

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**ESTUDIO DE LA VARIACIÓN AXIAL DE LA DENSIDAD  
DE LA MADERA DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN, PARA  
DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO.**

**por**

**Gonzalo Raúl SCHIAVO GÓMEZ**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2005**

**Tesis aprobada por:**

**Director:**

---

**José García De León**

---

**Carlos Mantero**

---

**Rafael Escudero**

**Fecha:**

**Autor:**

---

**Gonzalo Schiavo**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa los mayores y sinceros agradecimientos a todo el Departamento Forestal y a la Cátedra de Fertilidad de Facultad de Agronomía, por el soporte brindado en todo el proceso para la ejecución de este estudio. En especial se agradece el ofrecimiento para realizar este trabajo, el apoyo y las enseñanzas del Director de Tesis Ing. Agr. Phd. García De León. También hago extensible los agradecimientos al Ing. Agr. Msc. Jorge Hernández de la cátedra de Fertilidad de Facultad de Agronomía y al Ing. Eduardo Vedovattii del Instituto de Ensayos de Materiales de Facultad de Ingeniería, por facilitarnos los hornos de secado siendo éstos fundamentales para la Tesis. En trabajo de campo y recolección de muestras se agradece el apoyo incondicional brindado por el Ing. Agr. Carmelo Centurión y a todo el personal de la Compañía Forestal Oriental S.A. que colaboraron; al Pto. Agr. Vilfredo Ibáñez por su invaluable apoyo en la fase de procesamiento de los datos; al bachiller Sebastián Finochietti por su gran colaboración en el proceso de realización a campo y laboratorio de este trabajo. No quiero dejar de lado mi profundo agradecimiento a toda mi familia y especialmente a mi señora que me han alentado en toda la carrera y especialmente en esta recta final.



<b>3. <u>MATERIALES Y METODOS</u></b> .....	<b>25</b>
3.1 ANTECEDENTES SILVICULTURALES DE LOS RODALES.....	
MUESTREADOS.....	25
3.2 DESCRIPCION DEL ENSAYO .....	27
3.3 DETERMINACION DE LA DENSIDAD .....	28
3.3.1 <u>Medición de Densidad con Pilodyn (no destructivo)</u> .....	28
3.3.2 <u>Medición de Densidad Básica (destructivo)</u> .....	29
3.3.3 <u>Cálculos de Densidad</u> .....	31
3.3.3.1 Densidad Básica por Disco .....	31
3.3.3.2 Densidad Básica Media Ponderada por Árbol y por Edad .....	31
<b>4. <u>RESULTADOS</u></b> .....	<b>33</b>
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS EN <i>Eucalyptus dunnii</i> DE 4 AÑOS .....	34
4.1.1 <u>Análisis de Varianza para la Variación Axial de la Densidad Básica</u> ..	35
4.1.2 <u>Aproximación al Punto Óptimo de Muestreo</u> .....	36
4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS EN <i>Eucalyptus dunnii</i> DE 8 AÑOS .....	40
4.2.1 <u>Análisis de Varianza para la Variación Axial de la Densidad Básica</u> ..	41
4.2.2 <u>Análisis de Diferencia Mínima Significativa</u> .....	42
4.2.3 <u>Aproximación a Punto Óptimo de Muestreo</u> .....	43
4.3 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA SEGÚN LA EDAD .....	47
4.4 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN .....	48
4.4.1 <u>Coefficiente de Correlación entre la Densidad Media Promedio</u> .....	
<u>(DMP) de 4 Años con la DMP de 8 Años</u> .....	48
4.4.2 <u>Coefficiente de Correlación de Medidas de Pilodyn con la Densidad</u> .....	
<u>Básica a la Altura del Pecho (A.P)</u> .....	49
4.4.2.1 Coeficiente de Correlación en <i>Eucalyptus dunnii</i> 4 Años .....	49
4.4.2.2 Coeficiente de Correlación en <i>Eucalyptus dunnii</i> 8 Años .....	50
<b>5. <u>DISCUSION</u></b> .....	<b>52</b>
5.1 DENSIDAD BASICA .....	52
5.2 PUNTO OPTIMO DE MUESTREO .....	52
5.3 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD BASICA CON LA EDAD .....	53
5.4 MEDICIÓN INDIRECTA DE LA DENSIDAD BASICA MEDIANTE EL ..	

USO DEL PILODYN .....	54
6. <b><u>CONCLUSIONES</u></b> .....	55
7. <b><u>RESUMEN</u></b> .....	57
8. <b><u>SUMMARY</u></b> .....	58
9. <b><u>BIBLIOGRAFIA</u></b> .....	59
10. <b><u>ANEXOS</u></b> .....	69

## LISTA DE CUADROS, FIGURAS Y GRAFICOS

Página

### CUADRO N°

1. Variación axial de la densidad básica en <i>E. dunnii</i> .....	11
2. Pesos Específicos en poblaciones de diferentes edades y en distintas localidades .....	14
3. Información General de los Rodales .....	26
4. Parámetros cormométricos del árbol medio para cada estrato .....	26
5. Numero de discos extraídos y densidad básica promedio por altura de los 25 árboles (4 años) .....	34
6. Análisis de Varianza ( <i>E. dunnii</i> 4 años) .....	35
7. Correlaciones entre Densidades a diferentes alturas y el Promedio de los árboles .....	37
8. Número de discos extraídos y densidad básica promedio por altura de los 25 árboles .....	40
9. Análisis de Varianza ( <i>E. dunnii</i> 8 años) .....	41
10. Análisis de Diferencia Mínima Significativa (DM) ( <i>E. dunnii</i> 8 años) .....	42
11. Correlaciones entre Densidades a diferentes alturas y Promedio de los árboles .....	44

### FIGURA N°

1. Distribución Natural de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	3
2. Diagrama de Obtención de los Discos por Árbol .....	29
3. Secuencia de Obtención de los Discos y Medidas Dasométricas .....	32

## GRAFICO N°

1. Variación de la densidad básica según altura de muestreo (4 años) .....	36
2. Correlación entre la densidad a A.P. con la densidad promedio de .....	
cada árbol (4 años) .....	38
3. Rangos de Densidad Básica, según altura del fuste (4 años) .....	39
4. Variación de la densidad básica según altura de muestreo (8 años) .....	43
5. Correlación entre densidad a A.P. con la densidad promedio de .....	
cada árbol (8 años) .....	45
6. Correlación entre densidad a 2 m. con la densidad promedio de .....	
cada árbol (8 años) .....	45
7. Rangos de Densidad Básica según altura del fuste (8 años) .....	46
8. Densidades del árbol promedio según altura para cada estrato .....	47
9. Densidades del árbol promedio según % de la altura comercial .....	
para cada estrato.....	47
10. Coeficiente de correlación (4 años) .....	49
11. Coeficiente de correlación en (8 años) .....	50

## **1. INTRODUCCION**

El Uruguay ha definido una política forestal, impulsada a partir de la Ley 15.939 del año 1987 y sus decretos reglamentarios posteriores. La investigación cobra gran importancia dentro de esta política, siendo vital el estudio de las propiedades de la madera y sus aplicaciones en el ámbito industrial.

La densidad es una de las principales características a ser consideradas en el estudio de maderas. Esta se encuentra relacionada con muchos aspectos tecnológicos y económicos tales como: contracción - hinchamiento, dilatación, resistencia mecánica de las piezas, rendimiento y calidad de pulpa de celulosa, producción y calidad de carbón vegetal y de los costos operacionales y de transporte entre otros factores.

La densidad de la madera es un carácter compuesto determinado por: porcentaje de leño temprano y tardío, tamaño de las células, grosor de la pared celular y cantidad de extractivos presentes. Cada uno de estos componentes puede ser manejado genéticamente. En las latifoliadas la densidad puede relacionarse con otras características como volumen de los vasos o cantidad de células radiales.

La densidad de la madera es de mucho interés genético debido a que:

- Existe gran variación entre y dentro de árboles.
- Presenta alta heredabilidad (el rango de la  $h^2$  varia de 0.5 – 0.7).
- Son importantes sus efectos sobre rendimiento y calidad.

En el trabajo presente se estudia la variación de la densidad en relación con la altura del árbol. Se analizará si esa variación es significativa y se procederá a ubicar un punto de muestreo que sea representativo de todo el árbol. Posteriormente se buscará

algún tipo de correlación con medidas de densidad tomadas con Pilodyn a la Altura de Pecho (AP).

Los objetivos de este trabajo son:

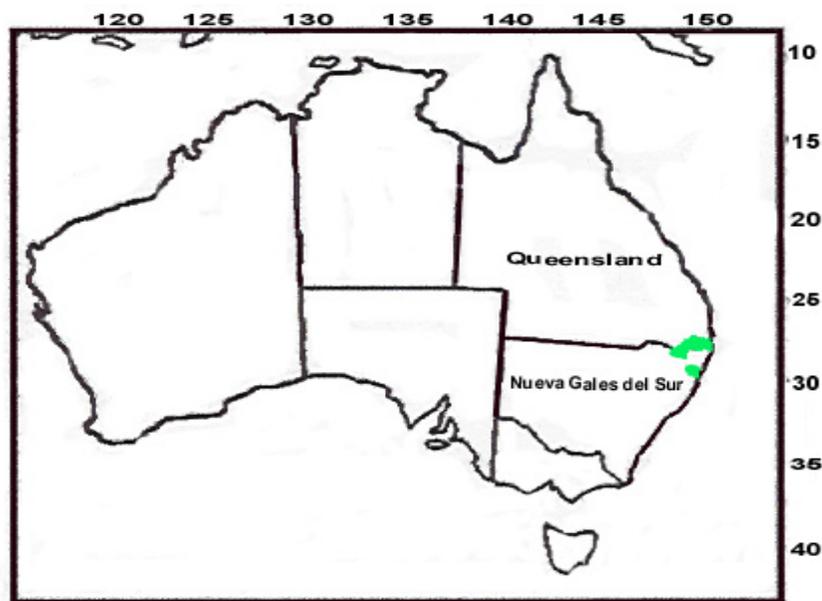
- Determinar la variación axial del peso específico dentro de árboles de *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados en la zona litoral oeste del Uruguay.
- Determinar diferencias del peso específico por edad, a la mitad de la rotación (4 años) y a la edad de la cosecha (8 años).
- Determinar un método no destructivo, rápido y de bajo costo para estimar la densidad básica a la altura de pecho (AP = 1.30 m) de los árboles en pie mediante el uso del pilodyn.

## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 GENERALIDADES DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

*Eucalyptus dunnii* Maiden es una especie originaria del nordeste de Nueva Gales del Sur y sudeste de Queensland, Australia. Su distribución natural se encuentra bastante acotada a una pequeña región ubicada en un rango de 28° - 30° 15' S, una altitud desde 300 a 750 metros sobre el nivel del mar. El clima es templado húmedo con promedios de temperatura máxima de 27 – 30 °C y mínima de 0° a 3°C, con hasta 60 heladas por año. Las precipitaciones se caracterizan por ser estivales de 1000 – 1750 mm anuales (Boland et al, 1987).

**Figura N° 1: Distribución Natural de *Eucalyptus dunnii***



■ Distribución Natural : *Eucalyptus dunnii*

Fuente: Boland et al, 1980

Crece en suelos de alta fertilidad, con buena capacidad de retención de agua y buena aireación, siendo sensible al mal drenaje. En su lugar de origen llega a 50 m de altura y 1-1,5 m de diámetro en su base, presentando un fuste libre de ramas hasta 30 – 35 m de altura.

Debido al área de distribución natural limitada, *E. dunnii* normalmente tiene una utilización poco divulgada, de aquí, tal vez, se podría explicar el por qué está poco difundida su utilización fuera de Australia. (Monteiro y Cordeiro, 1982)

Marcó et al., en un trabajo realizado sobre el desarrollo de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *E. dunnii* en la región mesopotámica Argentina, hace mención a la introducción del *E. dunnii* en la región. Fue introducido en el sur de Brasil en los años sesenta, donde hoy día es una muy buena alternativa para utilizarlo como forestal debido a su excelente combinación entre buen crecimiento, adaptabilidad y buenas propiedades papeleras.

En Sud América y especialmente en nuestro país, *E. dunnii* ha despertado gran interés por su respuesta favorable presentando buenas características fenotípicas, tolerancia al frío, y rápido crecimiento. Como desventaja en detrimento a mejoras genéticas y propagación comercial por semilla, presenta una demora en su madurez fisiológica. En el litoral (al norte del Río Negro) hay evidencias de que ésta especie comenzó a florecer recién al 9º año y la floración presenta una alternancia de aproximadamente dos años.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS ANATOMICAS DE LA ESPECIE *E. dunnii***

Es relevante realizar una caracterización de la madera de la especie en cuestión, facilitando así una mayor comprensión en los datos procesados posteriormente en este estudio.

### **2.2.1. Características Macroscópicas**

Es un árbol de fuste recto, de follaje denso, péndulo. Corteza persistente en la base del tronco, escamosa, castaño grisácea, en el resto del tronco caduca en largas fajas. Posee un duramen amarillento, de poca durabilidad natural, densidad seco al aire de 800 kg/m<sup>3</sup> (Boland *et al.*, *op. cit.*).

### **2.2.2. Características Microscópicas**

Fernandez y Ros (2002), realizaron en su trabajo de tesis la caracterización anatómica de dos especies de *Eucalyptus*, siendo una de ellas *E. dunnii* en nuestro país. Se presenta a continuación una síntesis de los datos obtenidos:

a) Vasos: La porosidad es difusa presentando poros solitarios, numerosos, de sección circular u oval. Las puntuaciones son areoladas, de contorno circular y abertura interna elíptica, las mismas se encuentran dispuestas en forma alterna.

b) Parenquima: Es axial, paratraqueal escaso (en su mayoría), raramente vasicéntrico.

c) Radios Leñosos: Son en su mayoría heterogéneos y biseriados, encontrándose también radios homogéneos y uniseriados. Los extremos de los radios están constituidos por células fusiformes, de ápice redondeado o agudo.

d) Fibras: Son libriformes con extremos ahusados terminados en forma de cuña muy marcada. Las paredes son gruesas, lumen medianamente pequeño y contorno poligonal (tr). Los parámetros cuantitativos medios son de 0,89 mm de largo (rango: 0.53 – 1.4) y el espesor de la pared de 2.12  $\mu$  (rango: 1.37 – 3.44  $\mu$ ).

## **2.3 DENSIDAD BASICA.**

### **2.3.1 Conceptos Generales**

El peso específico aparente es muy variable ya que no depende solo de la estructura misma de la madera, sino también del contenido de humedad de la muestra, la cual influye sobre el peso y el volumen. Esto implica que al comparar valores de peso específico aparente sea necesario indicar la humedad a la cual ese valor fue determinado. (Coronel, 1994).

Entre las diversas formas de expresión del peso específico aparente, se distinguen principalmente (Coronel, 1994):

- a) Peso específico aparente al 12% de humedad. Corresponde a condiciones climáticas normalizadas de 20°C de temperatura y 65% de humedad relativa del aire.
- b) Peso específico aparente al 15% de humedad. Corresponde al estado de la madera seca al aire.
- c) Peso específico aparente al 0% de humedad, llamado corrientemente peso específico aparente anhidro.

- d) Peso específico aparente básico. Definido como la relación entre el peso anhidro y el volumen verde de la muestra.

En el presente trabajo para el estudio de la densidad se utilizó el peso específico aparente básico (PEAb), en adelante se utilizará el término densidad básica (Db) en referencia al anterior. Dado que los trabajos a nivel internacional hacen referencia del PEAb con dicha terminología

### **2.3.2 Variación de la Densidad Básica**

Hillis (1978) citado por Kageyama et al (1982), hace mención de que hay variaciones en la densidad básica muy considerables entre y dentro de las especies de *Eucalyptus*, aún dentro de un mismo árbol. Esto no es sorprendente considerando la variación en las propiedades de las fibras y las proporciones de los elementos estructurales.

#### **2.3.2.1 Variación dentro de un individuo**

##### **2.3.2.1.1 Variación de la densidad en dirección longitudinal del fuste**

Panshin y Seeuw (1970) citados por Lopes y García (2002), en diversos estudios de la variación de la densidad básica en sentido longitudinal, concluyen que esas variaciones se pueden dar de forma continuamente decreciente, de la base a la copa, decreciente hasta la mitad del fuste y a partir de ahí, creciente hasta la copa, creciente de la base hacia arriba o aun puede no haber variación significativa en forma longitudinal del fuste. De forma general se puede decir que la variación longitudinal no es constante para las especies de *Eucalyptus*, estando poco claras las causas de dicha variación.

“El peso específico aparente disminuye desde la base del árbol hacia la copa. Las cifras del peso específico básico disminuyen en un 25% desde la base hasta la copa del árbol. En dos maderas latifoliadas (*E grandis* y *E saligna* Smith) el peso específico seco al aire disminuye desde la base del árbol hasta una altura de 4 – 5 m, a razón de 26 kg/m<sup>3</sup> aproximadamente; el máximo lo alcanza cerca de la copa”. (Tuset y Duran 1979)

Achugar y Scaglione (2003) Estudiando la variación de la densidad básica en *E. grandis*, concluyen que dicha variación en altura se ajustó en la mayoría de los casos a modelos de tipo cúbico, presentando un decrecimiento inicial desde la base hasta los 2 – 4 m y un aumento posterior hacia la copa.

Brasil et al (1977), Analizando la variación de la Db en secciones transversales del fuste en sentido longitudinal en *E. propinqua* Deane et Maiden, concluyen que la misma crece de la base hacia la copa hasta un punto máximo próximo a la mitad del árbol y después decrece. Brasil et al. (1979), observaron en *E. grandis* de tres años de edad, que el peso específico aparente básico crece hasta un punto máximo próximo a la mitad de la altura del árbol, comenzando aquí a decrecer en dirección a la copa. En ambos estudios explican éste fenómeno a la formación de madera de reacción, ya que en ese punto las tensiones resultantes de la fuerza del viento son máximas.

Bianchi y Dibarboure (1993), En *E. grandis* entrevieron que el peso específico aparente básico en la base del árbol es significativamente mayor que a los 2.40 m de altura. Aunque esto no les permite afirmar cómo varía el PEAb en la altura total del árbol dado que solamente disponían de dos discos por individuo separados uno del otro por 2.40 m.

Barrichelo et al. (1982), concluyeron que hay diferentes modelos para representar la variación de la densidad básica en sentido longitudinal de los árboles (base – altura

total). El estudio citado analizó dicha variación en diferentes especies de *Eucalyptus*, concluyendo lo siguiente:

- Las especies *Eucalyptus microcorys* Mueller, *Eucalyptus pellita* Mueller y *Eucalyptus triantha* Blakely, presentaron una variación típicamente decreciente.
- La tendencia en *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, se presentó como creciente a partir del nivel del DAP.
- Las especies *Eucalyptus pilularis* Smith y *Eucalyptus saligna* Smith, presentaron valores alternados con tendencias decrecientes. *Eucalyptus globulus* Labillardière, de igual forma, presentó tendencia alternada creciente.

La explicación de este tipo de variación, está basada en la ocurrencia de madera de reacción, cuyos principales agentes serían el peso de la copa, tipo y ángulo de inserción de las ramas y acción de los vientos. (Barrichelo et al. 1982).

Centurión y Llano (1995), El patrón de variación del peso específico aparente básico en relación con la altura en *E. grandis* de 12 años, concluyen que es confuso y no existe un único modelo que sea capaz de explicar esta variación para todos los árboles. Atribuyen este comportamiento a que es dependiente de cada individuo.

Fernández y Ros (2002), en su trabajo de tesis analizando las características anatómicas de *E. dunnii*, no observaron un comportamiento definido de la densidad básica en relación a la altura, en algunos individuos aumentó hacia el ápice y en otros se mantuvo relativamente constante a lo largo del fuste.

Ferreira y Kageyama (1978) realizando estudios en mejoramiento genético de la densidad de madera de *Eucalyptus sp*, en sus conclusiones menciona que la densidad de la madera tiende a aumentar, en el tronco, con la altura.

Greaves et al (1995) analizando la variabilidad de la densidad básica axial, encontraron una relación lineal muy fuerte ( $r^2 = 0.93$ ) entre la densidad a 1.30 y la densidad promedio del árbol. Esto sugiere que al calcular la densidad al DAP, es una predicción bastante precisa de la densidad de todo el árbol, independientemente del sitio o de la familia.

Lausberg et al (1995) dilucidaron para *Eucalyptus nitens* Maiden que la densidad básica desde la base hacia arriba del fuste, inicialmente disminuía hasta 1.4 m, posteriormente presentó un incremento linear hasta la altura total.

Malan (1988) realizando un estudio de la variación de la densidad en *E. grandis* concluye que, la madera formada por el cambium a una misma edad fisiológica, aumenta linealmente con la altura.

Mc Kinley et al (2002) hacen mención que la densidad básica decrece ligeramente con la altura del fuste en *E. maidenii*, y aumenta en *E nitens* y *E. globulus*.

