,6	88,9	93,8	79	37,7	44,3	-	-	-	162,91	86,13	52,87
23	344,4	255,9	304	195,5	220,9	290,9	137	138,9	137,6	155,4	108,7	111,1	135,4	109,8	104,5	57,8	57,4	35,6	-	161,16	89,18	55,34
24	335,2	292,7	224,3	280,9	247,3	216,8	219,5	207,4	152,6	149,7	181,8	117	95,8	137,8	94,8	62,3	57,5	67	-	174,47	84,01	48,15
25	397,1	269,9	245,2	271,8	270	209,8	243,6	183,4	186,3	160,4	169,3	145,1	151,4	94,1	85,5	63,5	50,8	53,1	-	180,57	92,73	51,35
<b>Promedio</b>	<b>344,67</b>	<b>255,35</b>	<b>236,54</b>	<b>237,79</b>	<b>218,46</b>	<b>200,18</b>	<b>174,71</b>	<b>166,02</b>	<b>154,15</b>	<b>135,50</b>	<b>127,76</b>	<b>115,33</b>	<b>104,99</b>	<b>93,08</b>	<b>79,66</b>	<b>61,80</b>	<b>63,23</b>	<b>56,03</b>	<b>60,5</b>			
<b>Desvío estándar</b>	<b>62,82</b>	<b>56,59</b>	<b>46,42</b>	<b>52,48</b>	<b>37,79</b>	<b>48,49</b>	<b>38,03</b>	<b>33,22</b>	<b>24,81</b>	<b>23,19</b>	<b>28,11</b>	<b>19,63</b>	<b>23,59</b>	<b>18,83</b>	<b>18,59</b>	<b>10,42</b>	<b>11,97</b>	<b>12,68</b>	<b>-</b>			
<b>C.V (%)</b>	<b>18,23</b>	<b>22,16</b>	<b>19,62</b>	<b>22,07</b>	<b>17,30</b>	<b>24,22</b>	<b>21,77</b>	<b>20,01</b>	<b>16,09</b>	<b>17,11</b>	<b>22,00</b>	<b>17,02</b>	<b>22,47</b>	<b>20,23</b>	<b>23,34</b>	<b>16,87</b>	<b>18,94</b>	<b>22,63</b>	<b>-</b>			