Calori y Kikuti (1997) estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de madera de *E. dunnii* a los 20 años de edad, en la posición base, media y alta. Dilucidaron que la densidad básica de madera de *E. dunnii* para dicho estudio es de  $0.549 \text{ g/cm}^3$ . Basándose en los análisis de los valores concluyen que no hay diferencia estadísticamente significativa de la densidad básica entre las distintas posiciones del árbol.

**Cuadro N°1 Variación axial de la densidad básica en *E. dunnii***

	Unidad	Posición Relativa			Media	Test de significancia de “F”	C.V (%)
		Base	Medio	Alto			
<b>Densidad</b>							
Verde	g/cm <sup>3</sup>	1.038	0.964	1.038	1.013	0.66 ns.	7.46
Básica	g/cm <sup>3</sup>	0.524	0.552	0.572	0.549	1.11 ns.	13.15

- ns.: estadísticamente no significativo (0.05)
- Fuente: cuadro extraído de Calori, J.V y Kikuti P. (1997)

De acuerdo a la información recabada por Sturion et al (1987). Se encontró que el peso específico aparente básico presenta una gran variabilidad con respecto a la altura.

#### **2.3.2.1.2 Variación de la densidad en dirección radial del fuste**

La variación del peso específico aparente en dirección radial, en la mayoría de los estudios se llega a la conclusión de que aumenta desde la médula hacia la corteza. (Tuset y Duran 1979).

Achugar y Scaglione (2003), Estudiando la variación de la densidad básica en *E. grandis*, observaron como tendencia, un descenso de la densidad básica desde la médula hacia la zona media y un incremento posterior hacia la corteza.

Bianchi y Dibarboure (1993), En *E. grandis* observaron de que el peso específico aparente básico aumenta desde la medula hacia la corteza.

Centurion y Llano (1995), en su trabajo de tesis concluyeron que al igual que lo ocurrido con la altura, la variación del peso específico aparente en sentido radial depende de cada individuo, dado que dicha variación no se ajusto a ningún modelo de los probados (lineal, cuadrático, cúbico).

De Bell et al (2001) mencionan que la densidad básica aumenta gradualmente de médula a corteza, en árboles de *E. saligna* que mantienen un rápido crecimiento en rotaciones cortas.

López y Staffieri (2003), realizando un estudio de la variación radial de la densidad básica en *E. grandis* y *E. dunnii*, evidenciaron que hay una marcada variación de medula a corteza en dicho parámetro. (Db medula promedio = 0.549 g/cm<sup>3</sup>, Db corteza promedio = 0.708 g/cm<sup>3</sup>, en *E.dunnii*).

Malan (1988), en general la densidad de la madera en *E. grandis* aumenta linealmente con la distancia de médula a la periferia.

Malan y Arbuthnot (1995), hacen mención que la variación en sentido radial es la fuente de variación más importante, siendo que su extensión, es determinada por la proporción de madera juvenil y por sus características físico-químicas y anatómicas a lo largo del tronco.

Mc Kinley et al (2002) analizando la variación de la densidad básica de la médula hacia la corteza, mencionan de no haber encontrado diferencias significativas para *E. nitens*, no obstante aumentó significativamente en *E. globulus* y *E. maidenii*.

Ferreira y Kageyama (1978) mencionan que la densidad aumenta marcadamente en sentido médula – corteza. Los árboles con densidad media alta tienden a producir madera de mayor densidad durante todo su crecimiento. Tal hecho permite acortar los tiempos de selección.

Serpa et al (2003), estudiando algunas propiedades de la madera de *E. grandis* y *E saligna*, concluyen que todas las propiedades físicas y mecánicas varían dentro del

árbol tanto en sentido radial como longitudinal. La Db, resistencia a la flexión y compresión aumentan en dirección médula – corteza.

### **2.3.2.2 Variación entre individuos y procedencias**

Ferreira et al (1979) en base a un estudio efectuado en poblaciones de *E. saligna*, *E grandis* y *E urophylla* de diferentes edades observaron que, para las tres especies estudiadas, la variabilidad entre árboles dentro de la población es la característica mas importante. Esa variación es mucho más importante que las variaciones verificadas entre poblaciones dentro de una misma localidad, o entre poblaciones de diferentes localidades.

Pereira et al, (1997), realizando una caracterización de la densidad básica y composición química de la madera de *E. dunnii* de dos procedencias: Urbenville y Dorrigo. En ensayo de procedencias llevado a cabo en Colombo PR, Brasil, concluyeron que no había diferencias significativas entre procedencias para la variación de densidad básica.

Pereiera da Rosa (2000) citado por Rodríguez et al. (2002) hace mención a la gran variación de la densidad básica que se encuentra dentro de una misma especie, variando en el *E. dunnii* de 0.69 g/cm<sup>3</sup> a 0.89 g/cm<sup>3</sup> a los 20 años de edad.

Los datos promedio de peso específico aparente básico obtenidos en *E. dunnii* en diferentes lugares, mostraron enormes variaciones que van desde 0.370 g/cm<sup>3</sup> a 0.690 g/cm<sup>3</sup>. Hay diversos trabajos referidos a este tema, en el Cuadro N° 2 se presentan algunos datos obtenidos de los mismos.

**Cuadro N°2: Pesos Específicos en poblaciones de *E. dunnii* de diferentes edades y en distintas localidades.**

<b>Localidad</b>	<b>Origen de Semilla (Edad promedio del material en estudio)</b>	<b>Peso específico g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Referencias</b>
Argentina Corrientes	Australia Coff Harbour NSW (21 años de edad)	0.664	López et al 2003
Argentina Corrientes	Australia Moleton NSW (21 años de edad)	0.697	López et al 2003
Argentina Corrientes	Australia Urbenville NSW (CSIRO: 5663) (21 años de edad)	0.675	López et al 2003
Argentina Corrientes	Australia Urbenville NSW (CSIRO: 11241) (21 años de edad)	0.637	López et al 2003
Argentina Entre Ríos	s/d (14 años de edad)	0.525	Marco et al 1995
Argentina Entre Ríos	s/d (9 años de edad)	0.516	Marco et al 1995
Australia Coffs Harbour- NSW	Australia Coffs Harbour- NSW (9 años de edad)	0.513	Hicks et al 2001
Australia Gympie – QLD	Australia Gympie – QLD (12 años de edad)	0.534	Hicks et al 2001
Australia Moleton– NSW	Australia Moleton – NSW	0.524	Ribeiro et al 1993
Brasil Colombo – PR	Australia Dorrigo – NSW	0.567	Pereira et al 1997
Brasil Colombo – PR	Australia Dorrigo – NSW (14 años de edad)	0.563	Pereira et al 1997
Brasil Colombo – PR	Australia Urbenville – NSW	0.573	Pereira et al 1997
Brasil Colombo – PR	Australia Urbenville – NSW (14 años de edad)	0.579	Pereira et al 1997
Brasil Colombo – PR	Australia Dorrigo – NSW (4.5 años de edad)	0.444	Pereira et al 2000
Brasil CapaoBonito-SP	Australia Moleton – NSW (8 años de edad)	0.551	Pereira et al 2000
Brasil Colombo – PR	Australia Moleton – NSW (4.5 años de edad)	0.447	Pereira et al 2000
Brasil Colombo – PR	Australia Urbenville – NSW (4.5 años de edad)	0.456	Pereira et al 2000
Brasil Monte Alegre- PR	s/d	0.552	Calori et al 1995
Brasil Telemaco Borba-PR	s/d (20 años de edad)	0.549	Calori et al 1997
Uruguay Tres Bocas- R.N.	s/d (9 años de edad)	0.543	Backman et al 2003
Uruguay INIA Tacuarembó	Australia Yabba Plains – NSW (CSIRO: 18264) (9 años de edad)	0.400	Fernández y Ros et al 2002
Uruguay INIA Tacuarembó	Australia Yabba Plains – NSW (CSIRO: 18264) (7 años de edad)	0.420	Fernández y Ros et al 2002
Uruguay INIA Tacuarembó	Australia Koreelah SF – NSW (CSIRO: 17916) (9 años de edad)	0.410	Fernández y Ros et al 2002
Uruguay INIA Tacuarembó	Australia Koreelah SF – NSW (CSIRO: 17916) (7 años de edad)	0.370	Fernández y Ros et al 2002
Uruguay Paysandú	s/d (9 años de edad)	0.564	Rodríguez et al. 2002

- Fuente: Elaboración propia del autor basándose en las referencias citadas en el cuadro.

### 2.3.2.3 Variación de la densidad según la edad de los individuos

Backman y García de León (2003), hacen mención de que para las especies *E. grandis*, *E. saligna*, y *E. dunnii* la densidad básica aumento en un 11% con la edad (de los 4 a 9 años). Esto debe considerarse cuando se trata de predecir dicho parámetro en árboles a turno final, con bases de datos de árboles más jóvenes (mitad de turno).

Barrichello y Brito (1979) citados por Ribeiro y Zani (1993), observaron que la densidad básica aumenta hasta una cierta edad, posteriormente tiende a estabilizarse.

Ferreira et al. (1979), estudiando diversas especies de *Eucalyptus* concluyen que para *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. propinqua* y *E. saligna* la densidad varía en función de la edad aumentando la misma. Por lo tanto independientemente de la especie hay un aumento de la densidad con respecto a la edad.

Kollman et al., (1975) citados por López y Staffieri (2003), estudiaron la variación de la densidad básica de *E. grandis* en función de la edad de la población. Mencionan que hay una tendencia a la estabilización de ésta propiedad con la edad, debido a que la población analizada era bastante antigua.

Lima et al. (2001) al analizar la variación de la densidad básica media en clones de *E. grandis*, observaron una tendencia en el incremento de dicho parámetro con el aumento de la edad de los individuos. Destacaron la posibilidad de predecir la densidad básica utilizando modelos de regresión, concluyendo que aumentaba con el logaritmo de la edad de cada clon.

López y Staffieri (2003), hacen mención de que hay un claro patrón de incremento de la densidad con la edad, estudiando dicha variabilidad en *E. grandis* y *E. dunnii*.

Lopes y García (2002), estudiando la variación de la densidad básica en *E. saligna*, entre sus conclusiones hacen mención de que hay una tendencia en el aumento de la densidad básica en función de la edad de la población.

Trugilho et al (1997), analizando la influencia de la edad sobre las características físicas, químicas y anatómicas de la madera en *E. grandis*, concluyen que hay un marcado incremento en la densidad con respecto a la edad. Posteriormente con la madurez hay una tendencia de estabilización o una reducción en la tasa de incremento en el valor de densidad básica.

Según Vital et al., (1984) citado por Trugilho et al (1997), la densidad básica tiende a aumentar con la edad debido al aumento del espesor de la pared celular y disminución en lo ancho de las células. El contenido de lignina tiende a disminuir, considerando que la madera juvenil es más rica en lignina que la madera adulta.

#### **2.3.2.4 Variación de la densidad según la tasa de crecimiento individual**

De Bell et al (2001) realizaron un estudio en Hawaii en el cual concluyen que la densidad básica en *E. saligna*, no tiene ninguna relación con la tasa de crecimiento.

Ferreira, et al (1979), observaron que los árboles más vigorosos presentaban mayor densidad. No obstante mencionan otros trabajos realizados en Sud Africa, los cuales no encuentran una relación significativa entre la tasa de crecimiento con la densidad de la madera.

Las variaciones de densidad básica ocasionadas por las diferencias entre ambientes pueden estar asociadas al ritmo de crecimiento de los árboles. Albino (1983), estudiando la densidad básica de doce especies de *Eucalyptus spp*, verificó que en las localidades 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 madera y características de crecimiento en progenies de *E. grandis*, instaladas en tres localidades del estado de San Pablo, Brasil. (Ribeiro y Zani 1993)

Gea y Mc.Connochie (1997), realizando un estudio en *E. nitens*, concluyen que hay muy baja pero existente correlación negativa entre densidad básica y la tasa de crecimiento.

Malan y Hoon (1992), hacen mención de que el efecto de la tasa de crecimiento en las propiedades de la madera es mínimo, al compararse madera de la misma edad para el caso de *E. grandis*. Sin embargo el mismo autor (Malan 2000), cita que los árboles de buenos sitios tienden a producir maderas con mayores densidades comparados con aquellos de sitios de “crecimiento menores”, pero que no se ha encontrado una relación directa entre tasa de crecimiento y densidad básica de la madera.

Hicks y Clark (2001), mencionan que las diferencias en tasas de crecimiento pueden asociarse con la disponibilidad de agua y a su vez puede tener diversos efectos sobre la densidad básica. Dado que un incremento en el crecimiento esta compuesto por leño temprano (paredes de las fibras finas = baja Db) o leño tardío (paredes de las fibras gruesas = alta Db).

Según Malan (1991) citado por Xavier et al (1997), menciona que la tasa de crecimiento no afecta significativamente las propiedades de la madera. No obstante hay una pequeña correlación genética negativa entre tasa de crecimiento con densidad básica de la madera y compresión de la fibra.

Tomazelho (1987) citado por Trughilo et al (1997), indica que la madera juvenil puede constituir una gran proporción del tronco en áreas de rápido crecimiento, originando de esta forma madera con altos niveles de densidad, componentes químicos, compresión de fibras, etc. desde la fase juvenil hasta la madurez, donde los valores tienden a permanecer más o menos constantes.

Toit et al. (2001) estudiando el agregado de fertilizantes y sus efectos en el crecimiento y propiedades de la madera de *E. grandis*, concluyen que la densidad básica de la madera en los tratamientos con fertilizantes fue mayor que los controles. Aunque dicha respuesta fue débilmente significativa ( $p = 0.052$ ).

Wilkins (1990) calculando correlaciones entre tasa de crecimiento y diversos parámetros de propiedades de la madera de *E. grandis*, no encontró una clara relación entre tasa de crecimiento y densidad básica.

Contrariamente a lo que citan los autores anteriores, Vigneron et al (1995) concluyen que la densidad básica aumenta significativamente con el crecimiento (a una determinada edad), cuanto más rápido crece más densa es la madera, aunque dicho incremento en densidad no sea muy alto. El autor menciona que sus resultados no son consistentes con otros, probablemente debido a la variación individual de efectos a nivel ambiental o genéticos.

### **2.3.3 Influencia Genética sobre la Densidad Básica**

La densidad de la madera está cerca de ser la característica óptima para ser manipulada genéticamente, debido a la gran variación que existe de un árbol a otro, a la gran heredabilidad, a su mínima interacción genotipo – ambiente y a sus importantes efectos sobre el rendimiento y la calidad. Tanto en latifoliadas como en coníferas la

heredabilidad del peso específico está dentro del rango de  $h^2 = 0.5$  a  $0.7$  (Zobel et al 1988).

Garlet (1994) citado por Xavier et al (1997), resalta que la densidad básica de la madera es una característica muy importante ligada a la calidad de la madera. La cual se correlaciona con la compresión y el diámetro del lumen de las fibras.

Gea y Mc. Connochie (1997), hacen mención sobre la alta correlación de la densidad básica entre características de importancia económica tales como: poder calórico de la madera, contenido de humedad, propiedades de la madera y de la pulpa entre otros.

Greaves et al (1995), hacen mención que la densidad básica esta fuerte y genéticamente controlada por la heredabilidad de la densidad en *Eucalyptus*, siendo ésta entre  $0.6 - 0.8$ .

Kageyama et al (1982), estudiando la variación genética de la densidad de madera en progenies de *E grandis*, observaron altos coeficientes de heredabilidad, tanto al nivel de árboles (en sentido estricto), como al nivel de medias de las familias.

Lausberg et al (1995), dentro de las correlaciones genéticas más fuertes calculadas en propiedades de la madera para *E. nitens*, es la correlación entre densidad básica y contenido de humedad ( $r^2 = 0.83$ ).

López et al (2003), destacan la conveniencia de contemplar en procesos selectivos la utilización de un índice multicriterio donde, además de volumen y rectitud del fuste, intervenga la densidad de la madera a efectos de maximizar la ganancia genética conjunta de estos tres componentes primarios del rendimiento.

Malan (1988), realizando estudios de la variación genética en *E. grandis*, concluye que el seleccionar por crecimiento del incremento en diámetro y altura del árbol, puede tener efectos en detrimento de la densidad y largo de fibra de la madera. El mismo autor en otro estudio (1991) destaca que hay una alta correlación negativa entre la tasa de crecimiento con la densidad y largo de fibra. Al seleccionar individuos con alta tasa de crecimiento puede tener un efecto negativo en las propiedades de la madera antes mencionadas.

Marco y López (1995), observaron claramente ganancias genéticas en programas de mejoramiento, seleccionando entre otras características para aumentar la densidad básica, tanto para *E. grandis* como para *E. dunnii*.

Moraes et al (1997), concluyeron que la heredabilidad de la densidad básica de la madera al compararla con la heredabilidad de el DAP, esta primera es mayor, por lo tanto presenta un mayor índice de selección y un menor coeficiente de variación genotípica al nivel de medias totales. Por lo tanto la densidad básica es una buena herramienta para utilizarla en un programa de mejoramiento.

Raymond (1995), en un estudio del control genético sobre las propiedades de la madera y fibras, hace mención de un gran número de heredabilidades que se han calculado y están disponibles. Tanto a nivel individual como a nivel familiar, los rangos de heredabilidad son de 0.05 – 0.84, lo cual demuestra un control genético bastante razonable.

Talbert (1984) citado por Moraes et al (1997), menciona que la densidad básica de la madera es una característica ideal para ser manipulada genéticamente, a causa de su gran variación de árbol a árbol, alta heredabilidad (0.5 – 0.7 tanto para coníferas como para latifoliadas) y baja interacción genotipo ambiente.

Trugilho et al (1997), concluyen que la densidad básica presenta altos coeficientes de correlación con las características dimensionales de las fibras. También presentó coeficientes negativos y significativos con los contenidos de cenizas, extractivos totales de lignina, y positivos con los contenidos de holocelulosa. Lo cual indica que a mayor contenido de lignina, menor será el contenido de holocelulosa y por ende menor será la densidad básica de la madera.

Xavier et al (1997), realizando estudios de los parámetros genéticos de características de la madera en *E grandis*, verificaron diferencias significativas en cuanto a la densidad básica ( $P < 0.05$ ) entre progenies.

Yang e Ilic (2003) han demostrado para *E. globulus* una relación positiva entre, defectos de crecimiento y densidad básica al combinar la información individual para todos los árboles en estudio. Esto implica que en programas de mejoramiento genético seleccionando por baja densidad, ayudaría a obtener árboles con menor estrés de crecimiento.

#### **2.3.4 Métodos para calcular la Densidad Básica.**

##### **2.3.4.1 Métodos directos para calcular la Densidad Básica**

La densidad básica (Db) se define como el cociente entre la masa de la madera en su estado anhidro y su volumen en estado verde, pudiendo expresarse como  $\text{tt/m}^3$ ,  $\text{kg/dm}^3$ ,  $\text{g/cm}^3$ . (Senyszyn 1999). Para ello hay que extraer muestras de madera y calcular directamente la Db en base al material extraído del individuo a evaluar. Por dichas razones se les denomina métodos directos de evaluación de densidad.

Para medir la masa se pesan las probetas en una balanza, y para obtener el volumen puede ser mediante desplazamiento de volumen (siendo ésta mas precisa), o medición de los tres planos en caso de ser un prisma.

Gea y McConnochie (1997), mencionan que la selección directa en programas de mejoramiento para densidad básica, requiere cosechar los árboles ya sea para obtener probetas o discos, lo cual involucra altos costos económicos, en trabajo y en tiempo. Corriendo riesgos de perder la regeneración de los ejemplares estudiados.

Raymond (1995), destaca la desventaja de este método de muestreo destructivo, dado que requiere de mucho tiempo y altos costos.

#### 2.3.4.2 Métodos indirectos para calcular la Densidad Básica

Foelkel et al (1982), al demostrar que la densidad básica se correlaciona de forma lineal e inversamente proporcional con el máximo contenido de humedad en la madera, han desarrollado un método para determinar la densidad básica en *Eucalyptus sp.*, siendo éste denominado “Método de máximo contenido de humedad”. Se basa en dos supuestos básicos: 1) que la madera este en su máximo contenido de humedad, 2) que la densidad de los componentes anatómicos de la madera deben ser de 1.53 g/cm<sup>3</sup>.

La ecuación fundamental para la determinación de densidad básica por este método es:

$$D_b = \frac{1}{(P_t/P_s) - 0.346}$$

$D_b$	densidad básica
$P_t$	peso de madera saturada
$P_s$	peso anhidro de la madera

Greaves et al (1995), definen al pilodyn como un instrumento de mano, el cual posee una pequeña varilla de hierro que penetra en la madera con una fuerza conocida. La profundidad de penetración es leída directamente por una escala que posee el instrumento, siendo que a mayor penetración se correlaciona con menor densidad básica. La alta heredabilidad y repetibilidad de la penetración del pilodyn, se asume que con un número razonable de observaciones se obtiene un 94% de precisión en la selección.