**Anexo N°7. Densidades básicas (g/cm<sup>3</sup>) por disco y por árbol, para la edad de 4 años**

Disco Árbol	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>DAP</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	D <sub>13</sub>	D <sub>14</sub>	D <sub>15</sub>	D <sub>16</sub>	D <sub>17</sub>	Promedio	Desvío estándar	C.V. (%)
1	0,433	0,396	0,397	0,396	0,394	0,415	0,401	0,407	0,398	0,434	0,423	0,437	0,430	0,440	0,439	0,438	.	.	.	0,419	0,018	4,350
2	0,499	0,461	0,461	0,463	0,436	0,445	0,434	0,426	0,444	0,427	0,450	0,461	0,473	0,452	0,430	0,456	.	.	.	0,450	0,020	4,347
3	0,460	0,399	0,401	0,410	0,379	0,387	0,392	0,452	0,389	0,402	0,419	0,407	0,419	0,444	0,444	0,430	0,423	.	.	0,416	0,025	5,930
4	0,427	0,392	0,370	0,364	0,370	0,357	0,360	0,367	0,385	0,397	0,393	0,389	0,406	0,393	0,413	0,405	.	.	.	0,388	0,021	5,363
5	0,433	0,374	0,376	0,359	0,354	0,363	0,350	0,356	0,369	0,390	0,397	0,399	0,412	0,396	0,415	.	.	.	.	0,383	0,026	6,854
6	0,471	0,442	0,424	0,414	0,411	0,405	0,406	0,415	0,438	0,427	0,441	0,462	0,471	0,479	0,449	0,484	.	.	.	0,441	0,028	6,256
7	0,476	0,418	0,422	0,418	0,391	0,377	0,405	0,379	0,391	0,398	0,407	0,403	0,417	0,399	0,430	.	.	.	.	0,408	0,025	6,081
8	0,430	0,398	0,379	0,383	0,379	0,403	0,387	0,384	0,406	0,410	0,425	0,434	0,422	0,420	0,444	0,459	0,441	.	.	0,414	0,024	5,856
9	0,551	0,456	0,397	0,392	0,369	0,375	0,382	0,369	0,402	0,406	0,394	0,390	0,389	0,418	0,390	0,395	.	.	.	0,405	0,046	11,278
10	0,420	0,368	0,358	0,363	0,347	0,352	0,349	0,359	0,349	0,352	0,368	0,379	0,376	0,399	0,378	0,379	0,420	.	.	0,372	0,023	6,295
11	0,439	0,374	0,382	0,367	0,362	0,376	0,353	0,355	0,373	0,380	0,398	0,407	0,395	0,392	0,381	0,417	0,397	.	.	0,385	0,023	6,021
12	0,447	0,419	0,415	0,404	0,404	0,401	0,422	0,409	0,423	0,410	0,449	0,424	0,462	0,465	0,426	0,461	.	.	.	0,428	0,022	5,238
13	0,479	0,439	0,423	0,437	0,437	0,421	0,437	0,442	0,434	0,442	0,452	0,463	0,449	0,457	0,497	0,458	.	.	.	0,450	0,019	4,259
14	0,448	0,491	0,399	0,394	0,391	0,400	0,395	0,391	0,389	0,397	0,425	0,423	0,407	0,442	0,441	.	.	.	.	0,417	0,030	7,176
15	0,380	0,359	0,359	0,348	0,336	0,345	0,334	0,339	0,344	0,353	0,347	0,361	0,372	0,358	0,369	0,373	0,373	0,398	.	0,358	0,017	4,873
16	0,496	0,452	0,436	0,437	0,428	0,415	0,421	0,419	0,436	0,445	0,469	0,464	0,468	0,452	0,454	0,448	0,490	0,522	.	0,454	0,029	6,383
17	0,407	0,361	0,361	0,368	0,350	0,349	0,358	0,355	0,381	0,380	0,371	0,380	0,413	0,410	0,392	0,434	0,408	0,420	0,439	0,388	0,029	7,450
18	0,390	0,336	0,345	0,327	0,348	0,336	0,329	0,342	0,335	0,358	0,376	0,371	0,370	0,360	0,386	0,396	0,391	0,388	.	0,361	0,024	6,693
19	0,407	0,353	0,366	0,349	0,343	0,350	0,337	0,344	0,347	0,371	0,375	0,362	0,379	0,406	0,391	0,389	0,390	.	.	0,368	0,023	6,335
20	0,509	0,476	0,458	0,458	0,468	0,418	0,437	0,443	0,455	0,420	0,448	0,421	0,422	0,442	0,439	0,431	.	.	.	0,446	0,025	5,568
21	0,432	0,382	0,377	0,397	0,387	0,383	0,393	0,404	0,427	0,407	0,420	0,426	0,430	0,401	0,421	0,439	.	.	.	0,410	0,019	4,662
22	0,396	0,355	0,365	0,340	0,365	0,334	0,372	0,358	0,344	0,358	0,343	0,370	0,362	0,356	0,361	0,363	.	.	.	0,359	0,015	4,245
23	0,400	0,345	0,343	0,342	0,337	0,339	0,356	0,358	0,352	0,377	0,369	0,368	0,380	0,398	0,428	0,388	0,441	0,415	.	0,376	0,032	8,458
24	0,481	0,436	0,441	0,410	0,420	0,423	0,407	0,448	0,430	0,454	0,443	0,472	0,465	0,482	0,484	0,459	0,478	0,517	.	0,454	0,030	6,699
25	0,422	0,372	0,376	0,368	0,378	0,372	0,362	0,367	0,360	0,363	0,391	0,385	0,421	0,412	0,399	0,451	0,436	0,410	.	0,392	0,029	7,269
<b>Promedio</b>	0,445	0,402	0,390	0,388	0,383	0,382	0,383	0,387	0,392	0,398	0,408	0,410	0,416	0,419	0,420	0,425	0,424	0,439	0,439			
<b>Desvío estándar</b>	0,042	0,044	0,034	0,037	0,035	0,032	0,033	0,036	0,036	0,030	0,035	0,035	0,034	0,035	0,034	0,034	0,035	0,056	-			
<b>C.V (%)</b>	9,380	10,986	8,793	9,527	9,150	8,302	8,713	9,327	9,274	7,536	8,616	8,587	8,138	8,465	8,131	8,050	8,364	12,818	-			

**Anexo N°8. Volúmenes (cm<sup>3</sup>) por disco y por árbol, para la edad de 8 años**

Disco Árbol	D <sub>0</sub>	D <sub>DAP</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	Promedio	Desvío estándar	C.V. (%)
26	645,3	564,8	539	572,5	424,1	455,8	502,2	383	372,2	291,9	182,3	115	-	-	420,68	161,47	38,38
27	1301,2	1109,9	980	1164,8	1029,3	830,5	906,2	630,5	481,2	473,8	339,9	226,8	171,5	113,4	697,07	399,29	57,28
28	1170,2	1020,3	1138,3	1111,7	929,2	733	749,5	780,5	679,3	469,4	400,6	339,8	174	-	745,83	325,35	43,62
29	1009,5	1142,5	951,4	753,5	652,6	478,2	324,8	518,9	414,3	261,4	249	127,2	99,8	-	537,16	342,02	63,67
30	1529,2	785,1	1279	909,2	1122,2	1053,4	970	749,8	810,5	480,7	448,5	248	183,5	-	813,01	395,91	48,70
31	1861,3	738,3	1193,2	632,2	1001,1	1096,1	949,8	889	729,5	541,7	500,5	202,9	205,8	198	767,10	454,86	59,30
32	933,2	894	820	869,4	693,1	672,5	590,3	496	452	221,7	190,7	171,2	-	-	583,68	279,04	47,81
33	970,5	950	989,5	772,5	636,5	693	508,7	424,7	274,8	325,6	236,2	154,7	98	-	541,13	317,40	58,66
34	1308,6	869	913,5	819,8	825,5	730	680,1	508	468,5	249	281,6	161,5	-	-	651,26	331,16	50,85
35	1435	785,7	660	845,3	719,2	526	748	482	445	396,4	220,5	165	-	-	619,01	336,48	54,36
36	1445	1104	1157	1078,5	915	949,2	933,6	495,6	642,5	508,5	319,2	289,5	134,6	-	767,09	396,83	51,73
37	1457,2	600,1	1774,9	908,3	862,2	653,8	510,9	424,4	348	212,9	165,3	151,8	-	-	672,48	509,97	75,83
38	1555,4	1192,8	1443,2	1164,8	633,1	900,7	626	685,1	578,6	396,7	388,9	320,6	261,2	-	780,55	432,92	55,46
39	1025,3	881,9	860,2	990,1	615,6	520,9	388	443,5	466,2	396,1	244,8	301,5	-	-	594,51	274,78	46,22
40	960	542,6	826,1	640,3	537,5	419,2	426,8	417,9	453,8	322	223,6	180,1	73,9	-	463,37	247,68	53,45
41	1162,3	902,8	751,5	937,5	548,7	721,5	673,9	584	316,9	268,5	263,1	147,4	-	-	606,51	312,72	51,56
42	1103,7	1061,8	972,2	820	766,1	689,3	662,8	641,3	405,5	408,4	342,2	244,7	141	-	635,31	310,49	48,87
43	739,4	809,5	642,7	603,2	565,3	483,1	582,2	347,6	479,6	375,9	166,3	161,2	-	-	496,33	204,59	41,22
44	911,3	950,2	775,4	729,9	786	758,6	588,4	520,5	296,7	384,8	304,5	144,9	-	-	595,93	263,88	44,28
45	744,4	975,3	880,3	859,9	674	664,7	562,6	436,8	228,2	259,1	250,1	165,9	-	-	558,44	284,46	50,94
46	707,9	655,5	830,5	738,7	606,3	473,2	460,9	404,4	272,8	179,6	112	-	-	-	494,71	236,81	47,87
47	1061,6	800,1	785,5	800,3	666,5	554,4	464,4	344,1	364,9	352,2	230,8	185,1	-	-	550,83	272,05	49,39
48	1168,8	850,4	780,3	722,5	705,1	680,7	558	508,6	350,2	325,9	200,2	98,4	-	-	579,09	302,29	52,20
49	914,2	591,6	737,9	556,9	572,5	529,7	475,2	356,4	254,4	275,8	292,3	209,9	111,3	-	452,16	228,47	50,53
50	1248,1	788,3	700,5	947	738,2	506,5	580,8	439,5	340,6	316,3	216,5	164,8	-	-	582,26	319,15	54,81
<b>Promedio</b>	1134,74	862,66	935,28	837,95	728,99	670,96	616,96	516,48	437,04	347,77	270,78	194,91	150,41	155,70			
<b>Desvío estándar</b>	301,79	184,67	274,48	175,26	170,67	185,61	176,98	142,17	151,68	97,76	93,03	65,27	55,19	59,82			
<b>C.V. (%)</b>	26,59	21,40	29,34	20,91	23,41	27,66	28,68	27,52	34,70	28,11	34,35	33,48	36,69	38,42			