Da Silva y Brune (1982) mencionan sobre otros métodos indirectos para el cálculo de la Db, mediante mediciones no destructivas. Tales como Rayos X, medidas de dureza del leño entre otros. Concordando con otros autores, destacan las ventajas del uso del Pilodyn, por la rapidez y la facilidad en la manipulación del aparato, considerando su uso en la selección masal de árboles para su uso en programas de mejoramiento genético de densidad básica.

Nicholls (1985), analizó diferentes métodos indirectos para estimar la densidad básica, para ello utilizó el Pilodyn y el Tensiómetro. Concluyó que el uso del pilodyn es más rápido y daña menos al árbol que el tensiómetro.

Rojas et al. (1993), estudiando la relación entre el pilodyn y densidad básica, observaron correlaciones negativas muy fuertes, indicando como era de esperar, una asociación inversa entre ambos métodos. También se realizaron pruebas al medir con pilodyn en cuatro orientaciones en el árbol (norte, sur, este y oeste); los resultados no muestran diferencias significativas entre los registros a distintas posiciones en torno al árbol. Basándose en los análisis, si bien una muestra sería suficiente, recomienda efectuar 3 mediciones en torno al tronco (ángulos de 120°) de forma de compensar errores de determinación promedio del pilodyn.

López et al (2003) utilizando el Pilodyn han mostrado suficiente confiabilidad para determinar indirectamente la densidad de la madera de árboles en pie y discriminar grupos de individuos por clase de densidad.

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

Los discos de madera obtenidos para el ensayo provienen de una plantación comercial de *E. dunnii* de la empresa Forestal Oriental S.A. El campo del cual se cosecharon los árboles es del Distrito 1 Establecimiento “El Ñandubay”, Tres Bocas, departamento de Río Negro.

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (MGAP 1979), Las características del suelo y geología correspondiente a la Unidad de Tres Bocas son:

- Materiales Generadores: Sedimentos areno-arcillosos y arenosos de Salto.
- Relieve: Lomadas suaves.
- Erosión: Moderada.
- Rococidad: Nula
- Pedregocidad: Ligeramente pedregosa.
- Suelos dominantes: Argisol Dístico Ocrico Abrúptico.
- Suelos asociados: Brunosol Subéutrico Lúvico Ar Fr;Vértisol Rúptico Lúvico Fr.

#### **3.1 ANTECEDENTES SILVICULTURALES DE LOS RODALES MUESTREADOS.**

Los rodales de *E. dunnii* de 4 y 8 años muestreados, provienen de igual procedencia: Urbenville, Australia. Ambos rodales se encuentran plantados sobre un mismo grupo de suelos, con la misma preparación del sitio y a igual marco de plantación.

**Cuadro N° 3: Información General de los Rodales**

<b>Especie</b>	<b><i>Eucalyptus dunnii</i></b>	
<b>Edad del rodal</b>	4 años	8 años
<b>Origen y Procedencia del material genético</b>	(Monte Natural) Urbenville, Australia.	
<b>Grupo de Suelos CONEAT</b>	09.3	
<b>Preparación de Suelos</b>	Excéntrica (x 2) + Rotovador (x 2)	
<b>Marco de Plantación</b>	3 m x 2 m (1666 árb./ha)	

Se realizó un análisis de los fustes para caracterizar los rodales con parámetros dendrométricos y cormométricos por cada estrato analizado. Se presenta un cuadro resumen de los parámetros medios más relevantes por edad del rodal.

**Cuadro N° 4: Parámetros cormométricos para cada estrato.**

***Eucalyptus dunnii* de 4 años**

<b>Parámetros</b>	<b>DAP m</b>	<b>DAP s/corteza m</b>	<b>Altura Total m</b>	<b>Altura Comercial m</b>	<b>Vol. Real Comercial s/c m<sup>3</sup></b>
<b>Media</b>	<b>0.159</b>	<b>0.143</b>	<b>20.372</b>	<b>13.172</b>	<b>0.145</b>
Desvío	0.012	0.012	1.493	1.140	0.028
Coef. Variación	12.907	12.198	13.643	11.554	5.100

***Eucalyptus dunnii* de 8 años**

<b>Parámetro</b>	<b>DAP m</b>	<b>DAP s/corteza m</b>	<b>Altura Total m</b>	<b>Altura Comercial m</b>	<b>Vol. Real Comercial s/c m<sup>3</sup></b>
<b>Media</b>	<b>0.216</b>	<b>0.196</b>	<b>26.824</b>	<b>21.268</b>	<b>0.206</b>
Desvío	0.015	0.015	1.569	1.824	0.040
Coef. Variación	14.19	13.01	17.10	11.66	5.15

- Los parámetros disgregados por árbol y por estrato de edad pueden apreciarse en el anexo N° 1.
- Referencias: DAP (diámetro a altura de pecho, 1.30 m).

Para la obtención de discos y posterior secado para el cálculo de densidad básica, se utilizaron las siguientes herramientas y equipamientos:

- Motosierra : Stihl Mod. # 036
- Pilodyn : Forest 6 J
- Forcípula de Aluminio Clásica
- Martillo y palanca extractora de corteza
- Cinta métrica (de 30 m para medir altura total y comercial del fuste; una regla para medir los diámetros de los discos).
- Balanza : Sartorius (precisión al centigramo).
- Agua destilada
- Soporte de hierro, con péndulo sujetador de discos para su posterior inmersión en agua destilada para la obtención de cálculos de volumen.
- Horno de Secado: Heraeus (origen Alemania).

### **3.2 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.**

El muestreo se diseñó considerando una especie a dos edades, 4 y 8 años respectivamente (uno plantado en octubre de 1995 y el otro en marzo de 1999). La selección de los rodales se basó en que fueran homogéneos en términos de exposición, edad de los árboles, especie y silvicultura. Dentro de cada rodal se seleccionaron árboles lo más homogéneos posible, en términos de crecimiento, sin bifurcaciones y cuidando otras características que pudieran hacer del individuo un árbol anómalo (sin problemas fitosanitarios). Los ejemplares cosechados fueron seleccionados como árboles codominantes medios del rodal.

El tamaño de muestra es de 50 árboles, se procedió a cosechar 25 árboles de cada estrato por edad. Los árboles de 4 años fueron marcados cada metro y los árboles

de 8 años se marcaron cada 2 m, hasta llegar a la altura comercial (definiéndose la altura comercial, aquella en que el diámetro del fuste se reduce a 8 cm. con corteza).

Previo a la cosecha se procedió a tomar mediciones del DAP, realizando el promedio de dos medidas perpendiculares una de otra con forcípula. Todos los árboles se talaron a 15 cm. desde el suelo. Una vez apeados se tomaron medidas de corteza, altura comercial y altura total, para un posterior análisis de los fustes para caracterizar el rodal con parámetros dendrométricos y cormométricos.

Posteriormente a su marcado, se cortaron discos de aproximadamente 5 cm. de espesor, comenzando desde la base (0.15 m), altura de pecho AP = 1.30 m y en cada marcación realizada según estrato de edad hasta altura comercial. De cada árbol se obtuvieron de 10 hasta 15 discos aproximadamente. Los discos de madera fueron colectados para su posterior estudio de densidad. Cada árbol fue designado con un número y los discos fueron debidamente marcados según el árbol del que provenían y según la posición en el árbol del que se extrajeron, manteniendo así su debida identidad.

### **3.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD**

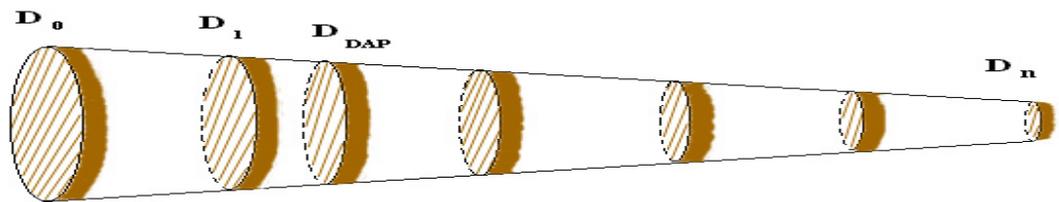
#### **3.3.1 Medición de Densidad con Pilodyn (no destructivo).**

Previo a la cosecha de los árboles seleccionados, se tomaron 3 medidas con pilodyn (a 120 grados aproximadamente una medida de otra) a la altura de pecho (AP → 1.30 m), obteniendo así datos estimativos de densidad por método no destructivo.

### 3.3.2 Medición de Densidad Básica (destructivo).

Al extraer los discos de los árboles seleccionados y apeados, fueron debidamente identificados según el árbol del cual se obtuvieron y según la altura a la cual se extrajeron. Para ello a cada árbol se le asignó un número (51 – 100). La altura a la cual se extrajeron los discos se le asignó un sub-número, siendo  $D_0$  la base del árbol continuando la numeración en forma creciente, hasta el último disco obtenido a la altura comercial  $D_n$  (8cm de diámetro aprox.), como muestra la figura N° 2.

*Figura N° 2 : Diagrama de Obtención de los Discos por Árbol*



Donde:

- $D_0$  : Disco obtenido de la base del árbol
- $D_1$  : Disco obtenido a 1 o 2 m dependiendo si son árboles de 4 u 8 años respectivamente.
- $D_{DAP}$ : Disco correspondiente a la A.P. = 1.30 m.
- $D_n$  : Ultimo disco a la altura comercial (8cm c/corteza).

Se determinó la densidad básica según norma TAPPI T-258 om -94, en los discos cortados a las diferentes alturas del fuste definidas anteriormente.

Como primer etapa de laboratorio, se procedió a llevar los discos a la saturación de los espacios porosos con agua, mediante su inmersión total durante 48 horas previas al cálculo de volumen (o sea a peso constante).

Para calcular el volumen, se utilizó el método más preciso y exacto para determinarlo, mediante la inmersión de los discos en una cuba con agua destilada (xilómetro). El cálculo de volumen se obtiene por desplazamiento de líquidos (principio de Arquímedes: siendo el volumen de agua desplazado, igual al volumen sólido de la pieza sumergida). Al estar la cuba sobre una balanza, el líquido desplazado por el cuerpo de un disco, ocasiona un incremento en peso; ese peso es equivalente al volumen del disco (ésta aseveración es válida siempre que se utilice un líquido con densidad igual a 1). (Sorrentino 1997).

Una vez calculado el volumen equivalente al estado verde de los discos, éstos fueron llevados a un horno durante 48 horas a 105 °C hasta peso constante, en tres medidas consecutivas (esperando 2 horas entre una medida y otra). Al sacarlos del horno en estado anhidro, se envasaron inmediatamente en bolsas de nylon para que no absorbieran humedad del medio ambiente.

Al tener los discos anhidros, estos se pesaron individualmente en la misma balanza que se calculó anteriormente el volumen. Obteniéndose todos los datos de peso anhidro para un posterior cálculo de densidad de cada disco.

### 3.3.3 Cálculos de Densidad

#### 3.3.3.1 Densidad Básica por Disco

El peso específico aparente básico o densidad básica se define como la relación entre el peso anhidro y el volumen verde de la muestra. Este parámetro fue calculado para cada uno de los discos obtenidos para poder calcular posteriormente la densidad media ponderada por árbol y por edad.

$$\text{Densidad Básica}_n = \frac{\text{Peso Anhidro}_n}{\text{Volumen Verde}_n}$$

#### 3.3.3.2 Densidad Básica Media Ponderada (DMP) por Árbol y por Edad.

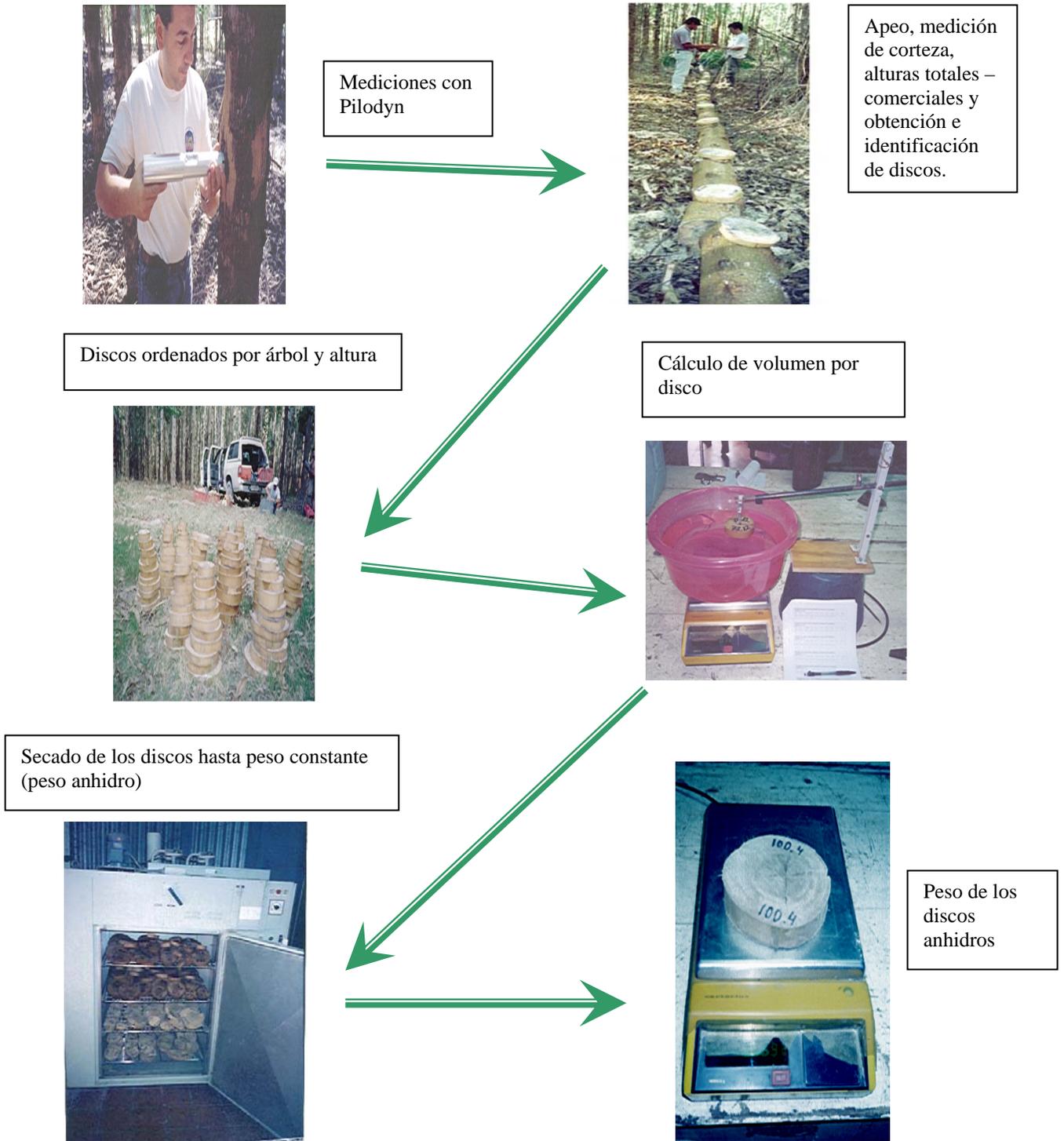
Los discos cortados a diferentes alturas del fuste y su posterior cálculo de densidad básica definidos anteriormente, fueron utilizados para el cálculo de la densidad media ponderada (DMP) por árbol y edad.

$$\mathbf{DMP} = \frac{(Db_0 + Db_{AP})}{2} \times \frac{V_0}{V_T} + \frac{(Db_{AP} + Db_1)}{2} \times \frac{V_{AP}}{V_T} + \dots + \frac{(Db_{n-1} + Db_n)}{2} \times \frac{V_{n-1}}{V_T} =$$

Donde:

- DMP = densidad media ponderada por árbol
- Db<sub>0</sub> = densidad básica del disco en la base
- Db<sub>AP</sub> = densidad básica del disco a la altura del pecho (AP)
- Db<sub>1</sub> = densidad básica del disco a 1 m de altura
- Db<sub>n-1</sub> = densidad básica del disco anterior al enésimo disco.
- Db<sub>n</sub> = densidad básica del enésimo disco correspondiente a la altura comercial.
- V<sub>0</sub> = volumen del disco en la base
- V<sub>AP</sub> = volumen del disco a la altura del pecho (AP)
- V<sub>n-1</sub> = volumen del disco anterior al enésimo disco correspondiente a la altura comercial.
- V<sub>T</sub> = volumen de madera comercial del árbol.

**Figura N° 3: Secuencia de Obtención de los Discos y Medidas Dasométricas.**



#### **4. RESULTADOS**

En este capítulo se procede a analizar la información recabada en este trabajo. Por la extensa cantidad de datos obtenidos, se presentan cuadros resumen con los parámetros estadísticos más relevantes que ayudarán a una mayor comprensión de los resultados para llegar a las conclusiones. El resto de los datos se incluyen dentro del anexo, haciendo de esta forma más fácil la lectura del capítulo.

Para el procesamiento de los datos se efectuaron los siguientes análisis estadísticos:

- a) Análisis de varianza para determinar la variación axial de la variable densidad básica dentro de los árboles de cada estrato.
- b) Para el caso que se encuentren diferencias significativas de la densidad básica en altura, se realiza un análisis de diferencias mínimas significativas mediante la prueba de Tuckey.
- c) Para observar los rangos y promedios de densidad básica según la altura del fuste, se presenta una gráfica para cada estrato de edad.
- d) Análisis de correlación:
  - Entre dos variables, penetración del Pilodyn y la densidad básica. La correlación, en caso de existir, se utilizaría el Pilodyn a la altura del pecho ( $AP = 1.30$  m), como estimador indirecto de la densidad básica real a dicho nivel.

#### 4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS EN *E. dunnii* DE 4 AÑOS.

En el siguiente cuadro, se presenta de los 25 árboles muestreados, el número de discos totales extraídos con su respectivo valor promedio de densidad básica, según altura de muestreo.

**Cuadro N° 5**

<b>Número de discos extraídos y densidad básica promedio por altura de los 25 árboles</b>																	
Altura (m)	0.15	1	1.3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
N° discos	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	20	16	7	2	
Densidad Promedio	<b>0.536</b>	<b>0.516</b>	<b>0.509</b>	<b>0.508</b>	<b>0.510</b>	<b>0.515</b>	<b>0.526</b>	<b>0.520</b>	<b>0.521</b>	<b>0.525</b>	<b>0.516</b>	<b>0.521</b>	<b>0.530</b>	<b>0.540</b>	<b>0.530</b>	<b>0.509</b>	
I. C. *	Sup	0.548	0.534	0.524	0.524	0.524	0.529	0.537	0.533	0.535	0.538	0.533	0.537	0.546	0.560	0.566	0.515
	Inf	0.525	0.499	0.493	0.492	0.496	0.500	0.514	0.506	0.507	0.512	0.500	0.505	0.513	0.520	0.493	0.504

\* Intervalo de confianza (I.C.) al 95%, para la media.

Según los resultados obtenidos el tamaño mínimo de muestra es de  $11.95 \cong 12$  árboles para el estudio de densidad básica con  $t^2_{(0.05/2 \text{ GL})}$  para esta población.

#### 4.1.1. Análisis de Varianza para la Variación Axial de la Densidad Básica.

El análisis de varianza efectuado para determinar la variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* a los 4 años se presenta a continuación.

**Cuadro N° 6: Análisis de Varianza de la variación axial de la densidad básica (*E. dunnii* 4 años).**

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F	Pr > F
<b>Altura</b>	0.02858748	16	0.00178672	<b>1.29</b>	<b>0.2010</b>
<b>Error</b>	0.48779433	352	0.00138578		
<b>Total</b>	0.51638181	368			

Fuente: ANAVA corrido en el programa estadístico SAS.