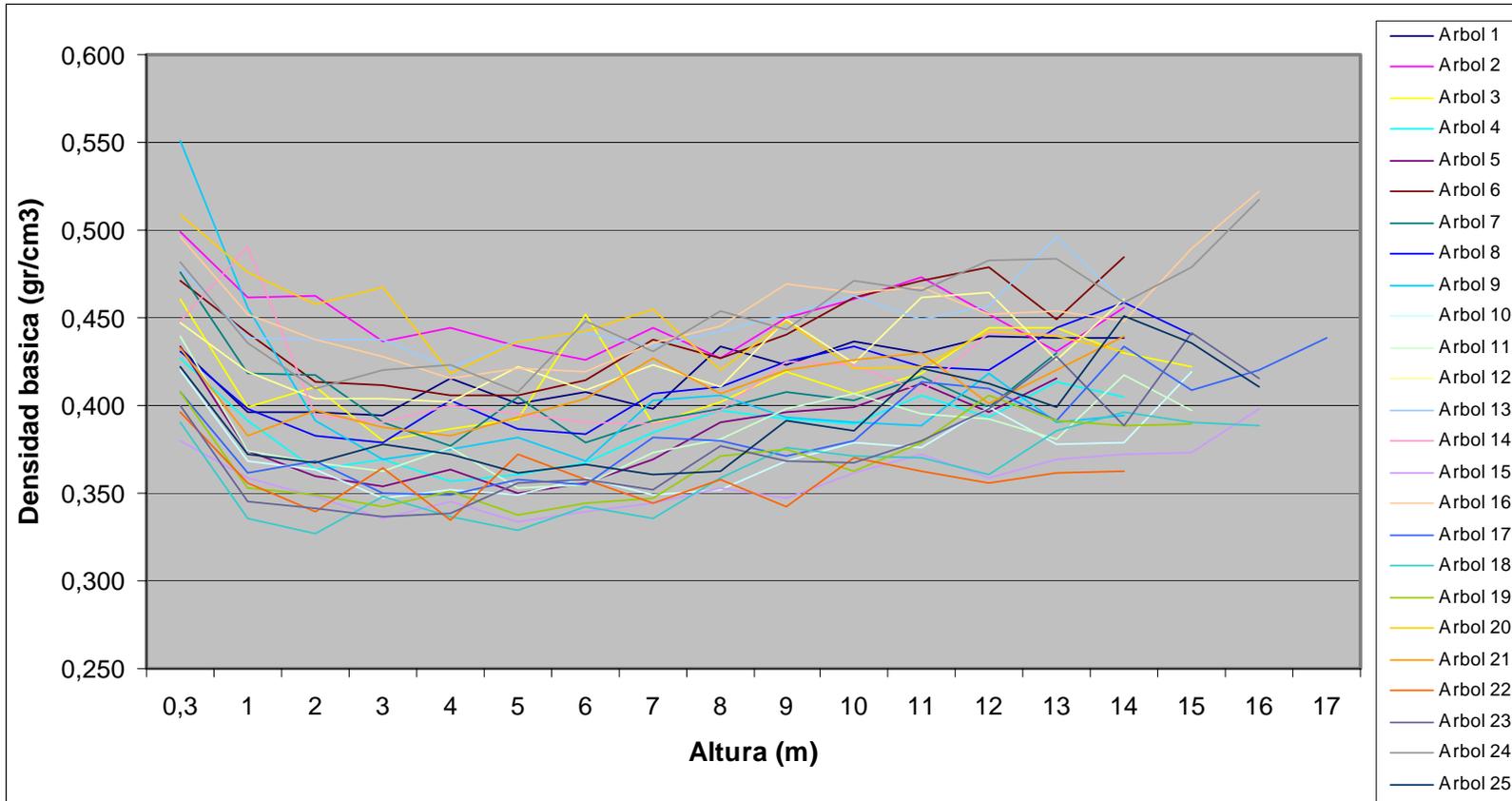
### Anexo N°9. Pesos anhidro (gramos) por disco y por árbol, para la edad de 8 años

Árbol Disco	D <sub>0</sub>	D <sub>DAP</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	Promedio	Desvío estándar	C.V. (%)
26	291,1	236,8	219,3	221,9	174,4	184,9	193,5	150,8	150,4	118,7	74,5	44,9	-	-	171,77	69,52	40,47
27	683,2	511,5	440,6	508	467,1	362,1	406,4	284,7	219,6	229,5	164,3	118,9	84,3	56,1	324,02	187,81	57,96
28	548,1	397,8	451,5	437,5	363,4	283,1	304,2	312,7	286,1	195,3	160,8	156,7	77,4	-	305,74	134,68	44,05
29	549	559,9	444,4	365	308	246,2	164	259,6	216,8	135	129,4	63,5	55,3	-	268,93	169,37	62,98
30	757,4	340	552,6	372,4	470	455,9	445,2	332	376,5	217,8	222	115,2	93,8	-	365,45	181,40	49,64
31	903,1	308	502,8	262,7	421,6	460	407,2	388,6	329,1	249,7	236,1	111,3	100,6	106,3	341,94	207,88	60,79
32	428,4	377,5	330,9	373,4	302,4	302,4	252,5	210,9	212,8	101,4	82,5	75,4	-	-	254,21	120,10	47,25
33	521,7	456,7	461	332,7	258	299,3	228,2	177	123,4	135,7	112,6	64,5	40,7	-	247,04	158,71	64,25
34	701,8	433	459,2	443,6	421,1	382,2	349,5	259,7	235,7	122,8	143,6	82,8	-	-	336,25	176,33	52,44
35	720,9	348	293,5	375,9	335,3	244,7	343,9	216,1	237,2	199,2	106,4	81,4	-	-	291,88	164,35	56,31
36	772,3	508,8	545,8	496,8	422	462,2	348,4	238,3	309,3	267,7	169,9	155,6	67,7	-	366,52	193,33	52,75
37	886,2	332	893,2	464,9	455,8	349,9	265,5	230,3	208,7	119,8	90,1	86,1	-	-	365,21	275,70	75,49
38	837,9	552,4	654,1	505,5	304,2	393	282,3	321,8	278,3	193,6	203,8	169,7	137,5	-	371,85	209,65	56,38
39	436,4	369,3	361,7	379,5	239,9	226,7	155,2	174,3	195,1	177,6	100,1	137,1	-	-	246,08	111,55	45,33
40	428,3	221,5	344,6	281,8	228,5	181,5	197,2	191,8	208,9	160,5	103,8	84,4	33,3	-	205,08	105,33	51,36
41	541,3	376,7	306,5	382,3	222,8	301,7	286,5	261,3	145	125,6	135,8	70	-	-	262,96	133,62	50,81
42	577,2	454,5	409,3	349,2	318,3	290,1	277	268,4	177	179	151,4	105,7	65,4	-	278,65	145,99	52,39
43	340,2	339,4	268,9	257,5	243,1	203,2	245,3	150,5	211,4	157,6	72,1	71	-	-	213,35	88,57	41,52
44	392,8	362,6	288,7	276,5	291,8	292,1	238,7	202,4	127,3	167,4	131,3	62,1	-	-	236,14	100,07	42,38
45	382,9	430,8	383,3	369,8	286,5	283,7	256,8	196,7	107,3	112,4	113,4	72,8	-	-	249,70	126,92	50,83
46	327,1	278,4	339,4	323,3	258,9	197	201,5	184,6	128,5	80,7	48,2	-	-	-	215,24	100,24	46,57
47	605,9	381,4	358,5	382,4	287,1	241,7	199,5	152,9	163,5	160,9	104,7	86,6	-	-	260,43	150,33	57,72
48	566,6	390,7	338,1	316,7	320,8	295,3	249,2	230,6	162	149,5	95,3	46,3	-	-	263,43	141,68	53,78
49	430,3	247,2	330,2	243,4	256,5	227,7	212,2	150,5	132,3	118,8	133,3	90,8	46,2	-	201,49	104,82	52,02
50	653,9	311	278,4	372,9	294,3	206,8	245,9	179	146,6	137,4	101,3	79,1	-	-	250,55	155,60	62,10
<b>Promedio</b>	571,36	381,04	410,26	363,82	318,07	294,94	270,23	229,02	203,55	160,54	127,47	93,00	72,93	81,20			
<b>Desvío estándar</b>	177,67	92,14	143,57	81,01	82,38	85,14	76,68	63,70	70,08	47,37	46,44	34,22	30,39	35,50			
<b>C.V. (%)</b>	31,10	24,18	34,99	22,27	25,90	28,87	28,38	27,82	34,43	29,51	36,44	36,79	41,68	43,72			

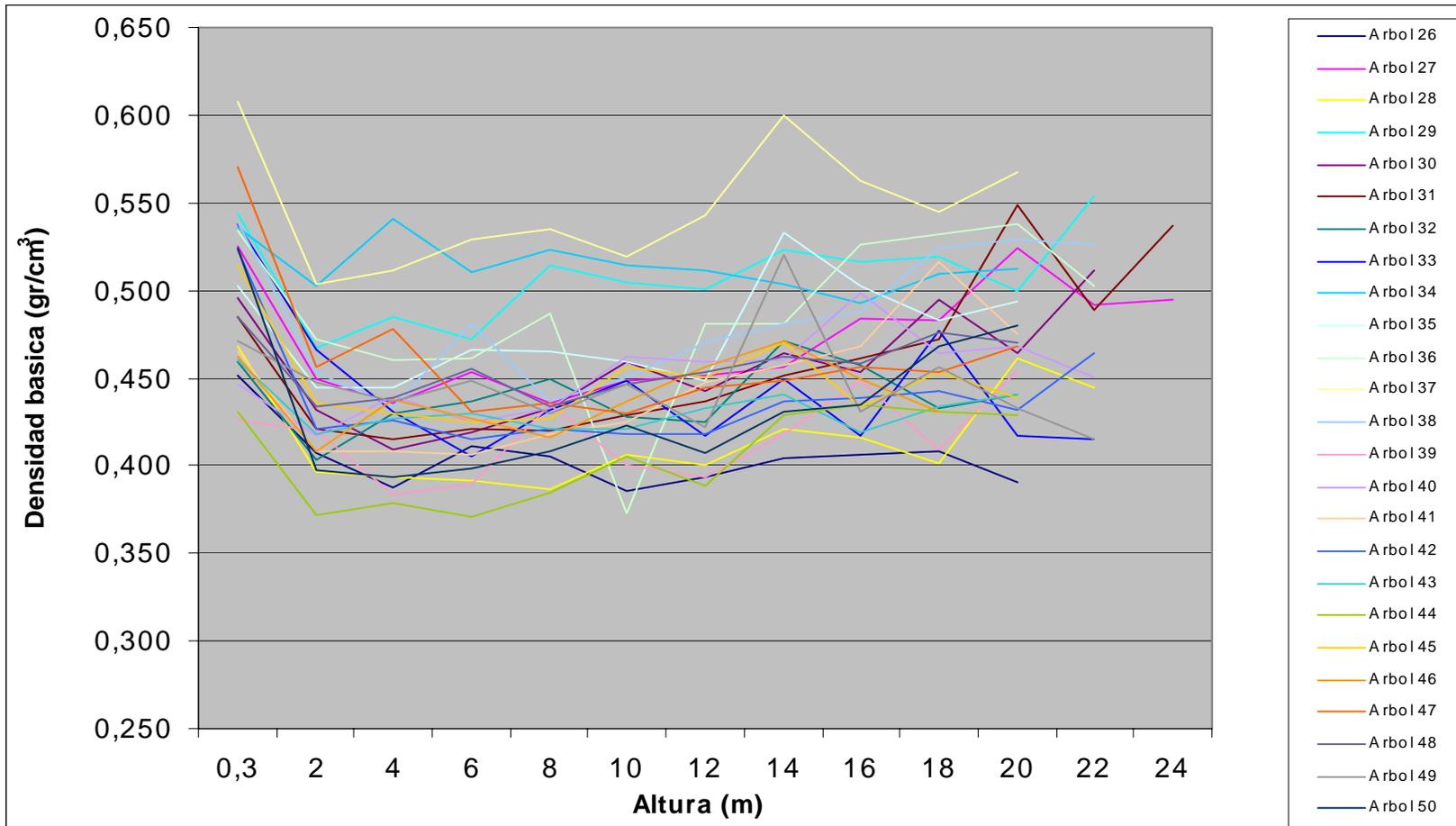
**Anexo N°10. Densidades básicas (g/cm<sup>3</sup>) por disco y por árbol, para la edad de 8 años**