Mediante el SAS también se calculó:

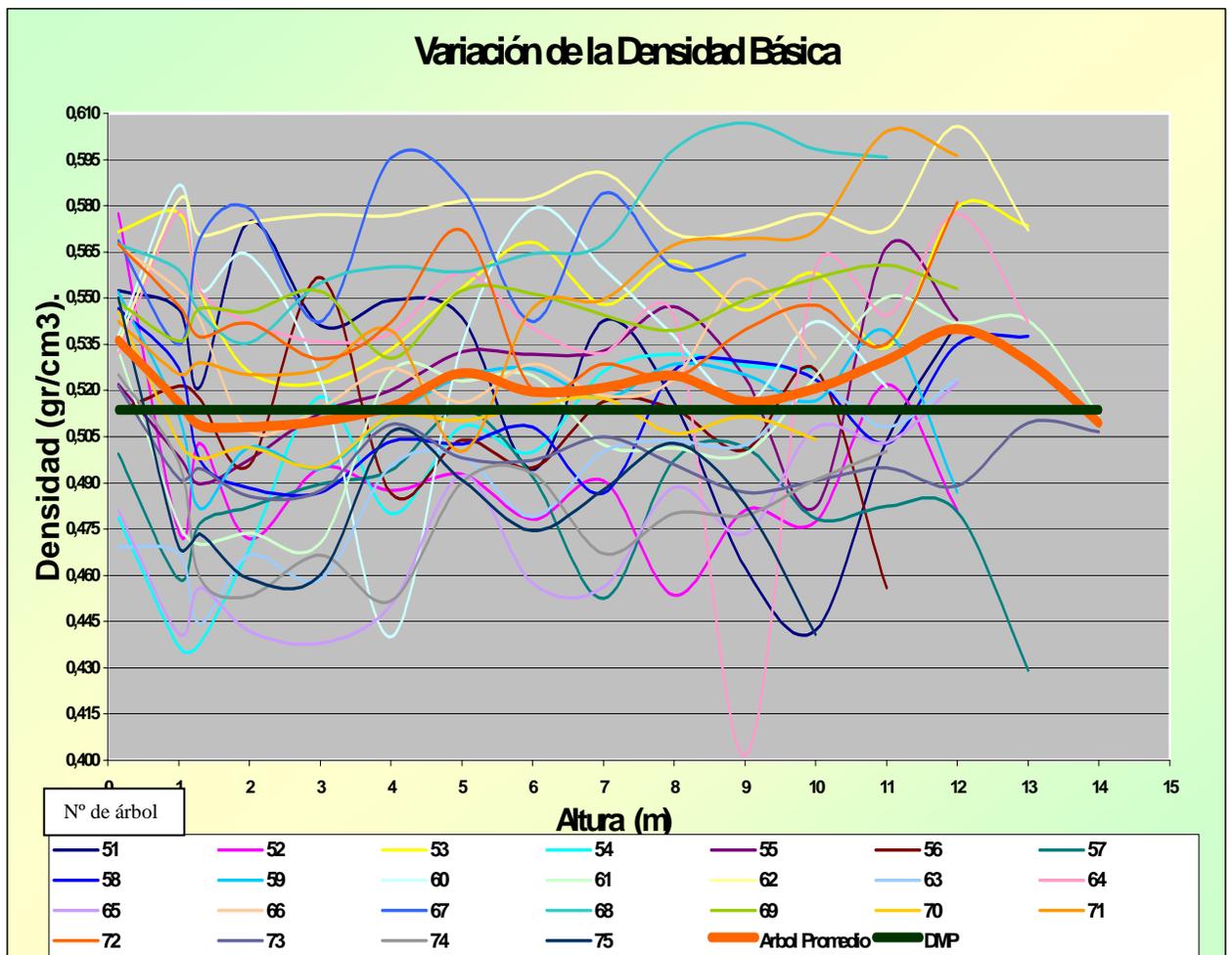
- Densidad básica Media ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ): 0.520
- Coeficiente de Variación: 7.161
- Coeficiente de regresión  $R^2$ : 0.055

En el cuadro resumen N° 6 del ANAVA, se puede apreciar que no hubo diferencias significativas al no rechazar la hipótesis nula. Por lo cual no hay diferencias estadísticas para la variable densidad básica entre las diferentes alturas con la densidad media ponderada por árbol.

#### 4.1.2. Aproximación al Punto Óptimo de Muestreo.

Si bien hay una variación en la densidad básica, no es detectable a través del ANAVA realizado en el punto anterior, dado que no marca una tendencia definida. Por ello realizamos un análisis en el siguiente gráfico, donde pueden observarse las variaciones individuales de la densidad básica de cada individuo, la densidad del árbol medio según altura de muestreo y la densidad media ponderada general.

**Gráfico N°1: Variación de la densidad básica según altura de muestreo por árbol (4 años).**



En el gráfico N°1 podemos observar las variaciones de la densidad básica (aunque no difieren estadísticamente), es relevante destacar que hay tres puntos los cuales las densidades del árbol promedio ( — ) coinciden con la densidad media ponderada ( — ) (DMP) de este muestreo. Esos puntos corresponden a las alturas de 1m., 4m. y 14m.

Para la estimación del punto óptimo de muestreo, se determinaron las correlaciones existentes entre los valores de densidad básica de los diferentes puntos o alturas de muestreo y el valor de densidad básica media de cada uno de los 25 árboles muestreados. Según los resultados, se obtuvieron altas correlaciones en las trozas basales; por lo tanto, para la evaluación del punto de muestreo, se tomó como criterio los primeros 4 m, dado que es una altura razonable en practicidad para la toma de medidas, siendo la troza basal la de mayor importancia a nivel comercial.

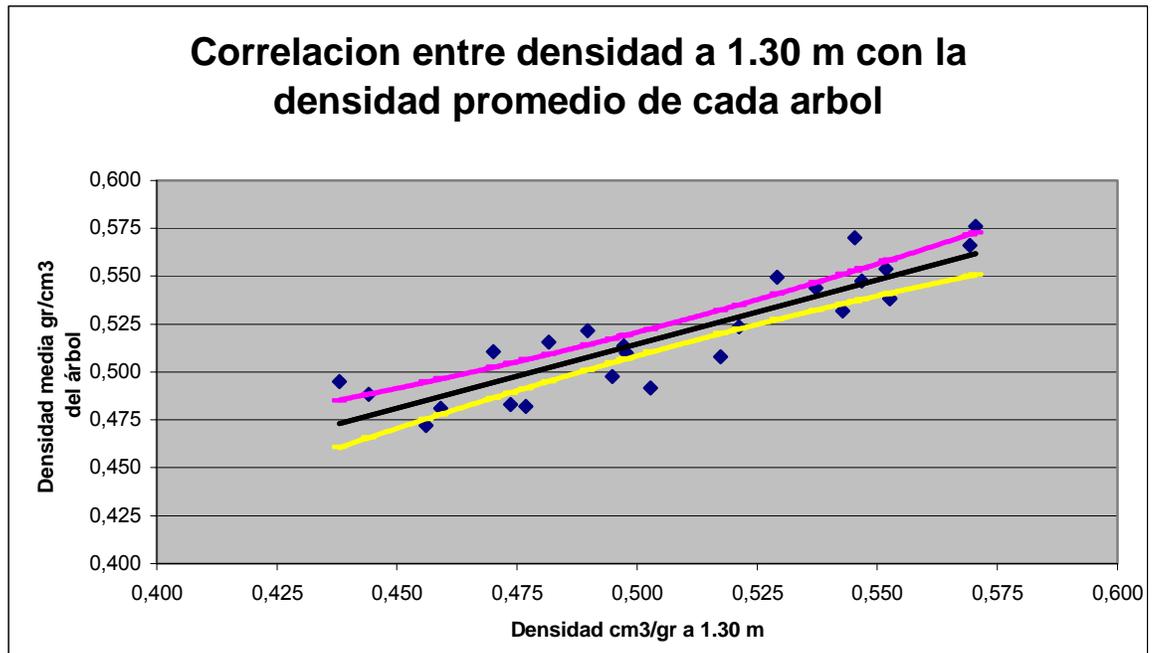
**Cuadro N° 7: Correlaciones entre Densidades a diferentes alturas y el Promedio de los árboles.**

Altura ( m )	0.15	1	1.30	2	3	4
Coefficiente de Correlación r	0.583	0.843	0.888	0.876	0.827	0.758
Coefficiente de Regresión R <sup>2</sup>	0.340	0.710	0.788	0.768	0.684	0.575
Nivel de Significancia (r)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

(\*) significativo al nivel de probabilidad de 1 %.

Según los coeficientes de correlación calculados, el que posee mayor valor corresponde con la altura de 1.30 m (altura del pecho).

**Gráfico N°2: Correlación entre densidad a A.P. con la densidad promedio de cada árbol (4 años).**



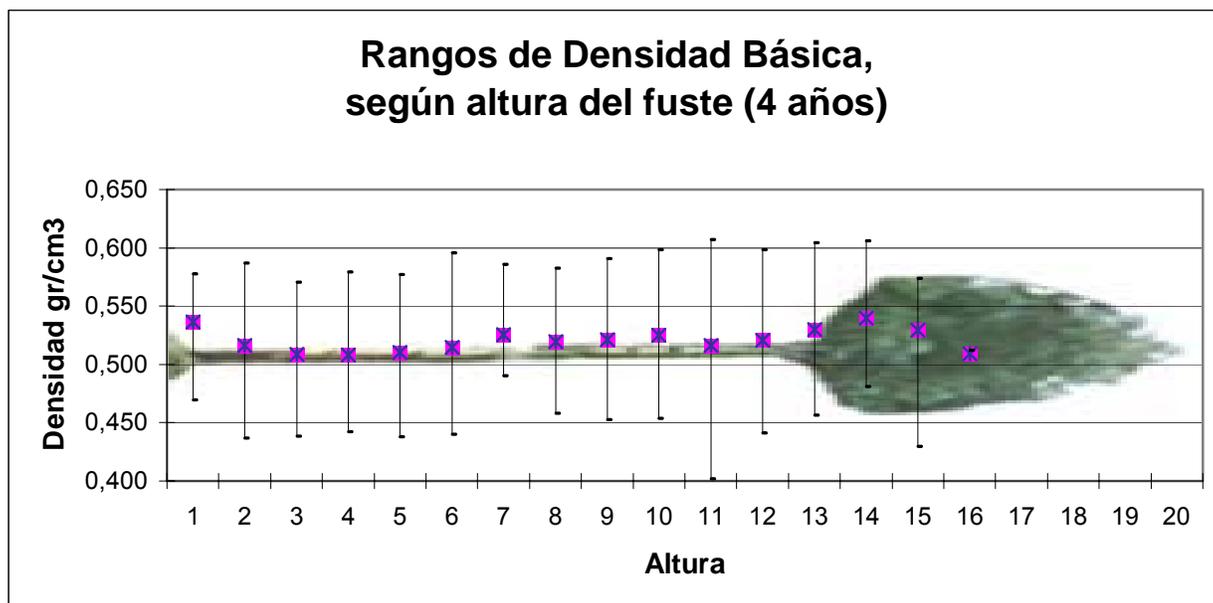
**Ecuación de la recta:  $y = 0.1793 + 0.6705x$**

**Coefficiente de correlación r: 0.888**

**Coefficiente de regresión R<sup>2</sup>: 0.788**

Para poder visualizar mejor como varía la densidad según altura de muestreo, se presenta a continuación un gráfico con los rangos (superior, inferior y promedios) de densidad básica según la altura del fuste en *E. dunnii* de 4 años.

Gráfico N° 3



- Referencias del gráfico:
  - x densidad promedio a la altura correspondiente.
  - Densidad básica expresada en  $\text{gr}/\text{cm}^3$
  - Altura :

Ref.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(m)	0.15	1	1.30	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

En el gráfico N°3 podemos visualizar que el rango de menor variación corresponde a la altura de 5 m., seguido por rangos menos variables en comparación al resto, a 1.30, 2 y 3 m., respectivamente.

#### 4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS EN *E. dunnii* DE 8 AÑOS.

En el siguiente cuadro se presentan de los 25 árboles muestreados, el número de discos totales extraídos con su respectivo valor promedio y límites de confianza de densidad básica según altura de muestreo.

**Cuadro N° 8**

<b>Número de discos extraídos y densidad básica promedio por altura de los 25 árboles</b>													
Altura (m)	0.15	1.3	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
N° discos	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	22	14	
<b>Densidad Promedio</b>	<b>0.573</b>	<b>0.538</b>	<b>0.534</b>	<b>0.543</b>	<b>0.539</b>	<b>0.542</b>	<b>0.545</b>	<b>0.547</b>	<b>0.540</b>	<b>0.534</b>	<b>0.531</b>	<b>0.538</b>	
I. C. *	Sup.	0.587	0.551	0.549	0.558	0.553	0.557	0.561	0.561	0.554	0.547	0.545	0.553
	Inf.	0.558	0.525	0.518	0.528	0.526	0.526	0.529	0.533	0.526	0.521	0.517	0.522

\* Intervalo de confianza (I.C.) al 95% para la media.

Según los resultados obtenidos el tamaño mínimo de muestra es de  $11.80 \cong 12$  árboles para el estudio de densidad básica con  $t^2_{(0.05/2 \text{ GL})}$  para esta población.

#### 4.2.1. Análisis de Varianza para la Variación Axial de la Densidad.

El análisis de varianza efectuado para determinar la variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* a los 8 años, se presenta a continuación.

**Cuadro N° 9: Análisis de Varianza de la densidad básica (*E. dunnii* 8 años).**

	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F	Pr > F
<b>Altura</b>	0.03197394	12	0.00266450	<b>2.09</b>	<b>0.0177</b>
<b>Error</b>	0.38041663	298	0.00127657		
<b>Total</b>	0.41239057	310			

---

Fuente: ANAVA corrido en el programa estadístico SAS.

Mediante el SAS también se calculó:

- Densidad Media (gr./cm<sup>3</sup>): 0.542
- Coeficiente de Variación: 6.593
- Coeficiente de regresión R<sup>2</sup>: 0.078

En el cuadro resumen N°9, se puede apreciar que hubieron diferencias significativas al 1.77%, al rechazar la hipótesis nula. Por lo cual se infiere que hay diferencias estadísticas para la variable densidad básica, entre alguna de las diferentes alturas con la densidad media ponderada por árbol.

#### 4.2.2 Análisis de Diferencia Mínima Significativa (DMS).

Para poder analizar a qué altura la densidad básica difiere significativamente con la densidad media ponderada, se realiza un análisis de diferencias mínimas significativas (DMS) mediante la prueba de Tuckey, dado que tiene baja probabilidad de cometer error de tipo I.

**Cuadro N° 10: Análisis de DMS mediante la prueba de Tuckey (*E. dunnii* 8 años).**

<b>Agrupamiento t</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>N° de Discos/Altura</b>
<b>A</b>	<b>0.573</b>	<b>25</b>	<b>D0</b>
<b>B</b>	<b>0.547</b>	<b>25</b>	<b>D12</b>
<b>B</b>	<b>0.545</b>	<b>25</b>	<b>D10</b>
<b>B</b>	<b>0.543</b>	<b>25</b>	<b>D4</b>
<b>B</b>	<b>0.542</b>	<b>25</b>	<b>D8</b>
<b>B</b>	<b>0.540</b>	<b>25</b>	<b>D14</b>
<b>B</b>	<b>0.539</b>	<b>25</b>	<b>D6</b>
<b>B</b>	<b>0.539</b>	<b>25</b>	<b>DMP</b>
<b>B</b>	<b>0.538</b>	<b>25</b>	<b>DAP</b>
<b>B</b>	<b>0.538</b>	<b>14</b>	<b>D20</b>
<b>B</b>	<b>0.539</b>	<b>25</b>	<b>D16</b>
<b>B</b>	<b>0.534</b>	<b>25</b>	<b>D2</b>
<b>B</b>	<b>0.531</b>	<b>22</b>	<b>D18</b>

- El cambio de letra A → B hace referencia que hay diferencia mínima significativa al 0.05 de confianza.

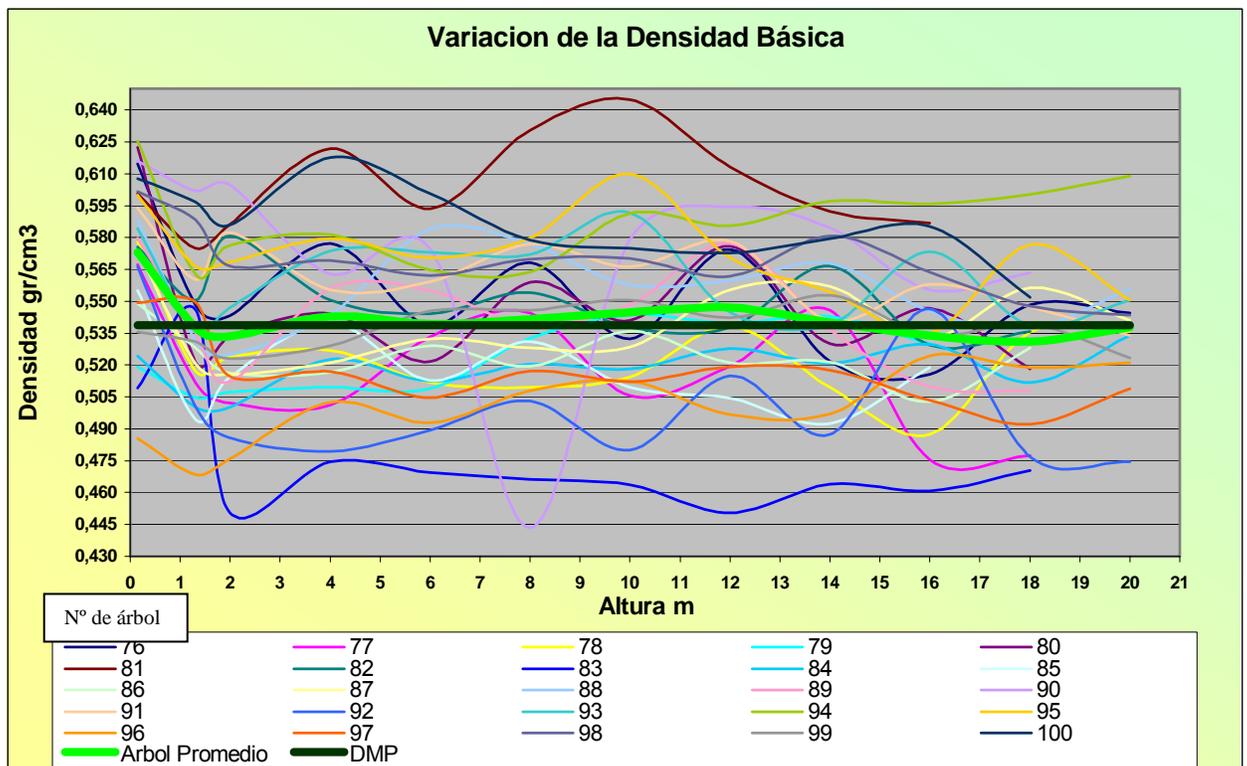
Del cuadro N°10 se puede apreciar que hubo diferencias estadísticamente significativas de la densidad básica, sólo en la base del árbol, no existiendo ésta en ninguna otra altura. Por ende, no se justifica el tratar de ajustar un modelo estadístico

para analizar dicha variación, dado que a excepción de la base, puede medirse la densidad básica a cualquier altura, sin tener variaciones significativas.

#### 4.2.3 Aproximación a Punto Óptimo de Muestreo.

Se verifica que a los 8 años hay una variación en la densidad básica, siendo ésta única y estadísticamente detectada en la base con respecto al resto del árbol a través del ANAVA realizado en el punto anterior. Esta variación no marca una tendencia definida. Por ello, realizamos un análisis en el siguiente gráfico, donde pueden observarse las variaciones individuales de la densidad básica de cada individuo, la densidad del árbol medio según altura de muestreo y la densidad media ponderada general.

**Gráfico N° 4: Variación de la densidad básica según altura de muestreo por árbol (8 años).**



En el gráfico N°4 podemos observar las variaciones de la densidad básica (aunque no difieren estadísticamente), es relevante destacar que hay cuatro puntos los cuales las densidades del Árbol Promedio ( — ) coinciden con la Densidad Media Ponderada ( — ) (DMP) de este muestreo. Esos puntos corresponden a las alturas de 1.3m.(AP), 6m., 14m. y 20m.

Para la estimación del punto óptimo de muestreo, se determinaron las correlaciones existentes entre los valores de densidad básica de los diferentes puntos o alturas de muestreo y el valor de densidad básica media de cada uno de los 25 árboles muestreados. Según los resultados, se obtuvieron altas correlaciones en las trozas basales; por lo tanto, para la evaluación del punto de muestreo, se tomó como criterio los primeros 4 m, dado que es una altura razonable en practicidad para la toma de medidas y la troza basal es la de mayor importancia a nivel comercial.