Disco Árbol	D <sub>0</sub>	D <sub>DAP</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	Promedio	Desvío estándar	C.V. (%)
26	0,451	0,419	0,407	0,388	0,411	0,406	0,385	0,394	0,404	0,407	0,409	0,390	.	.	0,405	0,018	4,430
27	0,525	0,461	0,450	0,436	0,454	0,436	0,448	0,452	0,456	0,484	0,483	0,524	0,492	0,495	0,472	0,031	6,519
28	0,468	0,390	0,397	0,394	0,391	0,386	0,406	0,401	0,421	0,416	0,401	0,461	0,445	.	0,416	0,028	6,719
29	0,544	0,490	0,467	0,484	0,472	0,515	0,505	0,500	0,523	0,516	0,520	0,499	0,554	.	0,508	0,026	5,161
30	0,495	0,433	0,432	0,410	0,419	0,433	0,459	0,443	0,465	0,453	0,495	0,465	0,511	.	0,457	0,032	6,955
31	0,485	0,417	0,421	0,416	0,421	0,420	0,429	0,437	0,451	0,461	0,472	0,549	0,489	0,537	0,461	0,044	9,617
32	0,459	0,422	0,404	0,429	0,436	0,450	0,428	0,425	0,471	0,457	0,433	0,440	.	.	0,439	0,019	4,307
33	0,538	0,481	0,466	0,431	0,405	0,432	0,449	0,417	0,449	0,417	0,477	0,417	0,415	.	0,443	0,037	8,394
34	0,536	0,498	0,503	0,541	0,510	0,524	0,514	0,511	0,503	0,493	0,510	0,513	.	.	0,514	0,014	2,780
35	0,502	0,443	0,445	0,445	0,466	0,465	0,460	0,448	0,533	0,503	0,483	0,493	.	.	0,477	0,029	6,005
36	0,534	0,461	0,472	0,461	0,461	0,487	0,373	0,481	0,481	0,526	0,532	0,537	0,503	.	0,487	0,046	9,437
37	0,608	0,553	0,503	0,512	0,529	0,535	0,520	0,543	0,600	0,563	0,545	0,567	.	.	0,548	0,034	6,210
38	0,539	0,463	0,453	0,434	0,480	0,436	0,451	0,470	0,481	0,488	0,524	0,529	0,526	.	0,484	0,038	7,751
39	0,426	0,419	0,420	0,383	0,390	0,435	0,400	0,393	0,418	0,448	0,409	0,455	.	.	0,416	0,024	5,702
40	0,446	0,408	0,417	0,440	0,425	0,433	0,462	0,459	0,460	0,498	0,464	0,469	0,451	.	0,452	0,022	4,846
41	0,466	0,417	0,408	0,408	0,406	0,418	0,425	0,447	0,458	0,468	0,516	0,475	.	.	0,445	0,035	7,935
42	0,523	0,428	0,421	0,426	0,415	0,421	0,418	0,419	0,436	0,438	0,442	0,432	0,464	.	0,438	0,030	6,872
43	0,460	0,419	0,418	0,427	0,430	0,421	0,421	0,433	0,441	0,419	0,434	0,440	.	.	0,431	0,012	2,893
44	0,431	0,382	0,372	0,379	0,371	0,385	0,406	0,389	0,429	0,435	0,431	0,429	.	.	0,405	0,026	6,507
45	0,514	0,442	0,435	0,430	0,425	0,427	0,456	0,450	0,470	0,434	0,453	0,439	.	.	0,449	0,026	5,788
46	0,462	0,425	0,409	0,438	0,427	0,416	0,437	0,456	0,471	0,449	0,430	.	.	.	0,440	0,020	4,565
47	0,571	0,477	0,456	0,478	0,431	0,436	0,430	0,444	0,448	0,457	0,454	0,468	.	.	0,461	0,039	8,521
48	0,485	0,459	0,433	0,438	0,455	0,434	0,447	0,453	0,463	0,459	0,476	0,471	.	.	0,456	0,017	3,740
49	0,471	0,418	0,447	0,437	0,448	0,430	0,447	0,422	0,520	0,431	0,456	0,433	0,415	.	0,446	0,028	6,216
50	0,524	0,395	0,397	0,394	0,399	0,408	0,423	0,407	0,430	0,434	0,468	0,480	.	.	0,433	0,041	9,530
<b>Promedio</b>	0,499	0,440	0,434	0,434	0,435	0,440	0,440	0,444	0,467	0,462	0,469	0,474	0,479	0,516			
<b>Desvío estándar</b>	0,046	0,040	0,032	0,039	0,037	0,038	0,036	0,038	0,043	0,039	0,040	0,045	0,045	0,030			
<b>C.V (%)</b>	9,129	8,800	7,438	8,882	8,550	8,739	8,171	8,458	9,132	8,352	8,619	9,475	9,366	5,780			

**Anexo N°11 . Variación axial individual de la densidad básica para cada uno de los individuos muestreados, a la edad de 4 años**



**Anexo Nº12 . Variación axial individual de la densidad básica para cada uno de los individuos muestreados, a la edad de 8 años**



**Anexo 13. Valores de los límites superior e inferior de la correlación entre las medidas de penetración con Pilodyn y la densidad básica para árboles de 4 años (Gráfico N° 6 en tesis).**

Y	X	Intervalo de Confianza*	
		Ls	Li
0,397	1,77	0,413	0,393
0,461	1,50	0,450	0,416
0,401	1,87	0,401	0,382
0,370	2,00	0,388	0,366
0,376	1,77	0,413	0,393
0,424	1,53	0,445	0,413
0,422	1,77	0,413	0,393
0,379	1,67	0,426	0,402
0,397	1,70	0,422	0,399
0,358	2,17	0,374	0,342
0,382	1,80	0,409	0,390
0,415	1,73	0,417	0,396
0,423	1,53	0,445	0,413
0,399	1,83	0,405	0,386
0,359	1,97	0,391	0,370
0,436	1,53	0,445	0,413
0,361	1,97	0,391	0,370
0,345	2,23	0,368	0,332
0,366	2,07	0,382	0,356
0,458	1,97	0,391	0,370
0,377	1,97	0,391	0,370
0,365	2,23	0,368	0,332
0,343	2,27	0,366	0,327
0,441	1,60	0,436	0,408
0,376	1,90	0,397	0,378

\* Intervalo de 95 % de confianza para la recta de regresión.

Donde:

Y = Densidad básica a los 4 años de edad (gr/cm<sup>3</sup>).

X = Penetración con Pilodyn (cm).

La ecuación de la recta de regresión es  $Y = -0,1129X + 0,6024$  y su  $R^2 = 0,5821$ .

**Anexo 14. Valores de los límites superior e inferior de la correlación entre las medidas de penetración con Pilodyn y la densidad básica para árboles de 8 años (Gráfico N° 7 en tesis).**

		Intervalo de Confianza*	
Y	X	Ls	Li
0,419	1,53	0,461	0,435
0,461	1,57	0,454	0,430
0,390	1,77	0,427	0,384
0,490	1,57	0,454	0,430
0,433	1,53	0,461	0,435
0,417	1,57	0,454	0,430
0,422	1,47	0,475	0,445
0,481	1,53	0,461	0,435
0,498	1,30	0,518	0,463
0,443	1,47	0,475	0,445
0,461	1,77	0,427	0,384
0,553	1,33	0,509	0,460
0,463	1,47	0,475	0,445
0,419	1,50	0,468	0,440
0,408	1,87	0,416	0,358
0,417	1,73	0,430	0,392
0,428	1,53	0,461	0,435
0,419	1,53	0,461	0,435
0,382	1,73	0,430	0,392
0,442	1,60	0,448	0,423
0,425	1,70	0,434	0,401
0,477	1,43	0,484	0,449
0,459	1,50	0,468	0,440
0,418	1,53	0,461	0,435
0,395	1,77	0,427	0,384

\* Intervalo de 95 % de confianza para la recta de regresión.

Donde:

Y = Densidad básica a los 8 años de edad (gr/cm<sup>3</sup>).

X = Penetración con Pilodyn (cm).

La ecuación de la recta de regresión es  $Y = -0,1825X + 0,7277$  y su  $R^2 = 0,4362$ .

**Anexo 15. Valores de los límites superior e inferior de la correlación entre la densidad básica promedio y la densidad básica promedio a 2 metros de altura para árboles de 4 años de edad (Gráfico N° 8 en tesis).**

		Intervalo de Confianza*	
Y	X	Ls	Li
0,353	0,327	0,360	0,342
0,360	0,340	0,369	0,354
0,365	0,342	0,371	0,356
0,354	0,348	0,375	0,362
0,363	0,349	0,376	0,363
0,379	0,359	0,384	0,372
0,369	0,363	0,387	0,376
0,385	0,364	0,387	0,376
0,383	0,367	0,390	0,380
0,385	0,368	0,391	0,380
0,377	0,368	0,391	0,381
0,406	0,383	0,403	0,394
0,433	0,392	0,410	0,401
0,418	0,394	0,413	0,403
0,413	0,396	0,414	0,405
0,405	0,397	0,415	0,406
0,424	0,404	0,422	0,412
0,444	0,410	0,427	0,416
0,413	0,410	0,427	0,417
0,434	0,414	0,430	0,419
0,409	0,418	0,434	0,422
0,448	0,437	0,452	0,437
0,446	0,437	0,452	0,437
0,454	0,458	0,472	0,452
0,453	0,463	0,477	0,456

\* Intervalo de 95 % de confianza para la recta de regresión.

Donde:

Y = Densidad básica promedio (gr/cm<sup>3</sup>).