**Cuadro N° 11: Correlaciones entre Densidades a diferentes alturas y el Promedio de los árboles.**

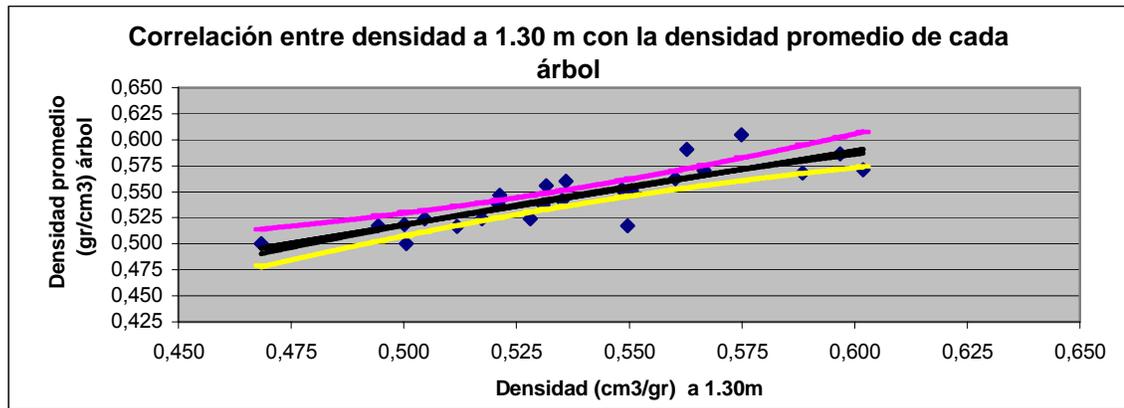
Altura ( m )	0.15	1.30	2	4
<b>Coefficiente de Correlación r</b>	0.799	0.847	0.917	0.937
<b>Coefficiente de Regresión R<sup>2</sup></b>	0.638	0.717	0.841	0.878
<b>Nivel de Significancia (r)</b>	(*)	(*)	(*)	(*)

(\*) significativo al nivel de probabilidad de 1 %.

Según los coeficientes de correlación calculados, el que posee mayor valor corresponde con la altura de 4 m. seguido a los 2 m. la cual posee una alta correlación.

Se analiza la correlación a 1.30 y 2 m de altura considerándose éstas de mayor fácil acceso para el trabajo de campo.

**Gráfico N° 5: Correlación entre densidad a A.P. con la densidad promedio de cada árbol (8 años).**

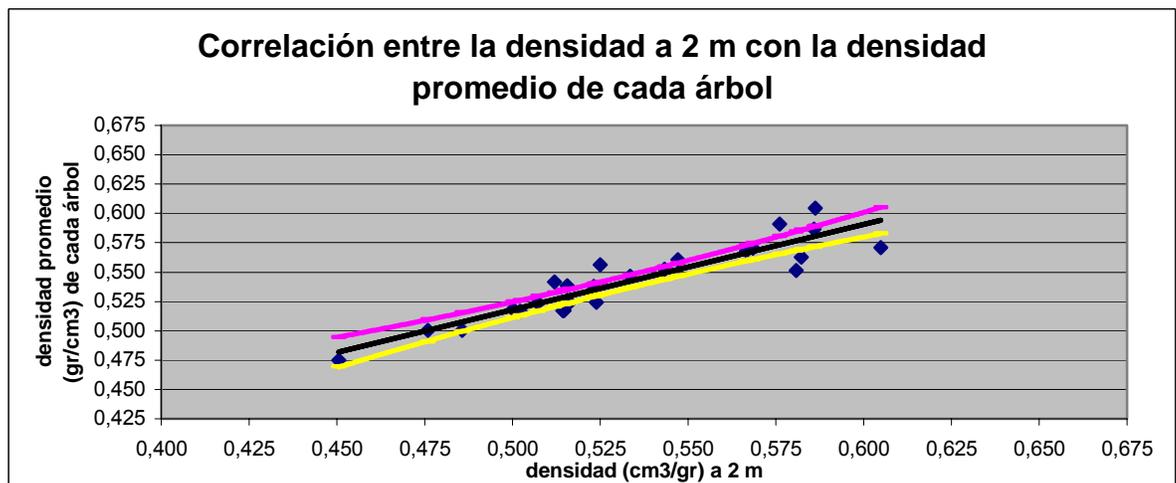


Ecuación de la recta:  $y = 0.1739 + 0.6848x$

Coefficiente de correlación r: **0.847**

Coefficiente de regresión R<sup>2</sup>: **0.717**

**Gráfico N°6: Correlación entre densidad a 2 m con la densidad promedio de cada árbol (8 años).**



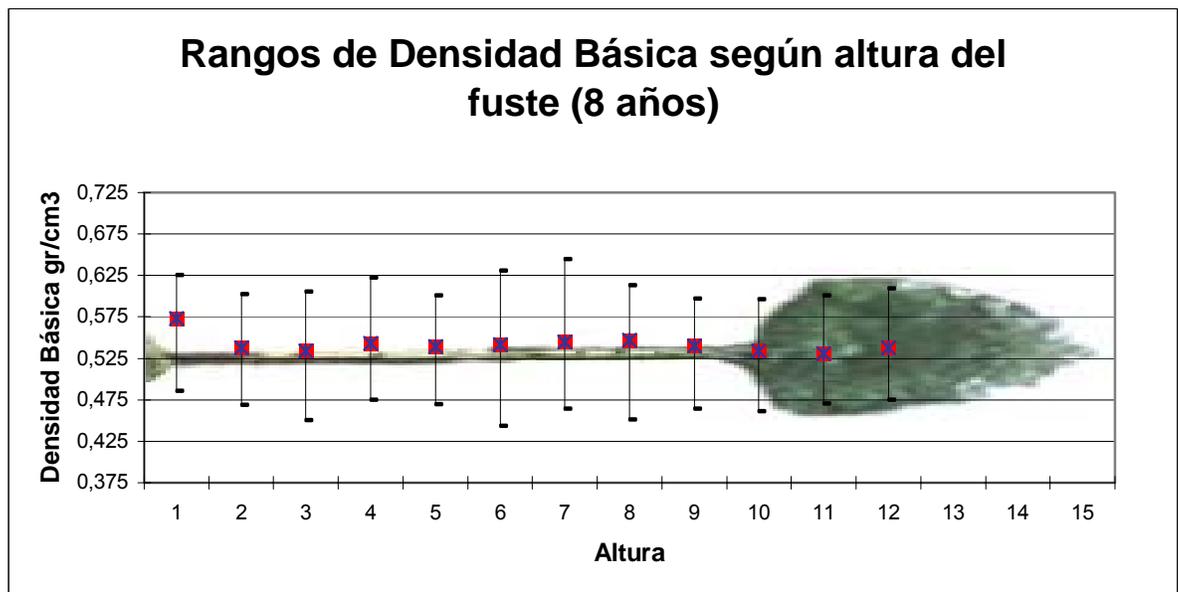
Ecuación de la recta  $y = 0.1549 + 0.7258x$

Coefficiente de correlación r: **0.917**

Coefficiente de regresión R<sup>2</sup>: **0.841**

Para poder visualizar mejor como varía la densidad básica según altura de muestreo, realizamos un análisis en el siguiente gráfico donde pueden observarse los rangos (limites superior e inferior) y promedios de densidad básica según la altura del fuste en *E. dunnii* de 8 años.

**Gráfico N° 7**



Referencias del gráfico:

-  Densidad promedio a la altura correspondiente.
- Densidad básica expresada en  $\text{gr}/\text{cm}^3$
- Altura :

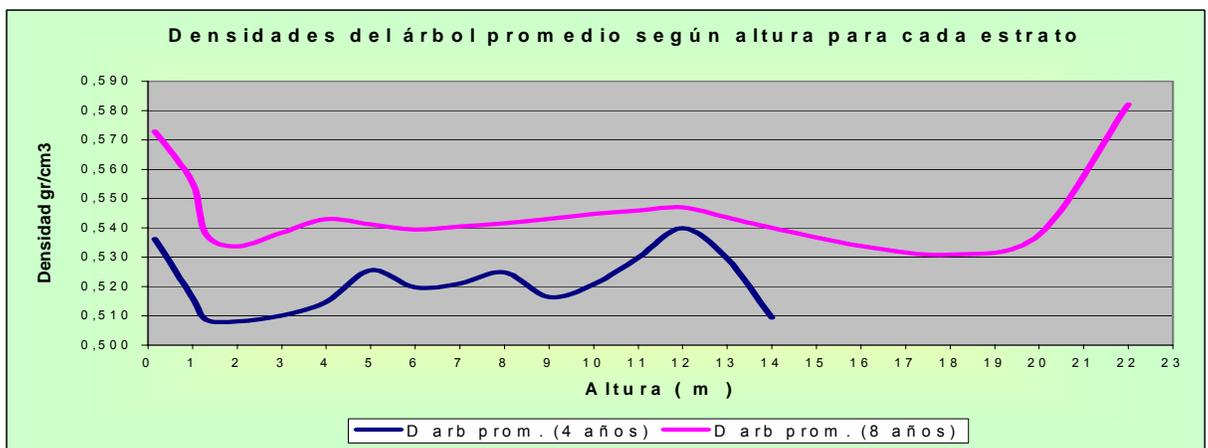
Ref.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(m)	0.15	1.30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

En el gráfico N° 7 podemos visualizar que el rango de menor variación corresponde a la altura de 1.30 en la troza basal, definida esta última hasta los primeros 4 metros de altura.

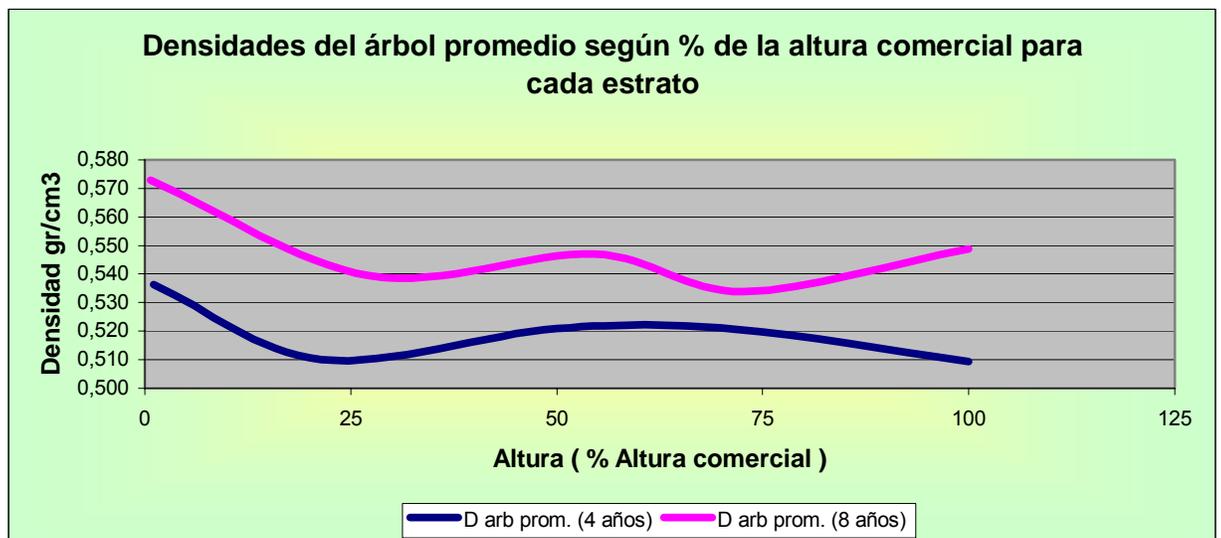
### 4.3 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA SEGÚN LA EDAD.

Al trabajar con dos estratos de edades podemos dilucidar como varía la densidad básica según la edad de los individuos. A continuación se presenta un gráfico con las variaciones de densidades básicas según alturas del árbol promedio de cada estrato analizado en este estudio.

**Gráfico N° 8**



**Gráfico N° 9**



Como se puede observar en los gráficos 8 y 9, la densidad básica del árbol promedio de 8 años es superior en un 4.1% que la de 4 años. La tendencia de la densidad básica del árbol promedio de 8 años muestra una variación aparente menor, a lo largo del fuste, en comparación a su par de 4 años.

#### 4.4 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN.

En los gráficos que se presentan a continuación, se exponen los resultados obtenidos en el estudio de las correlaciones e intervalos de confianza de las variables edad de 4 y 8 años; penetración del pilodyn y densidad básica medidos a altura del pecho para cada estrato. Para el cálculo de los intervalos de confianza de la recta de regresión se utilizó la siguiente fórmula:

$$I C (u_{y,x}) = \bar{Y} + b (X - \bar{X}) \pm t_{0.025} S_{Y.X} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X - \bar{X})^2}{\Sigma (X - \bar{X})^2}}$$

Fuente: Steel; Torrie (1997).

#### Referencias:

**IC(u<sub>yx</sub>)**: Intervalo de Confianza.

**Y**: Media poblacional de la densidad básica.

**X**: Penetración del pilodyn

**b**: coeficiente de regresión.

**t<sub>0.025</sub>**: percentil de la distribución t de Student con probabilidad igual a 0.05% de confianza.

**S<sub>YX</sub>**: desvío estándar de Y para X fijo

**n**: número de individuos.

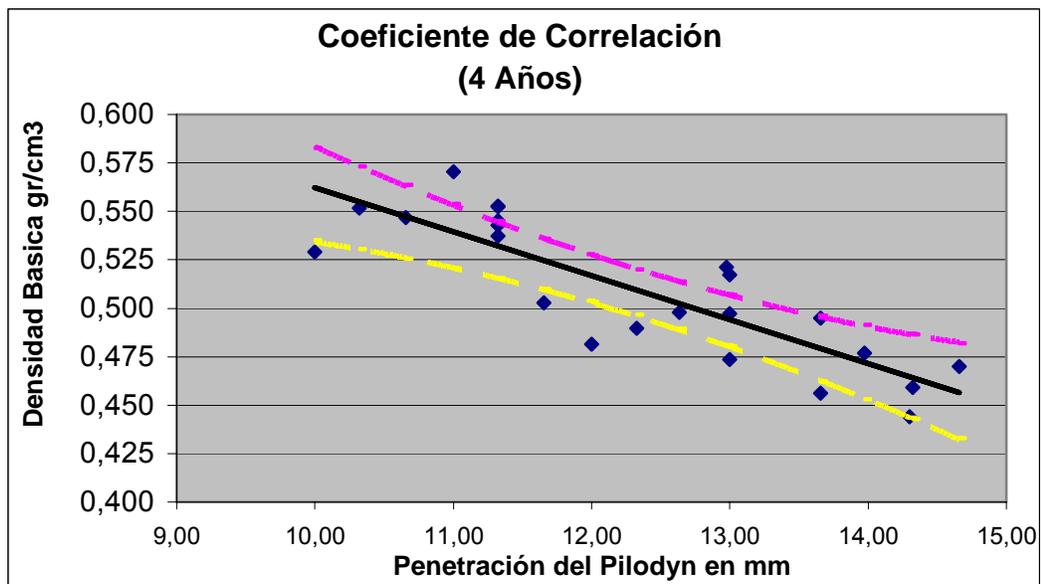
#### **4.4.2 Coeficiente de Correlación de Medidas de Pilodyn con la Densidad Básica a la Altura del Pecho (AP).**

Al realizar un análisis de correlación entre dos variables, usando como herramienta el Pilodyn a la AP, se utiliza la penetración de la aguja de éste instrumento como estimador de la densidad básica real a dicho nivel.

##### **4.4.2.1 Coeficiente de Correlación en *E. dunnii* 4 Años.**

Correlación entre penetración del Pilodyn y densidad básica real a la altura de pecho (AP = 1.30 m), en el rodal de 4 años.

**Gráfico N° 10**



Ecuación de la recta  $y = 0.7896 - 0.0227 x$

Coeficiente de Correlación  $r = -0.846$

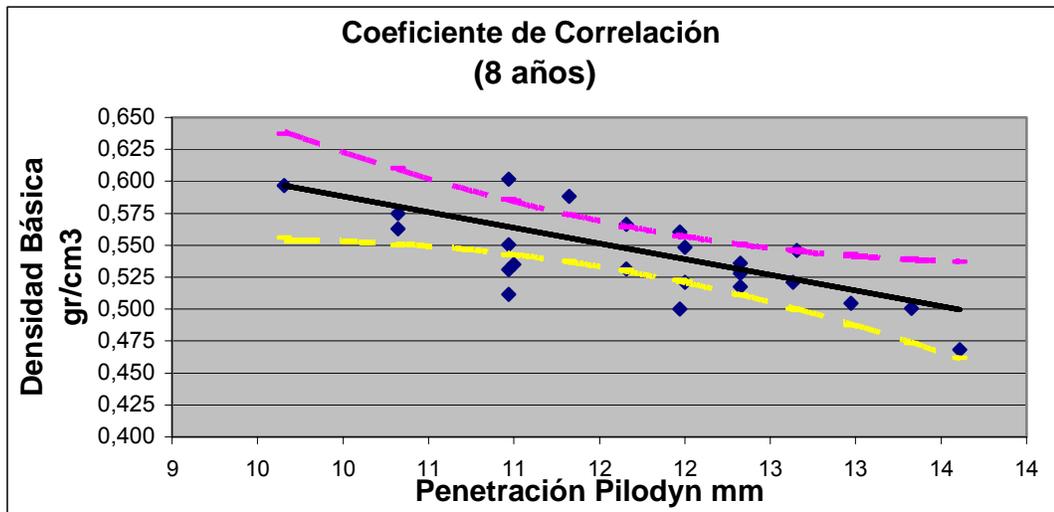
Coeficiente de regresión  $R^2 = 0.716$

Si bien presenta cierta correlación negativa, no puede considerarse suficientemente alta como para poder predecir con certeza la densidad básica real mediante el uso del pilodyn. Los límites (L. Superior ---- ; L Inferior. ---- ) que se pueden observar en la gráfica, son calculados mediante un intervalo de confianza al 0.05 de significancia para la recta de regresión. Estos límites conforman un rango de estimación de la densidad básica según la penetración del pilodyn con un 95% de confianza.

#### 4.4.2.2 Coeficiente de Correlación en *E. dunnii* 8 Años.

Correlación entre penetración del Pilodyn y densidad básica real a la altura de pecho AP (AP = 1.30 m), en el rodal de *E. dunnii* a los 8 años.

Gráfico N° 11



Ecuación de la recta  $y = 0.8335 - 0.0246 x$

Coeficiente de correlación  $r = -0.503$

Coeficiente Regresión  $R^2 = 0.291$

Se pudo verificar cierta correlación negativa, siendo aun más débil que en el caso anterior; por lo tanto, no puede considerarse suficientemente alta como para poder predecir con certeza la densidad básica real mediante el uso del pilodyn. Los límites (L. Superior ---- ; L Inferior. ----) que se pueden observar en la gráfica, son calculados mediante un intervalo de confianza al 0.05 de significancia para la recta de regresión. Estos límites conforman un rango de estimación de la densidad básica según la penetración del pilodyn con un 95% de confianza.

## 5. DISCUSION

### 5.1 DENSIDAD BÁSICA.

De los resultados obtenidos, no surgen diferencias significativas de la densidad básica entre las diferentes alturas muestreadas para *E. dunnii* de 4 años, siendo significativamente más alta en la base del árbol para el estrato de 8 años. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Fernandez y Ros (2002) e igualmente con el de Calori y Kikuti (1997) quienes en sus trabajos, analizando la variación de la densidad básica en dirección axial en esta especie, concluyen que no hay diferencias estadísticamente significativas de la densidad básica entre las distintas posiciones del árbol.

### 5.2 PUNTO ÓPTIMO DE MUESTREO

Con relación al punto de muestreo, se observó que para el estrato de 4 años, el árbol promedio calculado coincide con el promedio ponderado general a tres alturas (1, 4 y 14 m. como lo muestra el gráfico N°1). De estas tres alturas, a 1m. se obtuvo mayor correlación de la densidad básica de los 25 árboles, con respecto al promedio de dicho parámetro. No obstante, la altura a la cual se obtuvo el mayor valor de correlación de la troza basal (0.15 – 4 m) fue a la altura del pecho 1.30, con una correlación de 0.888 ( $R^2 = 0.788$ ), y rango entre el limite superior e inferior que se le puede considerar como medio, con respecto al resto del árbol.

Para el estrato de 8 años, el árbol promedio calculado, coincide con el promedio ponderado general a 4 alturas (1.30, 6, 14 y 20 m. como lo muestra el gráfico N° 4). A los 6 m. se obtuvo la mayor correlación de la densidad básica de los 25 árboles con respecto al promedio de dicho parámetro. No obstante la altura a la cual se obtuvo un valor de correlación considerablemente alto de la troza basal (0.15 – 4 m) fue a la altura

de 2 m. con una correlación de 0.917 ( $R^2 = 0.841$ ) y un rango entre el límite superior e inferior, que se le puede considerar como medio con respecto al resto del árbol. La correlación de dicho parámetro a la altura de pecho es algo menor a la anterior, con un valor de 0.847 ( $R^2 = 0.717$ ).

Greaves et al (1995) analizando la variabilidad de la densidad básica axial, encontraron una relación lineal muy fuerte ( $R^2 = 0.93$ ) entre la densidad a 1.30 y la densidad promedio del árbol. Esto sugiere que al medir la densidad a la AP (1.30 m), es una estimación bastante precisa de la densidad de todo el árbol, independientemente del sitio o del genotipo.