X = Densidad promedio a los 2 metros de altura (gr/cm<sup>3</sup>).

La ecuación de la recta de regresión es  $Y = 0,8544X + 0,0713$  y su  $R^2 = 0,8960$ .

**Anexo 16. Valores de los límites superior e inferior de la correlación entre la densidad básica promedio y la densidad básica promedio a 1,3 metros de altura para árboles de 4 años de edad (Gráfico N° 9 en tesis).**

		Intervalo de Confianza*	
Y	X	Ls	Li
0,413	0,397	0,411	0,401
0,453	0,461	0,477	0,454
0,413	0,401	0,416	0,405
0,385	0,370	0,388	0,375
0,379	0,376	0,393	0,382
0,434	0,424	0,438	0,424
0,409	0,422	0,436	0,422
0,406	0,379	0,395	0,384
0,433	0,397	0,411	0,401
0,369	0,358	0,378	0,363
0,383	0,382	0,398	0,387
0,424	0,415	0,429	0,417
0,446	0,423	0,437	0,424
0,418	0,399	0,413	0,403
0,354	0,359	0,379	0,365
0,448	0,436	0,451	0,434
0,377	0,361	0,380	0,366
0,353	0,345	0,368	0,350
0,363	0,366	0,384	0,371
0,454	0,458	0,473	0,451
0,405	0,377	0,394	0,383
0,360	0,365	0,384	0,371
0,365	0,343	0,366	0,348
0,444	0,441	0,456	0,438
0,385	0,376	0,393	0,381

\* Intervalo de 95 % de confianza para la recta de regresión.

Donde:

Y = Densidad básica promedio ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

X = Densidad promedio a los 1,3 metros de altura ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

La ecuación de la recta de regresión es  $Y = 0,9142X + 0,0435$  y su  $R^2 = 0,8708$ .

**Anexo 17. Valores de los límites superior e inferior de la correlación entre la densidad básica promedio y la densidad básica promedio a 1,3 metros de altura para árboles de 8 años de edad (Gráfico N° 10 en tesis).**

Y	X	Intervalo de Confianza*	
		Ls	Li
0,409	0,419	0,442	0,429
0,466	0,461	0,475	0,462
0,412	0,390	0,422	0,402
0,503	0,490	0,502	0,483
0,449	0,433	0,453	0,441
0,445	0,417	0,441	0,427
0,437	0,422	0,444	0,431
0,453	0,481	0,493	0,476
0,518	0,498	0,509	0,488
0,471	0,443	0,460	0,449
0,481	0,461	0,475	0,462
0,545	0,553	0,561	0,525
0,477	0,463	0,477	0,464
0,412	0,419	0,442	0,428
0,445	0,408	0,434	0,419
0,434	0,417	0,441	0,427
0,440	0,428	0,449	0,436
0,432	0,419	0,442	0,429
0,398	0,382	0,416	0,395
0,452	0,442	0,459	0,448
0,438	0,425	0,446	0,434
0,470	0,477	0,490	0,474
0,453	0,459	0,474	0,461
0,450	0,418	0,441	0,428
0,431	0,395	0,425	0,407

\* Intervalo de 95 % de confianza para la recta de regresión.

Donde:

Y = Densidad básica promedio (gr/cm<sup>3</sup>).

X = Densidad promedio a los 1,3 metros de altura (gr/cm<sup>3</sup>).

La ecuación de la recta de regresión es  $Y = 0,8002X + 0,1$  y su  $R^2 = 0,8346$ .

**Anexo 18. Valores de los límites superior e inferior de la correlación entre la densidad básica promedio y la densidad básica promedio a 2 metros de altura para árboles de 8 años de edad (Gráfico N° 11 en tesis).**

Y	X	Intervalo de Confianza*	
		Ls	Li
0,409	0,407	0,434	0,419
0,466	0,450	0,474	0,462
0,412	0,397	0,425	0,408
0,503	0,467	0,493	0,477
0,449	0,432	0,456	0,445
0,445	0,421	0,446	0,434
0,437	0,404	0,431	0,415
0,453	0,466	0,491	0,476
0,518	0,503	0,532	0,506
0,471	0,445	0,469	0,457
0,481	0,472	0,498	0,481
0,545	0,503	0,533	0,506
0,477	0,453	0,478	0,465
0,412	0,420	0,446	0,433
0,445	0,417	0,443	0,430
0,434	0,408	0,434	0,420
0,440	0,421	0,446	0,434
0,432	0,418	0,444	0,431
0,398	0,372	0,405	0,381
0,452	0,435	0,460	0,448
0,438	0,409	0,435	0,421
0,470	0,456	0,481	0,468
0,453	0,433	0,457	0,446
0,450	0,447	0,472	0,460
0,431	0,397	0,426	0,409

\* Intervalo de 95 % de confianza para la recta de regresión.

Donde:

Y = Densidad básica promedio (gr/cm<sup>3</sup>).

X = Densidad promedio a los 2 metros de altura (gr/cm<sup>3</sup>).

La ecuación de la recta de regresión es  $Y = 0,9695X + 0,0318$  y su  $R^2 = 0,8497$ .