### **5.3 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA CON LA EDAD**

Para los estratos de edades en estudio, se observó que la densidad básica tiende a aumentar con la edad (gráficos 8 y 9). Se observó un aumento del 4.1% del promedio de la densidad básica de 4 años a 8 años. Estos resultados son coincidentes con otros estudios, tales como los llevados a cabo por Backman y García de León (2003), en donde hacen mención de que para las especies *E. grandis*, *E. saligna*, y *E. dunnii* la densidad básica aumentó en un 11% con la edad (de los 4 a 9 años). Al igual que López y Staffieri (2003), quienes concluyen de la existencia de un claro patrón de incremento de la densidad con la edad en la misma especie en estudio.

#### **5.4 MEDICIÓN INDIRECTA DE LA DENSIDAD BÁSICA MEDIANTE EL USO DEL PILODYN**

Los resultados obtenidos indican una correlación negativa entre la densidad básica y la penetración del Pilodyn a la altura del pecho ( $AP = 1.30$  m), siendo estos valores de correlación  $r$ :  $- 0.846$  y  $- 0.503$  para los estratos de 4 y 8 años respectivamente. Estas correlaciones al no ser suficientemente altas, no puede considerarse el uso del pilodyn como estimador indirecto de la densidad básica. López et al (2003) basándose en dicha correlación negativa entre las dos variables (penetración del pilodyn y densidad básica), concluyen que el uso de este instrumento puede ser confiable para determinar indirectamente la densidad de la madera de árboles en pie y discriminar grupos de individuos por clase de densidad.

## 6. CONCLUSIONES

La variación axial de la densidad básica de la madera de *E. dunnii*, no presenta diferencias significativas dentro de cada edad, 4 y 8 años (a excepción en la base, para el estrato de 8 años que difiere significativamente). Dicha variación no es significativa al analizarla a través del ANAVA, dado que no marca una tendencia definida en la variación axial de los diferentes individuos. Al no encontrar diferencias significativas en la variación axial de la densidad básica no se ajustó ningún modelo estadístico, que exprese un patrón de variación.

Aunque no había diferencias significativas en la variación axial, se estimó un punto óptimo de muestreo para cada estrato, observando: puntos los cuales el árbol promedio coincide con la densidad media de cada estrato, analizando conjuntamente los rangos superior e inferior de variabilidad y sus correlaciones correspondientes. Se puede inferir que para el estrato de 4 años el punto de muestreo más recomendable coincide con la altura del pecho a 1.30 m, siendo más recomendable a 2 m para el estrato de 8 años según los resultados obtenidos en este estudio.

Con relación a la variación de la densidad básica con respecto a la edad, se pudo verificar que los individuos de 4 años poseen un 4.1% menos de densidad básica promedio, que los individuos de 8 años para *E. dunnii*, en la zona de estudio.

Los valores obtenidos del uso del pilodyn, como un instrumento de determinación no destructivo de la densidad básica, presentaron correlación negativa baja. Por ello se puede afirmar que el pilodyn, puede ser utilizado, con cierta cautela, para la estimación indirecta de la densidad. Se puede tomar como una herramienta de gran utilidad para la obtención de una vasta cantidad de información en forma rápida y de bajo costo, la cual puede utilizarse para realizar una categorización en la población

muestreada entre árboles más y menos densos en cuanto a su densidad. Teniendo limitaciones para determinar indirectamente la densidad real de cada individuo.

Sería interesante realizar trabajos similares a éste, en diferentes sitios y probando con otros genotipos para analizar la variación axial de la densidad básica. También podrían llevarse a cabo otros estudios comparando métodos destructivos y no destructivos del cálculo de la densidad básica. Un trabajo que sería de gran relevancia es el estudio de la variación de la densidad básica según la edad de un mismo individuo (clones), así se podría correlacionar ésta variación para estimar dicho parámetro a temprana edad. Otro estudio para llevar a cabo sería un análisis de la variación individual de la variación axial de la densidad básica, dado que se verificó gran variación individual.

## 7. RESUMEN

Se estudió la variación axial de la densidad básica en *Eucalyptus dunnii* para dos estratos de edad (4 y 8 años) en la zona litoral oeste de nuestro país. Se extrajeron discos a intervalos en el fuste de 1 m y 2 m para el estrato de 4 y 8 años respectivamente, comenzando desde la base hasta altura comercial.

Si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la variación axial, para ambos estratos, se realizó una aproximación al punto óptimo de muestreo, basándose en correlaciones y los rangos superiores e inferiores de la densidad básica promedio por altura. Se puede inferir que para el estrato de 4 años el punto de muestreo más recomendable coincide con la altura del pecho a 1.30 m, siendo más recomendable a 2 m para el estrato de 8 años según los resultados obtenidos en este estudio.

Adicionalmente se estudio la correlación entre la densidad básica y la penetración de pilodyn a la altura del pecho (AP = 1.30 m), observándose una correlación negativa baja.

**Palabras clave:** *Eucalyptus dunnii*, propiedades de la madera, densidad básica, variación axial de la densidad, Pilodyn.

## 8. SUMMARY

The basic density axial variation was studied in *Eucalyptus dunnii* for two age strata (4 and 8 years) in the north western area of our country. Discs were extracted 1m and 2 m respectively for the stratum of 4 and 8 years, beginning from the base until commercial height.

Although there were no statistically significant differences in the axial variation, for both strata, one carries out an approach to the best point of sampling, being based on correlations and the superior and inferior ranges of the average basic density by height. For the 4 year-old stratum the point of more advisable sampling coincides at the height of the chest (1.30 m), being more advisable at 2 m for the 8 year-old stratum according to the results obtained in this study

Additionally was carried out a study of the correlation between the basic density and the pilodyn penetration at the height of the chest (AP = 1.30 m), observing descends negative correlation.

Keywords: *Eucalyptus dunnii*, wood properties, basic density, axial variation of density, Pilodyn.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. **Achugar L.A.; Scaglione G.; 2003** “Evaluación de propiedades de la madera en clones de *Eucalyptus grandis* HILL (ex maiden)”. Tesis Ing. Agr. Montevideo Uruguay, Facultad de Agronomía pág.: 81.
2. **Backman M.E.; García de Leon J.P.; 2003** “Correlations of pulp and paper properties at an early age full rotation age of five Eucalyptus species” Conferencia EUCEPA de Aveiro, Portugal.
3. **Barrichelo L.E.G; Brito J.O.; Migliorini A.J.** 1982; “Estudo da Variacao Longitudinal da Densidade Básica de *Eucalyptus* spp.”; Silvicultura 4to Congresso Florestal Brasileiro; Anais, Ano VIII N°28; Belo Horizonte Brasil, pág.: 726 – 731.
4. **Bianchi B; Dibarboure H;** 1993; “Selección de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) por peso específico aparente básico y evaluación de tensiones de crecimiento”. Tesis Ing. Agr. Montevideo Uruguay, Facultad de Agronomía pág.: 59.
5. **Boland D.; Brooker, M.; Chippendale, G.; Hall N; Hyland B; Johnston R.; Kleinig D; Turner J.** 1984 Forest Trees of Australia New Edition, C.S.I.R.O. pág.: 442.
6. **Brasil M.A.M; Arruda Veiga R.A.; Ferreira M.,** 1977; “Variacao da densidade básica nas seccoas transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto” IPEF, Piracicaba, Brasil. N°15 pág.: 73 – 82

7. \_\_\_\_\_; **Arruda Veiga R.A.; Mello H.D.**, 1979; “Densidade básica do *Eucalyptus grandis* aos tres anos da idade”. IPEF, Piracicaba, Brasil N°19 pág.: 63-76.
8. **Calori, J.V.; Kikuti P.**; 1997; “Propiedades físicas e mecánicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade”, IUFRO Conference on silviculture and improvement of eucalypts. Vol 3 Salvador, Brasil, pág. 321-325.
9. **Centurion C.F.; Llano L.R.**; 1995; “Determinación del peso específico aparente básico por los métodos UNIT 237-70 y Máximo tenor de humedad con probetas de incremento radial en *Eucalyptus grandis* Hil ex Maiden.” Tesis Ing. Agr. Montevideo Uruguay. Facultad de Agronomía pág.: 47.
10. **Compendio de Suelos del Uruguay** – versión 1 – 1994. Formulario Carta Millón. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca Dirección de Recursos Naturales Renovables División Suelos y Aguas. Versión en programa informático.
11. **Coronel E.O.** 1994; “Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas; Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades, y sus aplicaciones”. Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales pág. 187.
12. **Da Silva S.C; Brune A.**; 1982 “Avaliacao da densidade básica de madeira em árvores vivas” Silvicultura 4to Congresso Florestal Brasileiro; Anais, Ano VIII N°28; Belo Horizonte Brasil, pág: 859 – 862.

13. **De Bell E.S.; Keyes C.R.; Gartner B.L;** 2001 “Wood density of *Eucalyptus saligna* grown in Hawaiian plantations: effects of silvicultural practices and relation to growth rate.” *Australian Forestry* Vol 64 N°2 pág.:106 – 110.
14. **Fernandez V.C; Ros A.C;** 2000 “Caracterización anatómica de dos especies de *Eucalyptus* (*Eucalyptus dunnii* Maiden y *Eucalyptus badjensis* Beuzev & Welch).” Tesis Ing. Agr. Montevideo Uruguay. Facultad de Agronomía pág.: 60.
15. **Ferreira C.A.; Ferreira M; Freitas M;** 1979 “Densidade basica da madeira de plantacoes comerciais de eucaliptos, na regio de Mogi-Guacu (S.P)”. IPEF, Piracicaba N°18 pág: 106-117.
16. **Ferreira M.; Kageyama P.Y.;** 1978 “Melhoramiento genético da densidade da madeira de eucalipto” *Silvicultura Anais do 3º Congresso Florestal Brasileiro 2º vol, edicion especial N°14 Manaus – AM Brasil, pág: 148 – 152.*
17. **Foelkel C.E; Fernandes A.; Busnardo C.;** 1982; “Método do máximo teor de umidade aplicado á determinacao de densidade básica da madeira do eucalipto”, *Silvicultura 4to Congresso Florestal Brasileiro; Anais, Ano VIII N°28; Belo Horizonte Brasil, pág: 792 – 796.*
18. **Gea L.D.; McConnochie R.;** 1997; “Genetic parameters for growth and wood density traits in *Eucalyptus nitens* in New Zealand.” *New Zealand Journal of Forestry Science* Vol 27 N°3 pág.: 237 – 244.
19. **Greaves B.L; Borralho N.M.G; Raymond C.A.;** 1995; “Use of a Pilodyn for indirect selection of basic density in *Eucalyptus nitens*” *Eucalypt Plantations:*

Improving Fibre Yield and Quality. Proceedings papers CRCTHF – IUFRO. Conference Hobart, Australia pág: 106-109.

20. **Hicks C.C.; Clark N.B;** 2001 “Pulp quality of 13 eucalypt species with potential for farm forestry” A report for the RIRDC/Land and Water Australia/FWPRDC, Joint Venture Agroforestry Program. RIRDC Publication N°01/164. RIRDC Project N° CSF-56<sup>a</sup>.
21. **Kageyama P.Y.; Lopez A.; Barrichelo L.E.G; Migliorini A.J.; Sansigolo C.;** 1982 “Variacao genetica para densidade da madeira em progenies de *Eucalyptus grandis*”. Silvicultura 4to Congreso Florestal Brasileiro Anais, Belo Horizonte Brasil, Ano VIII N°28; pág: 318-324.
22. **Lausberg M.J.F; Gilchrist K.F; Skipwith J.H.;** 1995; “Wood properties of *Eucalyptus nitens* grown in New Zealand” New Zealand Journal of Forestry Science Vol 25 N°2 pág.: 147 – 163.
23. **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 N° 191 pág.: 21 – 27.
24. **Lopes G.A; Garcia J.N.** 2002 “Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padroes de casca apresentados pela populacao”. Scientia Forestalis N°62, pág: 13 – 23.
25. **López 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. [Jlopez@correointa.gov.ar](mailto:Jlopez@correointa.gov.ar)

26. \_\_\_\_\_; **Parisi L.M.; Harrand L.;** 2003 “Densidad de la madera de 3 huertos semilleros de progenies de *Eucalyptus grandis*”. EEA INTA Bella Vista Corrientes, Argentina. [Jlopez@correointa.gov.ar](mailto:Jlopez@correointa.gov.ar)
  
27. **Malan F.S.;** 1988; “Wood density variation in four trees of South African grown *Eucalyptus grandis*.” South African Forestry Journal N° 144 pág.: 36 – 46.
  
28. \_\_\_\_\_; 1988; “Genetic Variation in Some Growth and wood properties among 18 full-sib families of South African grown *Eucalyptus grandis*.” South African Forestry Journal N° 146 pág.: 38 – 43.
  
29. \_\_\_\_\_; 1991; “Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with potential reference to the effect of rate of growth.” South African Forestry Journal N° 157 pág.: 16 – 23.
  
30. \_\_\_\_\_; **Hoon M.;** 1992; “Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*.” South African Forestry Journal N° 163 pág.: 13 – 20.
  
31. \_\_\_\_\_; **Arbuthnot A.L.;** 1995 “The inter-relationships between density and fibre properties of South African grown *Eucalyptus grandis*” Eucalyp Plantation: Improving fibre yield and quality. CRC for Temperate Hardwood Forestry - IUFRO, Hobart, pág.: 116 – 120.
  
32. \_\_\_\_\_; 2000 “The wood properties and sawn board quality of the *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* hybrid” South African Forestry Journal – N° 188 pág.: 29 – 43.

33. **Marcó M.A; López J.A;** 1995 Performance of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in the Mesopotamia region, Argentina. Theme 2 Genetic, environmental and silvicultural effects. CRC for Temperate Hardwood Forestry – IUFRO, Hobart pág.: 40-45.
34. **Mc Kinley R.B.; Shelbourne C.J.A; Low C.B; Penellum B; Kimberley M.O;** 2002 “Wood properties of young *Eucalyptus nitens*, *E. globulus*, and *E. maidenii* in Northland, New Zealand.” New Zealand Journal of Forestry Science N°32 tomo 3 pág.: 334 – 356.
35. **MGAP;** 1979 ; “Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay”, Tomo III. Dirección de Suelos y Fertilizantes Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
36. **Monteiro R.F.; Cordeiro J.A.** 1982; “Observacoes sobre o comportamento de *Eucalyptus dunnii* MAIDEN”; Silvicultura 4to Congresso Florestal Brasileiro; Anais, Ano VIII N°28; Belo Horizonte Brasil, pág: 353 – 356.
37. **Moraes M.L.T; Higa A.R.; Cavenage A.; Kano N.K;** 1997 “Avaliacao da densidade basica da madeira e de sua relacao com os caracteres de crescimento, em uma populacao base de *Eucalyptus camaldulensis*” IUFRO Conference on silviculture and improvement of eucalypts. Vol. 3 Salvador, Brasil, pág. 43-46.
38. **Nicholls J.W.P;** 1985; “A new method for determining wood density in the standing tree.” Australian Forest Research Vol. 15 N°2 pág.: 195 – 206.

39. **Pereira J.C.D.; Schaitza E.G.; Higa A.R;** 1997; “Caracterização da densidade básica e da composição química da madeira de *Eucalyptus dunnii*”. Pesquisa em andamento. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Brasil. Nº49, pág: 1-2.
40. \_\_\_\_\_; **Schaitza E.G.; Higa A.R;** 1997; “Caracterização dos resíduos da madeira de *Eucalyptus dunnii* como fonte de energia” Pesquisa em andamento. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Brasil. Nº36, pág: 1-3.
41. \_\_\_\_\_; **Sturion J.A.; Higa A.R.; Higa R.C.V.; Shimizu J.Y.** 2000 “Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil”; Colombo EMBRAPA Florestas. 113p Documentos 38 ISSN 1517-536X, Paraná, Brasil.
42. **Raymond C.A.** 1995 “Genetic control of wood and fibre traits in *Eucalyptus*” *Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality. Proceedings papers CRCTHF – IUFRO. Conference Hobart, Australia* pág: 49-51.
43. **Ribeiro F.A.; Zani J.F;** 1993 “Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus spp*” IPEF Piracicaba Brasil, Vol 46 pág:76-85.
44. **Rodríguez G.; Martínez J.; Mantero C.; Sauer C.; Pepelescov M.;** 2002 “Caracterización físico – mecánica de la madera de una población de *Eucalyptus dunnii* Maiden cultivado en Uruguay”. Jornadas Sul – Americanas de Engenharia Estrutural Universidade de Brasília – UnB Brasília, DF – Brasil.

45. **Rojas P.; Fernandez de la Reguera P.; Aravena R.; San Martín E.;** 1993; “Funciones de predicción de densidad básica de *E. globulus* y de *E. nitens* por un método no destructivo” INFOR Instituto Forestal, ACTAS Simposio Los eucaliptos en el desarrollo forestal de Chile. Púcon, Chile, pág.: 109-125.
46. **Senyszyn P.;** 1999 “La madera, aspectos estructural, cualitativo y utilitario” Area Forestal Curso de Industrias Forestales, Facultad de Agronomía Montevideo Uruguay. Código 204 pág.: 49.
47. **Serpa P.N.; Vital B.R.; Della Lucia R.M; Pimenta A.S.;** 2003 “Avaliacao de algumas propiedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*” Revista Árvore Vol 27 N°5.
48. **Sorrentino A.** 1997; “Manual para diseño y ejecución de inventarios forestales”. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur, Montevideo Uruguay.
49. **Steel R.; Torrie J.** 1997; “Bio estadística, Principios y procedimientos” segunda edicion (primera en español). Mc Graw-Hill Inc., U.S.A pág: 231-262.
50. **Sturion J. A. ; Pereira J.C.D.; Albina J.C.; Morita M.;** 1987; “Variacao da densidade básica de madeira de doze especies de *Eucalyptus* plantados em Uberaba, Brasil”. Boletim de Pesquisas Florestal N° 14 pág: 28-38.
51. **Technical Association of Pulp and Paper Industry** – “ TAPPI Norma T 258 om-94”.
52. **Toit B; Arbuthnot A.; Oscroft D.; Job R.A;** 2001 “The efect of remedial fertilizer treatmens on growth and pulp properties of *Eucalyptus grandis*

stands established on infertile soils of the Zululand coastal plain” Southern African Forestry Journal N°192 pág.: 9 – 18.

53. **Trugilho P.F; Mendes L.M; Silva J.R.M; Lima J.T;** 1997 “Influencia da idade nas características físicas, químicas e anatómicas da madeira de *Eucalyptus grandis*” IUFRO Conference on silviculture and improvement of eucalypts. Vol 3 Salvador, Brasil, pág. 269 - 274.
54. **Tuset R.; Duran F;** 1979 “Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización” Editorial agropecuaria hemisferio sur S.R.L. Montevideo Uruguay., pág: 647 – 654.
55. **Vignerón Ph.; Gerard J.; Bouvet J.M;** 1995 “Relationship between basic density and growth in a fertilization trial with clones of *Eucalyptus* híbridos in Congo” Theme 2 Genetic, environmental and silvicultural effects. CRC for Temperate Hardwood Forestry – IUFRO, Hobart pág.: 68 - 72.
56. **Wilkins A.P.;** 1990; “Influence of silvicultural treatment on growth and wood density of *Eucalyptus grandis* grown on a previous pasture site.” Australian Forestry 1990, Vol 53 N°3 pág.: 168 – 172.
57. **Xavier A.; De Cássia R.; Cruz C.D; Cecon P.R.;** 1997; “Parametros genéticos de características de qualidade da madeira em *Eucalyptus grandis*”. Revista Arvore Vicosa-MG. Vol 21, N°1 pág: 71-78.
58. **Yang J.L.; Ilic J.;** 2003; “A new method of determining growth stress and relationships between associated wood properties of *Eucalyptus globulus* Labill.” Australian Forestry Vol 66 N°2 pág.: 153 – 157.

59. **Zobel B.J.; Talbert J.T.** 1988; “Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales”. 2ª Reimp. México, Limusa; pág: 545.

## 10. ANEXOS

### Anexo 1: Parámetros dasométricos de las poblaciones de muestreo

#### Cuadro: *Eucalyptus dunnii* de 4 años

#### Parámetros Dasométricos por árbol (expresados en m)

N Árbol	DAP	Esp. Cort	DAP s/c	H T	HC	Vol Real Comercial	Vol Total DAP	FF Total DAP
51	0,160	0,008	0,144	19,40	12,60	<b>0,150</b>	<b>0,390</b>	<b>0,39</b>
52	0,141	0,007	0,127	16,70	13,10	<b>0,133</b>	<b>0,261</b>	<b>0,51</b>
53	0,173	0,007	0,159	21,00	13,90	<b>0,182</b>	<b>0,494</b>	<b>0,37</b>
54	0,146	0,007	0,132	18,30	11,20	<b>0,129</b>	<b>0,306</b>	<b>0,42</b>
55	0,162	0,007	0,148	20,20	12,80	<b>0,154</b>	<b>0,416</b>	<b>0,37</b>
56	0,160	0,010	0,140	20,00	12,20	<b>0,133</b>	<b>0,402</b>	<b>0,33</b>
57	0,167	0,007	0,153	22,10	14,50	<b>0,160</b>	<b>0,484</b>	<b>0,33</b>
58	0,168	0,008	0,152	23,20	15,30	<b>0,168</b>	<b>0,514</b>	<b>0,33</b>
59	0,159	0,007	0,145	21,10	13,40	<b>0,159</b>	<b>0,419</b>	<b>0,38</b>
60	0,168	0,008	0,152	20,40	13,10	<b>0,123</b>	<b>0,452</b>	<b>0,27</b>
61	0,165	0,008	0,149	22,00	14,90	<b>0,186</b>	<b>0,470</b>	<b>0,40</b>
62	0,151	0,007	0,137	21,00	14,00	<b>0,144</b>	<b>0,376</b>	<b>0,38</b>
63	0,153	0,009	0,135	20,00	12,50	<b>0,140</b>	<b>0,368</b>	<b>0,38</b>
64	0,156	0,009	0,138	22,70	13,90	<b>0,155</b>	<b>0,434</b>	<b>0,36</b>
65	0,173	0,009	0,155	21,00	13,20	<b>0,175</b>	<b>0,494</b>	<b>0,36</b>
66	0,135	0,009	0,117	18,70	12,30	<b>0,099</b>	<b>0,268</b>	<b>0,37</b>
67	0,132	0,006	0,120	19,00	12,50	<b>0,088</b>	<b>0,260</b>	<b>0,34</b>
68	0,143	0,008	0,127	21,20	13,50	<b>0,108</b>	<b>0,340</b>	<b>0,32</b>
69	0,160	0,008	0,144	20,00	11,70	<b>0,134</b>	<b>0,402</b>	<b>0,33</b>
70	0,159	0,008	0,143	20,10	13,00	<b>0,125</b>	<b>0,399</b>	<b>0,31</b>
71	0,176	0,008	0,160	20,80	13,20	<b>0,176</b>	<b>0,506</b>	<b>0,35</b>
72	0,173	0,010	0,153	20,60	13,50	<b>0,172</b>	<b>0,484</b>	<b>0,36</b>
73	0,174	0,009	0,156	21,70	15,40	<b>0,189</b>	<b>0,516</b>	<b>0,37</b>
74	0,162	0,010	0,142	20,20	12,80	<b>0,147</b>	<b>0,416</b>	<b>0,35</b>
75	0,150	0,006	0,138	17,90	10,80	<b>0,096</b>	<b>0,316</b>	<b>0,30</b>
X	0,159	0,008	0,143	20,37	13,17	0,145	<b>0,408</b>	<b>0,359</b>
S	0,012	0,001	0,012	1,493	1,140	0,028	<b>0,08</b>	<b>0,05</b>
CV	12,91	6,928	12,20	13,64	11,55	5,100	<b>5,067</b>	<b>7,965</b>

**Cuadro: Eucalyptus dunnii de 8 años**

Parámetros Dasométricos por árbol (expresados en m)

N Árbol	DAP	Esp. Cort	DAP s/c	HT	HC	Vol Real Comercial	Vol Total DAP	FF Total DAP
76	0,235	0,012	0,211	26,3	21,0	0,243	1,141	0,21
77	0,217	0,009	0,199	25,7	20,0	0,205	0,950	0,22
78	0,245	0,010	0,225	30,0	26,4	0,262	1,414	0,19
79	0,195	0,010	0,175	25,7	18,1	0,132	0,768	0,17
80	0,197	0,010	0,177	26,3	20,8	0,164	0,802	0,21
81	0,195	0,009	0,177	26,0	19,5	0,153	0,776	0,20
82	0,190	0,010	0,170	25,0	19,8	0,143	0,709	0,20
83	0,200	0,010	0,180	25,4	20,8	0,191	0,798	0,24
84	0,230	0,009	0,212	26,8	21,8	0,249	1,113	0,22
85	0,185	0,009	0,167	24,0	17,9	0,142	0,645	0,22
86	0,220	0,012	0,196	25,1	19,4	0,188	0,954	0,20
87	0,225	0,010	0,205	27,5	21,6	0,219	1,093	0,20
88	0,220	0,011	0,198	28,1	21,7	0,225	1,068	0,21
89	0,210	0,010	0,190	26,4	20,4	0,188	0,914	0,21
90	0,221	0,010	0,201	25,4	20,4	0,185	0,974	0,19
91	0,210	0,010	0,190	26,3	21,0	0,187	0,911	0,21
92	0,212	0,009	0,194	27,6	21,3	0,197	0,974	0,20
93	0,230	0,012	0,206	27,3	21,7	0,240	1,134	0,21
94	0,235	0,008	0,219	29,3	23,3	0,266	1,271	0,21
95	0,225	0,009	0,207	29,7	24,0	0,254	1,181	0,21
96	0,213	0,009	0,195	26,2	21,7	0,219	0,934	0,23
97	0,223	0,009	0,205	27,7	22,5	0,226	1,082	0,21
98	0,225	0,009	0,207	29,6	23,6	0,269	1,177	0,23
99	0,215	0,012	0,191	26,9	21,7	0,196	0,977	0,20
100	0,215	0,008	0,199	26,3	21,3	0,209	0,955	0,22
X	0,216	0,010	0,196	26,82	21,27	0,206	0,989	0,21
S	0,015	0,001	0,015	1,569	1,824	0,040	0,2	0,01
CV	14,19	8,35	13,01	17,10	11,66	5,15	5,42	14,04

**FORMULAS CALCULOS DE VOLUMEN**

Volumen Real Formula Acumulada de Smalian:  $V_r = \pi/4 * (D_0^2 + \dots + D_{n-1}^2 + (D_n^2)/2) * L$

## Anexo 2: Densidades medias ponderadas de las poblaciones de muestreo

### Densidad Media Pondera DMP para 4 años

#### ARBOL

	D 0	D 1	D a.p.	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	D 12	D 13	D 14	TOTAL
<b>51</b>																	
<b>Densidad</b>	0,552	0,546	0,521	0,575	0,541	0,549	0,544	0,494	0,543	0,516	0,462	0,442	0,504	0,542			
<b>Diámetros</b>	0,165	0,148	0,140	0,140	0,133	0,133	0,125	0,115	0,110	0,105	0,100	0,094	0,088	0,080			
<b>Volumen</b>	0,019	0,016	0,015	0,015	0,014	0,013	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,007	0,006	0,003			0,153
<b>DMP</b>	0,069	0,057	0,055	0,053	0,049	0,047	0,038	0,034	0,031	0,026	0,022	0,020	0,019	0,004			0,526
<b>52</b>																	
<b>Densidad</b>	0,577	0,474	0,503	0,472	0,495	0,488	0,493	0,478	0,491	0,454	0,481	0,478	0,522	0,481			
<b>Diámetros</b>	0,175	0,138	0,135	0,128	0,128	0,120	0,115	0,110	0,105	0,095	0,088	0,085	0,083	0,070			
<b>Volumen</b>	0,019	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,006	0,005	0,002			0,135
<b>DMP</b>	0,076	0,053	0,049	0,046	0,044	0,039	0,036	0,033	0,028	0,023	0,021	0,020	0,017	0,003			0,488
<b>53</b>																	
<b>Densidad</b>	0,572	0,578	0,552	0,526	0,523	0,533	0,553	0,568	0,548	0,562	0,546	0,558	0,534	0,580	0,573		
<b>Diámetros</b>	0,198	0,160	0,155	0,148	0,140	0,138	0,128	0,130	0,120	0,115	0,108	0,101	0,095	0,085	0,081		
<b>Volumen</b>	0,025	0,019	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,006	0,005	0,003		0,184
<b>DMP</b>	0,079	0,060	0,053	0,046	0,043	0,041	0,040	0,037	0,033	0,029	0,026	0,022	0,019	0,017	0,004		0,548
<b>54</b>																	
<b>Densidad</b>	0,479	0,437	0,438	0,469	0,518	0,480	0,508	0,500	0,526	0,532	0,528	0,527					
<b>Diámetros</b>	0,162	0,162	0,132	0,130	0,124	0,119	0,113	0,105	0,100	0,093	0,090	0,085					
<b>Volumen</b>	0,021	0,017	0,013	0,013	0,012	0,011	0,009	0,008	0,007	0,007	0,006	0,003					0,126
<b>DMP</b>	0,075	0,059	0,048	0,049	0,046	0,041	0,037	0,034	0,031	0,027	0,025	0,006					0,479
<b>55</b>																	
<b>Densidad</b>	0,522	0,499	0,490	0,497	0,513	0,520	0,533	0,532	0,533	0,547	0,524	0,482	0,566	0,543			
<b>Diámetros</b>	0,160	0,150	0,145	0,132	0,130	0,130	0,125	0,125	0,115	0,110	0,100	0,102	0,090	0,088			
<b>Volumen</b>	0,019	0,017	0,015	0,013	0,013	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,003			0,157
<b>DMP</b>	0,061	0,054	0,047	0,043	0,044	0,043	0,042	0,038	0,034	0,030	0,026	0,024	0,022	0,005			0,512
<b>56</b>																	
<b>Densidad</b>	0,513	0,521	0,517	0,496	0,557	0,487	0,504	0,495	0,516	0,514	0,501	0,527	0,456				
<b>Diámetros</b>	0,165	0,145	0,140	0,130	0,125	0,125	0,117	0,113	0,105	0,100	0,095	0,086	0,080				
<b>Volumen</b>	0,019	0,016	0,014	0,013	0,012	0,012	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,003				0,136
<b>DMP</b>	0,072	0,061	0,054	0,050	0,047	0,042	0,038	0,035	0,031	0,028	0,024	0,020	0,004				0,506
<b>57</b>																	
<b>Densidad</b>	0,500	0,459	0,477	0,482	0,490	0,494	0,514	0,492	0,452	0,497	0,502	0,479	0,482	0,481	0,429		
<b>Diámetros</b>	0,170	0,148	0,140	0,140	0,132	0,131	0,128	0,120	0,114	0,112	0,100	0,097	0,092	0,085	0,072		
<b>Volumen</b>	0,020	0,016	0,015	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,002		0,162
<b>DMP</b>	0,059	0,047	0,045	0,044	0,041	0,041	0,037	0,031	0,029	0,027	0,023	0,021	0,018	0,014	0,003		0,480
<b>58</b>																	
<b>Densidad</b>	0,547	0,527	0,497	0,488	0,487	0,503	0,503	0,508	0,487	0,526	0,530	0,524	0,503	0,535	0,538		
<b>Diámetros</b>	0,165	0,150	0,145	0,142	0,135	0,132	0,130	0,125	0,115	0,115	0,108	0,100	0,095	0,088	0,080		
<b>Volumen</b>	0,020	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,013	0,011	0,010	0,010	0,009	0,007	0,007	0,006	0,003		0,170
<b>DMP</b>	0,062	0,051	0,047	0,043	0,041	0,040	0,038	0,033	0,031	0,030	0,026	0,023	0,020	0,017	0,004		0,506
<b>59</b>																	
<b>Densidad</b>	0,552	0,512	0,482	0,501	0,495	0,512	0,524	0,527	0,517	0,528	0,525	0,517	0,539	0,487			
<b>Diámetros</b>	0,178	0,154	0,148	0,140	0,134	0,130	0,125	0,122	0,115	0,106	0,104	0,097	0,090	0,080			
<b>Volumen</b>	0,022	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,003			0,161
<b>DMP</b>	0,072	0,055	0,050	0,045	0,043	0,041	0,039	0,036	0,031	0,028	0,026	0,022	0,018	0,004			0,510
<b>60</b>																	
<b>Densidad</b>	0,538	0,587	0,553	0,564	0,523	0,440	0,535	0,579	0,560	0,538	0,516	0,542	0,521				
<b>Diámetros</b>	0,158	0,135	0,135	0,127	0,124	0,117	0,112	0,107	0,100	0,095	0,090	0,090	0,076				
<b>Volumen</b>	0,017	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,007	0,006	0,005	0,002				0,125
<b>DMP</b>	0,076	0,065	0,060	0,054	0,044	0,040	0,042	0,038	0,033	0,028	0,027	0,023	0,005				0,536

<b>61</b>																
<b>Densidad</b>	0,533	0,477	0,470	0,474	0,471	0,526	0,523	0,525	0,502	0,501	0,499	0,525	0,550	0,542	0,543	0,512
<b>Diametros</b>	0,180	0,156	0,150	0,145	0,142	0,142	0,135	0,127	0,122	0,115	0,110	0,104	0,100	0,090	0,082	0,075
<b>Volumen</b>	0,022	0,018	0,017	0,016	0,016	0,015	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,002
<b>DMP</b>	0,060	0,046	0,043	0,040	0,042	0,042	0,037	0,033	0,029	0,026	0,024	0,023	0,021	0,017	0,014	0,003
<b>62</b>																
<b>Densidad</b>	0,535	0,582	0,570	0,574	0,577	0,577	0,582	0,582	0,591	0,571	0,571	0,577	0,573	0,606	0,572	
<b>Diametros</b>	0,160	0,132	0,131	0,130	0,130	0,124	0,119	0,116	0,110	0,104	0,099	0,097	0,087	0,083	0,074	
<b>Volumen</b>	0,017	0,014	0,013	0,013	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,008	0,007	0,006	0,005	0,002	
<b>DMP</b>	0,065	0,054	0,052	0,052	0,050	0,046	0,043	0,040	0,036	0,032	0,030	0,026	0,023	0,020	0,004	
<b>63</b>																
<b>Densidad</b>	0,469	0,467	0,444	0,467	0,459	0,495	0,499	0,479	0,500	0,504	0,502	0,521	0,508	0,524		
<b>Diametros</b>	0,160	0,145	0,140	0,136	0,128	0,126	0,118	0,113	0,105	0,100	0,095	0,090	0,083	0,075		
<b>Volumen</b>	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,012	0,010	0,009	0,008	0,007	0,007	0,006	0,005	0,002		
<b>DMP</b>	0,060	0,051	0,048	0,044	0,042	0,041	0,036	0,032	0,029	0,026	0,024	0,021	0,018	0,004		
<b>64</b>																
<b>Densidad</b>	0,532	0,578	0,553	0,542	0,536	0,539	0,558	0,540	0,532	0,544	0,402	0,560	0,544	0,577	0,542	
<b>Diametros</b>	0,168	0,144	0,142	0,134	0,133	0,128	0,122	0,117	0,112	0,110	0,100	0,096	0,090	0,083	0,076	
<b>Volumen</b>	0,019	0,016	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,002	
<b>DMP</b>	0,068	0,058	0,052	0,048	0,046	0,043	0,039	0,035	0,033	0,026	0,023	0,024	0,021	0,018	0,004	
<b>65</b>																
<b>Densidad</b>	0,481	0,441	0,456	0,442	0,438	0,450	0,492	0,458	0,456	0,489	0,473	0,508	0,503	0,522		
<b>Diametros</b>	0,175	0,160	0,158	0,151	0,140	0,140	0,135	0,125	0,118	0,114	0,108	0,103	0,095	0,082		
<b>Volumen</b>	0,022	0,020	0,019	0,017	0,015	0,015	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,006	0,003		
<b>DMP</b>	0,057	0,050	0,047	0,041	0,038	0,039	0,035	0,030	0,028	0,026	0,024	0,022	0,018	0,004		
<b>66</b>																
<b>Densidad</b>	0,567	0,553	0,543	0,507	0,514	0,527	0,516	0,529	0,518	0,524	0,556	0,530				
<b>Diametros</b>	0,140	0,122	0,120	0,118	0,115	0,112	0,104	0,100	0,092	0,092	0,082	0,080				
<b>Volumen</b>	0,014	0,011	0,011	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,007	0,006	0,005	0,003				
<b>DMP</b>	0,074	0,062	0,057	0,053	0,052	0,047	0,042	0,037	0,034	0,032	0,027	0,007				
<b>67</b>																
<b>Densidad</b>	0,569	0,535	0,569	0,579	0,542	0,595	0,585	0,542	0,584	0,560	0,564					
<b>Diametros</b>	0,140	0,119	0,115	0,115	0,112	0,110	0,100	0,095	0,089	0,085	0,082					
<b>Volumen</b>	0,013	0,011	0,010	0,010	0,010	0,009	0,007	0,007	0,006	0,005	0,003					
<b>DMP</b>	0,080	0,065	0,065	0,062	0,060	0,056	0,046	0,041	0,037	0,034	0,008					
<b>68</b>																
<b>Densidad</b>	0,568	0,559	0,545	0,536	0,555	0,560	0,559	0,564	0,568	0,598	0,607	0,598	0,596			
<b>Diametros</b>	0,145	0,122	0,125	0,122	0,115	0,108	0,100	0,100	0,096	0,093	0,090	0,085	0,078			
<b>Volumen</b>	0,014	0,012	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,008	0,007	0,007	0,006	0,005	0,002			
<b>DMP</b>	0,072	0,060	0,059	0,055	0,050	0,043	0,040	0,039	0,037	0,036	0,033	0,028	0,006			
<b>69</b>																
<b>Densidad</b>	0,549	0,536	0,547	0,546	0,552	0,530	0,552	0,551	0,544	0,540	0,550	0,557	0,561	0,553		
<b>Diametros</b>	0,170	0,143	0,138	0,130	0,124	0,122	0,114	0,106	0,103	0,096	0,093	0,086	0,080	0,072		
<b>Volumen</b>	0,019	0,016	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,002		
<b>DMP</b>	0,077	0,062	0,057	0,051	0,047	0,044	0,039	0,035	0,031	0,028	0,026	0,022	0,019	0,004		
<b>70</b>																
<b>Densidad</b>	0,545	0,503	0,498	0,502	0,495	0,512	0,510	0,515	0,517	0,506	0,512	0,504				
<b>Diametros</b>	0,170	0,140	0,135	0,130	0,125	0,123	0,116	0,116	0,103	0,100	0,090	0,085				
<b>Volumen</b>	0,019	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,003				
<b>DMP</b>	0,078	0,058	0,054	0,050	0,048	0,045	0,042	0,038	0,032	0,028	0,024	0,006				
<b>71</b>																
<b>Densidad</b>	0,542	0,525	0,529	0,525	0,527	0,540	0,500	0,547	0,549	0,567	0,569	0,572	0,604	0,596		
<b>Diametros</b>	0,195	0,165	0,158	0,155	0,140	0,138	0,135	0,121	0,116	0,113	0,104	0,095	0,090	0,082		
<b>Volumen</b>	0,026	0,020	0,019	0,017	0,015	0,015	0,013	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,003		
<b>DMP</b>	0,077	0,060	0,057	0,050	0,045	0,043	0,038	0,034	0,032	0,029	0,025	0,022	0,020	0,004		

0,189  
0,501

0,146  
0,572

0,143  
0,477

0,157  
0,537

0,178  
0,461

0,102  
0,525

0,091  
0,557

0,110  
0,559

0,136  
0,542

0,128  
0,503

0,179  
0,536

<b>72</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	D 12	D 13	D 14	
<b>Densidad</b>	0,568	0,547	0,537	0,542	0,530	0,542	0,572	0,520	0,529	0,524	0,540	0,548	0,535	0,581			
<b>Diametros</b>	0,190	0,155	0,153	0,150	0,140	0,136	0,134	0,123	0,118	0,113	0,110	0,098	0,090	0,083			
<b>Volumen</b>	0,024	0,019	0,018	0,017	0,015	0,014	0,013	0,011	0,010	0,010	0,009	0,007	0,006	0,003			0,175
<b>DMP</b>	0,075	0,058	0,056	0,051	0,046	0,046	0,041	0,034	0,032	0,030	0,027	0,022	0,019	0,004			<b>0,538</b>
<b>73</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	D 12	D 13	D 14	
<b>Densidad</b>	0,521	0,492	0,495	0,486	0,488	0,509	0,498	0,497	0,505	0,496	0,487	0,491	0,495	0,489	0,509	0,507	
<b>Diametros</b>	0,211	0,157	0,150	0,147	0,143	0,142	0,137	0,127	0,122	0,113	0,105	0,102	0,093	0,085	0,078	0,070	
<b>Volumen</b>	0,027	0,019	0,017	0,017	0,016	0,015	0,014	0,012	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,002	
<b>DMP</b>	0,072	0,048	0,045	0,042	0,042	0,040	0,036	0,032	0,029	0,024	0,022	0,019	0,016	0,014	0,012	0,003	
<b>74</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	D 12	D 13	D 14	
<b>Densidad</b>	0,525	0,497	0,459	0,453	0,467	0,452	0,490	0,493	0,467	0,480	0,480	0,491	0,500				
<b>Diametros</b>	0,165	0,155	0,148	0,140	0,133	0,128	0,125	0,118	0,110	0,105	0,097	0,093	0,080				
<b>Volumen</b>	0,020	0,018	0,016	0,015	0,013	0,013	0,012	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,003				0,149
<b>DMP</b>	0,069	0,058	0,050	0,045	0,041	0,040	0,038	0,033	0,029	0,026	0,023	0,020	0,004				<b>0,474</b>
<b>75</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	D 12	D 13	D 14	
<b>Densidad</b>	0,550	0,469	0,474	0,459	0,460	0,507	0,491	0,475	0,488	0,503	0,483	0,441					
<b>Diametros</b>	0,145	0,120	0,120	0,115	0,112	0,110	0,101	0,100	0,092	0,088	0,080	0,074					
<b>Volumen</b>	0,014	0,011	0,011	0,010	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006	0,006	0,005	0,002					0,099
<b>DMP</b>	0,072	0,054	0,051	0,047	0,047	0,044	0,039	0,035	0,032	0,028	0,022	0,005					<b>0,477</b>

### Densidad Media Ponderada DMP para 8 años ARBOL

<b>76</b>	D 0	D 1	D a.p.	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	<b>TOTAL</b>
<b>Densidad</b>	0,615	0,543	0,548	0,577	0,539	0,568	0,532	0,574	0,522	0,516	0,548	0,545		
<b>Diametros</b>	0,256	0,210	0,198	0,190	0,182	0,180	0,162	0,150	0,135	0,115	0,095	0,072		
<b>Volumen</b>	0,086	0,065	0,059	0,054	0,051	0,046	0,038	0,032	0,025	0,017	0,011	0,004		0,490
<b>DMP</b>	0,102	0,073	0,068	0,062	0,058	0,052	0,043	0,036	0,026	0,019	0,012	0,002		<b>0,553</b>
<b>77</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	
<b>Densidad</b>	0,567	0,502	0,512	0,501	0,533	0,544	0,506	0,519	0,546	0,475	0,477			
<b>Diametros</b>	0,238	0,195	0,190	0,177	0,175	0,162	0,150	0,132	0,130	0,101	0,083			
<b>Volumen</b>	0,074	0,058	0,053	0,049	0,045	0,038	0,031	0,027	0,021	0,013	0,005			0,415
<b>DMP</b>	0,096	0,071	0,065	0,061	0,058	0,048	0,039	0,035	0,026	0,015	0,003			<b>0,516</b>
<b>78</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	
<b>Densidad</b>	0,578	0,524	0,517	0,527	0,512	0,510	0,514	0,538	0,510	0,487	0,535	0,536		
<b>Diametros</b>	0,260	0,225	0,224	0,200	0,185	0,175	0,160	0,150	0,140	0,120	0,095	0,077		
<b>Volumen</b>	0,093	0,079	0,071	0,058	0,051	0,044	0,038	0,033	0,027	0,018	0,012	0,005		0,528
<b>DMP</b>	0,097	0,078	0,07	0,057	0,049	0,043	0,038	0,033	0,025	0,018	0,012	0,002		<b>0,522</b>
<b>79</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	
<b>Densidad</b>	0,519	0,507	0,505	0,510	0,509	0,533	0,544	0,540	0,543	0,530				
<b>Diametros</b>	0,200	0,175	0,160	0,151	0,134	0,125	0,115	0,105	0,095	0,075				
<b>Volumen</b>	0,055	0,044	0,038	0,032	0,026	0,023	0,019	0,016	0,012	0,004				0,269
<b>DMP</b>	0,106	0,083	0,072	0,061	0,051	0,045	0,038	0,032	0,023	0,004				<b>0,514</b>
<b>80</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	
<b>Densidad</b>	0,623	0,533	0,521	0,544	0,522	0,559	0,541	0,576	0,530	0,547	0,518			
<b>Diametros</b>	0,205	0,173	0,170	0,166	0,154	0,145	0,130	0,120	0,115	0,097	0,082			
<b>Volumen</b>	0,057	0,046	0,044	0,04	0,035	0,03	0,025	0,022	0,018	0,013	0,005			0,334
<b>DMP</b>	0,098	0,073	0,071	0,064	0,057	0,049	0,041	0,036	0,029	0,02	0,004			<b>0,541</b>
<b>81</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	





<b>Volumen</b>	0,065	0,051	0,047	0,043	0,04	0,036	0,031	0,026	0,022	0,018	0,013	0,005		0,396
<b>DMP</b>	0,088	0,068	0,063	0,058	0,055	0,05	0,042	0,036	0,03	0,024	0,017	0,003		0,534
<b>100</b>	D 0	D 1	D dap	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8	D 9	D 10	D 11	
<b>Densidad</b>	0,608	0,586	0,597	0,618	0,601	0,579	0,575	0,573	0,580	0,585	0,552			
<b>Diametros</b>	0,233	0,204	0,184	0,181	0,170	0,164	0,158	0,143	0,121	0,108	0,087			
<b>Volumen</b>	0,075	0,059	0,052	0,048	0,044	0,041	0,036	0,028	0,021	0,015	0,006			0,425
<b>DMP</b>	0,106	0,083	0,075	0,069	0,061	0,055	0,048	0,037	0,028	0,02	0,004			0,587

**Anexo 3: Correlación entre alturas de muestreo de puntos específicos con las densidades medias ponderadas por árbol de las poblaciones de muestreo.**

***Eucalyptus dunnii* 4 años**

Correlación entre altura de muestreo a 1.30 con las densidades medias por árbol

X	Y	Y est	(Y-Yest) <sup>2</sup>	Xi - Xprom	(Xi-Xp)*Y	(Xi-Xp) <sup>2</sup>	Limite Superior	Limite Inferior
0,521	0,524	0,529	0,000	0,013	0,007	0,000	0,535	0,523
0,503	0,492	0,516	0,001	-0,006	-0,003	0,000	0,522	0,511
0,552	0,554	0,549	0,000	0,043	0,024	0,002	0,555	0,543
0,438	0,495	0,473	0,000	-0,071	-0,035	0,005	0,479	0,467
0,490	0,521	0,508	0,000	-0,019	-0,010	0,000	0,514	0,502
0,517	0,508	0,526	0,000	0,009	0,004	0,000	0,532	0,520
0,477	0,482	0,499	0,000	-0,032	-0,015	0,001	0,505	0,493
0,497	0,513	0,513	0,000	-0,012	-0,006	0,000	0,519	0,507
0,482	0,516	0,502	0,000	-0,027	-0,014	0,001	0,508	0,496
0,553	0,538	0,550	0,000	0,044	0,024	0,002	0,556	0,544
0,470	0,511	0,494	0,000	-0,039	-0,020	0,001	0,501	0,488
0,570	0,576	0,562	0,000	0,062	0,036	0,004	0,568	0,556
0,444	0,488	0,477	0,000	-0,065	-0,032	0,004	0,483	0,471
0,553	0,539	0,550	0,000	0,044	0,024	0,002	0,556	0,544
0,456	0,472	0,485	0,000	-0,053	-0,025	0,003	0,491	0,479
0,543	0,532	0,543	0,000	0,034	0,018	0,001	0,549	0,537
0,569	0,566	0,561	0,000	0,061	0,034	0,004	0,567	0,555
0,545	0,570	0,545	0,001	0,037	0,021	0,001	0,551	0,539
0,547	0,548	0,546	0,000	0,038	0,021	0,001	0,552	0,540
0,498	0,510	0,513	0,000	-0,011	-0,006	0,000	0,519	0,507



<b>0,588</b>	<b>0,568</b>	0,577	0,000	0,051	0,029	0,003	0,586	0,568
<b>0,531</b>	<b>0,538</b>	0,537	0,000	-0,007	-0,004	0,000	0,546	0,529
<b>0,597</b>	<b>0,587</b>	0,583	0,000	0,059	0,035	0,003	0,592	0,573
<b>0,538</b>	<b>0,542</b>		<b>0,011</b>		<b>0,018</b>	<b>0,026</b>		
		<b>S<sub>2y.x</sub>=</b>	0,000		<b>b =</b>	<b>0,6848</b>		
		<b>S<sub>y.x</sub></b>	<b>0,022</b>					

Ecuación  $y = 0.1739 + 0.6848x$

$R^2 = 0,5353$

### Eucalyptus dunnii 8 años

Correlación entre altura de muestreo a 2 con las densidades medias por árbol

X	Y	Y est	(Y-Yest) <sup>2</sup>	Xi - Xprom	(Xi-Xp)*Y	(Xi-Xp) <sup>2</sup>	Limite Superior	Limite Inferior
<b>0,543</b>	<b>0,552</b>	0,549	0,000	0,010	0,005	0,000	0,558	0,540
<b>0,502</b>	<b>0,517</b>	0,519	0,000	-0,032	-0,016	0,001	0,530	0,512
<b>0,524</b>	<b>0,524</b>	0,535	0,000	-0,010	-0,005	0,000	0,545	0,527
<b>0,507</b>	<b>0,524</b>	0,523	0,000	-0,026	-0,014	0,001	0,533	0,515
<b>0,533</b>	<b>0,547</b>	0,542	0,000	0,000	0,000	0,000	0,551	0,533
<b>0,586</b>	<b>0,604</b>	0,580	0,001	0,053	0,032	0,003	0,588	0,569
<b>0,581</b>	<b>0,551</b>	0,576	0,001	0,047	0,026	0,002	0,584	0,565
<b>0,450</b>	<b>0,475</b>	0,482	0,000	-0,083	-0,040	0,007	0,495	0,475
<b>0,500</b>	<b>0,519</b>	0,518	0,000	-0,033	-0,017	0,001	0,528	0,510
<b>0,514</b>	<b>0,517</b>	0,528	0,000	-0,019	-0,010	0,000	0,538	0,520
<b>0,516</b>	<b>0,524</b>	0,530	0,000	-0,017	-0,009	0,000	0,539	0,521
<b>0,516</b>	<b>0,539</b>	0,529	0,000	-0,018	-0,010	0,000	0,539	0,521
<b>0,525</b>	<b>0,556</b>	0,536	0,000	-0,009	-0,005	0,000	0,545	0,527
<b>0,512</b>	<b>0,541</b>	0,526	0,000	-0,022	-0,012	0,000	0,536	0,518
<b>0,605</b>	<b>0,571</b>	0,594	0,001	0,071	0,041	0,005	0,601	0,581
<b>0,582</b>	<b>0,563</b>	0,578	0,000	0,049	0,027	0,002	0,585	0,566
<b>0,486</b>	<b>0,500</b>	0,507	0,000	-0,048	-0,024	0,002	0,519	0,500
<b>0,547</b>	<b>0,560</b>	0,552	0,000	0,013	0,008	0,000	0,560	0,542
<b>0,576</b>	<b>0,591</b>	0,573	0,000	0,042	0,025	0,002	0,581	0,562
<b>0,568</b>	<b>0,570</b>	0,568	0,000	0,035	0,020	0,001	0,575	0,557
<b>0,476</b>	<b>0,500</b>	0,500	0,000	-0,058	-0,029	0,003	0,512	0,493
<b>0,515</b>	<b>0,517</b>	0,529	0,000	-0,019	-0,010	0,000	0,538	0,520
<b>0,567</b>	<b>0,568</b>	0,566	0,000	0,033	0,019	0,001	0,574	0,556
<b>0,523</b>	<b>0,538</b>	0,535	0,000	-0,011	-0,006	0,000	0,544	0,526
<b>0,586</b>	<b>0,587</b>	0,580	0,000	0,052	0,031	0,003	0,587	0,569
<b>0,534</b>	<b>0,542</b>		<b>0,004</b>		<b>0,027</b>	<b>0,037</b>		
		<b>S<sub>2y.x</sub>=</b>	0,000		<b>b =</b>	<b>0,7258</b>		
		<b>S<sub>y.x</sub></b>	<b>0,013</b>					

Ecuación  $y = 0.1549 + 0.7258x$

$R^2 = 0,8414$

**Anexo 4: Parámetros, correlación de densidad y penetración del pilodyn de las poblaciones de muestreo.**

**Cuadro: Eucalyptus dunnii de 4 años**

**Parámetros de Densidad por árbol (expresados en grs.)**

N Árbol	Pilodyn				D (AP)	Datos ordenados	
	X	Y	Z	W		X Pilodyn	D (AP)
51	13	12	14	13	0,521	10,00	0,529
52	12	12	11	12	0,503	10,32	0,552
53	10	11	10	10	0,552	10,66	0,547
54	12	12	11	12	0,438	11,00	0,570
55	13	12	12	12	0,490	11,32	0,553
56	13	13	13	13	0,517	11,32	0,553
57	13	14	15	14	0,477	11,32	0,543
58	13	13	13	13	0,497	11,32	0,545
59	12	12	12	12	0,482	11,32	0,537
60	11	11	12	11	0,553	11,66	0,503
61	14	15	15	15	0,470	11,66	0,438
62	11	11	11	11	0,570	11,97	0,569
63	15	15	13	14	0,444	12,00	0,482
64	11	11	12	11	0,553	12,32	0,490
65	14	14	13	14	0,456	12,63	0,498
66	11	12	11	11	0,543	12,97	0,521
67	13	12	11	12	0,569	13,00	0,517
68	12	11	11	11	0,545	13,00	0,497
69	10	11	11	11	0,547	13,00	0,474
70	14	12	12	13	0,498	13,66	0,456
71	10	10	10	10	0,529	13,66	0,495
72	11	12	11	11	0,537	13,98	0,477
73	14	13	14	14	0,495	14,30	0,444
74	15	14	14	14	0,459	14,33	0,459
75	13	13	13	13	0,474	14,66	0,470
Coef. Corr r	-0,718						
Coef. Regr R <sup>2</sup>	0,516						
Ecuación	Y = - 0.0218x + 0.7768						

**Cálculos de Intervalo de confianza para la recta de regresión (4 años)**

X	Y	Y est	(Y-Yest) <sup>2</sup>	Xi - Xprom	(Xi-Xp)*Y	(Xi-Xp) <sup>2</sup>	Limite Superior	Limite Inferior
13	0,521	0,494	0,001	0,679	0,354	0,460	0,507	0,481
12	0,503	0,523	0,000	-0,639	-0,321	0,408	0,536	0,510
10	0,552	0,552	0,000	-1,973	-1,089	3,893	0,573	0,530
12	0,438	0,523	0,007	-0,639	-0,280	0,408	0,536	0,510
12	0,490	0,508	0,000	0,029	0,014	0,001	0,520	0,496
13	0,517	0,493	0,001	0,704	0,364	0,496	0,507	0,480
14	0,477	0,472	0,000	1,680	0,801	2,824	0,491	0,453
13	0,497	0,493	0,000	0,704	0,350	0,496	0,507	0,480
12	0,482	0,515	0,001	-0,296	-0,142	0,087	0,527	0,503
11	0,553	0,530	0,001	-0,972	-0,537	0,945	0,545	0,515

15	0,470	0,457	0,000	2,363	1,111	5,585	0,482	0,433
11	0,570	0,537	0,001	-1,296	-0,739	1,679	0,554	0,520
14	0,444	0,465	0,000	2,006	0,891	4,022	0,487	0,443
11	0,553	0,530	0,001	-0,972	-0,537	0,945	0,545	0,515
14	0,456	0,479	0,001	1,363	0,621	1,857	0,496	0,462
11	0,543	0,530	0,000	-0,972	-0,528	0,945	0,545	0,515
12	0,569	0,516	0,003	-0,324	-0,184	0,105	0,528	0,504
11	0,545	0,530	0,000	-0,972	-0,530	0,945	0,545	0,515
11	0,547	0,544	0,000	-1,640	-0,896	2,689	0,563	0,526
13	0,498	0,501	0,000	0,337	0,168	0,114	0,513	0,489
10	0,529	0,559	0,001	-2,296	-1,215	5,270	0,583	0,535
11	0,537	0,530	0,000	-0,972	-0,522	0,945	0,545	0,515
14	0,495	0,479	0,000	1,363	0,674	1,857	0,496	0,462
14	0,459	0,464	0,000	2,030	0,932	4,121	0,486	0,443
13	0,474	0,493	0,000	0,704	0,334	0,496	0,507	0,480
<b>12,2958</b>	<b>0,50872</b>		<b>0,019</b>		<b>-0,907</b>	<b>41,591</b>		
		<b>S<sub>2y.x</sub>=</b>	<b>0,001</b>		<b>b =</b>	<b>-0,0218</b>		
		<b>S<sub>y.x</sub></b>	<b>0,028</b>					

$$IC = Y_p + b(X - X_p) \pm t_{0.025} S_{yx} * Raiz(1/n) + ((X - X)^2 / \text{Sum}(X - X_m)^2)$$

**Cuadro: Eucalyptus dunnii de 8 años**

**Parámetros Dasométricos por árbol (expresados en m)**

N Árbol	Medidas de						Datos ordenados	
	Pilodyn			X Pilodyn	D (A.P)	X Pilodyn	D (A.P)	
76	12	12	12	12	0,548	9,65	0,597	
77	12	11	10	11	0,512	10,32	0,575	
78	12	13	12	12	0,517	10,32	0,563	
79	13	14	12	13	0,505	10,97	0,512	
80	12	12	12	12	0,521	10,97	0,551	
81	10	10	11	10	0,575	10,97	0,602	
82	10	11	12	11	0,551	10,97	0,531	
83	13	13	12	13	0,546	11,00	0,535	
84	13	11	12	12	0,500	11,32	0,494	
85	12	11	11	11	0,494	11,32	0,588	
86	12	12	13	12	0,528	11,66	0,532	
87	12	14	12	13	0,521	11,66	0,567	
88	12	12	11	12	0,532	11,66	0,688	
89	11	11	11	11	0,535	11,97	0,500	
90	10	11	12	11	0,602	11,97	0,560	
91	12	13	11	12	0,560	12,00	0,548	
92	13	14	13	13	0,501	12,00	0,521	
93	12	12	13	12	0,536	12,32	0,517	
94	10	10	11	10	0,563	12,32	0,528	
95	11	12	12	12	0,567	12,32	0,536	
96	12	14	15	14	0,468	12,63	0,521	
97	12	11	12	12	0,688	12,66	0,546	
98	11	11	12	11	0,588	12,97	0,505	
99	10	11	12	11	0,531	13,33	0,501	

100	10	10	9	10	0,597	13,61	0,468
Media						11,72	0,543
Desvío						0,96	0,045
Coef. Corr r	-0,503						
Coef. Reg. R <sup>2</sup>	0,2534						
Ecuación	y = 0.8183 - 0.0235 x						

**Cálculos de Intervalo de confianza para la recta de regresión ( 8 años)**

X	Y	Y est	(Y-Yest) <sup>2</sup>	Xi - Xprom	(Xi-Xp)*Y	(Xi-Xp) <sup>2</sup>	Limite Superior	Limite Inferior
12	0,548	0,537	0,000	0,283	0,155	0,080	0,554	0,520
11	0,512	0,561	0,002	-0,747	-0,382	0,558	0,582	0,540
12	0,517	0,529	0,000	0,608	0,314	0,370	0,548	0,510
13	0,505	0,514	0,000	1,258	0,635	1,582	0,541	0,487
12	0,521	0,537	0,000	0,283	0,148	0,080	0,554	0,520
10	0,575	0,576	0,000	-1,394	-0,801	1,942	0,605	0,547
11	0,551	0,561	0,000	-0,747	-0,411	0,558	0,582	0,540
13	0,546	0,521	0,001	0,941	0,514	0,886	0,544	0,498
12	0,500	0,537	0,001	0,256	0,128	0,065	0,554	0,521
11	0,494	0,553	0,003	-0,393	-0,194	0,154	0,570	0,535
12	0,528	0,529	0,000	0,608	0,321	0,370	0,548	0,510
13	0,521	0,522	0,000	0,916	0,477	0,839	0,545	0,499
12	0,532	0,545	0,000	-0,060	-0,032	0,004	0,561	0,529
11	0,535	0,560	0,001	-0,717	-0,383	0,513	0,581	0,540
11	0,602	0,561	0,002	-0,747	-0,450	0,558	0,582	0,540
12	0,560	0,537	0,001	0,256	0,143	0,065	0,554	0,521
13	0,501	0,506	0,000	1,609	0,805	2,588	0,538	0,473
12	0,536	0,529	0,000	0,608	0,326	0,370	0,548	0,510
10	0,563	0,576	0,000	-1,394	-0,784	1,942	0,605	0,547
12	0,567	0,545	0,000	-0,060	-0,034	0,004	0,561	0,529
14	0,468	0,499	0,001	1,892	0,886	3,578	0,536	0,462
12	0,688	0,545	0,020	-0,060	-0,041	0,004	0,561	0,529
11	0,588	0,553	0,001	-0,393	-0,231	0,154	0,570	0,535
11	0,531	0,561	0,001	-0,747	-0,397	0,558	0,582	0,540
10	0,597	0,592	0,000	-2,062	-1,230	4,250	0,631	0,553
<b>11,7165</b>	<b>0,54340</b>		<b>0,036</b>		<b>-0,518</b>	<b>22,073</b>		
		<b>S<sub>2y.x</sub>=</b>	0,002		<b>b =</b>	<b>-0,0235</b>		
		<b>S<sub>y.x</sub></b>	<b>0,039</b>					