

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN AXIAL DE LA DENSIDAD DE LA
MADERA DE *Eucalyptus grandis* HILL (EX MAIDEN) Y *Eucalyptus*
dunnii MAIDEN

por

Alejandro GONZALEZ
Andrés LAGO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2006

Tesis aprobada por:

Director: -----
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha: -----

Autor: -----
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su profundo agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron a la realización de este trabajo. En general al Departamento Forestal de la Facultad de Agronomía; al Laboratorio tecnológico del Uruguay y a la empresa Forestal Oriental S.A.

Especialmente queremos agradecer a nuestras familias por el apoyo brindado y a las siguientes personas, cuya colaboración considero ha sido realmente invaluable, y fueron claves en el desarrollo de este trabajo final: Ing. Agr. MSc. José García de León; Ing. Agr. Carmelo Centurión; Sr. Alejandro Vidal; Tec. For. Robert Silvestre.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	5
2.1. CARACTERIZACION DE LA ZONA BAJO ESTUDIO.....	5
2.1.1. <u>Caracterización geográfica y climática</u>	5
2.1.2. <u>Caracterización geológica y edafológica</u>	5
2.2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS ESPECIES BAJO ESTUDIO.....	7
2.2.1. <u>Eucalyptus grandis</u>	7
2.2.2. <u>Eucalyptus dunnii</u>	8
2.3. PESO ESPECIFICO APARENTE BASICO.....	10
2.3.1. <u>Características generales del peso específico</u>	10
2.3.2. <u>Influencia genética sobre el peso específico aparente básico</u>	13
2.3.3. <u>Selección por peso específico</u>	14
2.3.4. <u>Variaciones de la densidad básica</u>	15
2.3.4.1. Variación interespecífica de la densidad básica....	16
2.3.4.2. Variación de la densidad básica dentro de especies y procedencias.....	17
2.3.4.3. Variaciones de la densidad básica según tasa de crecimiento.....	18
2.3.4.4. Variaciones de la densidad básica según edad de los árboles.....	20
2.3.4.5. Variaciones de la densidad básica según sitio de crecimiento.....	23
2.3.4.6. Variaciones de la densidad básica según fertilización y espaciamiento.....	24
2.3.4.7. Variaciones de la densidad básica según humedad de la madera.....	25
2.3.4.8. Variaciones de la densidad básica en dirección longitudinal y radial.....	26
2.3.5. <u>Métodos de determinación del peso específico aparente básico</u>	31
2.3.5.1. Métodos directos de determinación del peso	

4.1.3. <u>Variación axial de la densidad básica en función de la edad</u>	68
4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS EN <i>E. grandis</i>	70
4.2.1. <u>Procesamiento de datos en <i>E. grandis</i> 10 años</u>	71
4.2.1.1. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica.....	72
4.2.1.2. Calculo del punto de muestreo representativo de todo el árbol.....	73
4.2.1.3. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional.....	74
4.2.2. <u>Procesamiento de datos en <i>E. grandis</i> 12 años</u>	77
4.2.2.1. Análisis de varianza para la variación axial de la densidad básica.....	78
4.2.2.2. Calculo del punto de muestreo representativo de todo el árbol.....	79
4.2.2.3. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional.....	80
4.2.2.4. Variación axial del peso específico aparente básico en función de la edad.....	82
4.3. CORRELACION ENTRE DENSIDAD BASICA MEDIA PONDERADA Y DENSIDAD VERDE MEDIA PONDERADA.....	86
4.3.1. <u>Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada, a nivel muestral</u>	86
4.3.2. <u>Intervalo de confianza para la correlación a nivel poblacional</u>	87
5. <u>DISCUSION</u>	90
5.1. VARIACION AXIAL DE LA DENSIDAD BASICA.....	90
5.2. VARIACION DE LA DENSIDAD BASICA EN FUNCION DE LA EDAD.....	91
5.3. APROXIMACION AL PUNTO OPTIMO DE MUESTREO.....	91
5.4. CORRELACION DENSIDAD BASICA MEDIA PONDERADA-DENSIDAD VERDE MEDIA PONDERADA.....	92
6. <u>CONCLUSIONES</u>	93
7. <u>RESUMEN</u>	95
8. <u>SUMMARY</u>	96
9. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	97
10. <u>ANEXOS</u>	104

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características papeleras de <i>E. grandis</i> y <i>E. dunnii</i>	39
2. Características generales del material experimental.....	43
3. Resumen de densidad básica en <i>E. dunnii</i> a los 10 años.....	53
4. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica en <i>E. dunnii</i> 10 años.....	54
5. Correlación entre el promedio ponderado de la densidad básica y la densidad básica correspondiente a las diferentes alturas en <i>E. dunnii</i> 10 años.....	55
6. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional en <i>E. dunnii</i> 10 años.....	56
7. Resumen de densidad básica en <i>E. dunnii</i> a los 12 años.....	59
8. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	61
9. Análisis de varianza para el modelo cuadrático - lineal en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	63
10. Parámetros estimados para el polinomio segmentado en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	63
11. Correlación entre las densidades básicas a diferentes alturas y la densidad básica media ponderada en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	64
12. Parámetros del modelo cuadrático – lineal en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	64
13. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	65
14. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional.....	65
15. Tamaño mínimo (n) de árboles requeridos, para representar la variación de la característica densidad básica, en la población en <i>E. dunnii</i>	70
16. Resumen de la densidad básica en <i>E. grandis</i> 10 años.....	71
17. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica en <i>E. grandis</i> 10 años.....	72
18. Correlación entre las diferentes alturas y el promedio ponderado de la densidad básica en <i>E. grandis</i> 10 años.....	73
19. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional en <i>E. grandis</i> 10 años.....	74
20. Resumen de la densidad básica en <i>E. grandis</i> 12 años.....	77
21. Análisis de varianza para la variación axial de la densidad básica en <i>E. grandis</i> 12 años.....	78
22. Correlación entre las diferentes alturas y el promedio ponderado de	

la densidad básica en <i>E. grandis</i> 12 años.....	79
23. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional en <i>E. grandis</i> 12 años.....	80
24. Resumen densidad básica media ponderada para las especies y edades bajo estudio.....	85
25. Tamaño mínimo (n) de árboles requeridos, para representar la variación de la característica densidad básica, en la población en <i>E. grandis</i>	85
26. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada, a nivel muestral.....	86
27. Resumen densidad verde media ponderada para las especies y edades bajo estudio.....	89

Figura No.

1. Mapa de distribución natural de <i>E. grandis</i> y <i>E. dunnii</i>	10
2. Mapa de ubicación de los predios donde se realizaron los muestreos.....	42
3. Trabajo de campo.....	45
4. Determinación de volumen.....	46
5. Secado de muestras al aire libre.....	47
6. Balanza utilizada para pesar muestras.....	48
7. Horno de secado.....	48

Gráfico No.

1. Variación axial de la densidad básica en <i>E. dunnii</i> en función de la edad.....	52
2. Valores mínimos, promedios y máximos de PEAB en <i>E. dunnii</i> 10 años.....	53
3. Correlación entre densidad básica a 1.3 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en <i>E. dunnii</i> 10 años.....	57
4. Correlación entre densidad básica a 2 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en <i>E. dunnii</i> 10 años.....	58
5. Valores mínimos, promedios y máximos de PEAB en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	60
6. Modelo de regresión para la variación axial en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	62
7. Correlación entre densidad básica a 1.3 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en <i>E. dunnii</i> 10 años.....	66
8. Correlación entre densidad básica a 2 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	67

9. Promedio y rango de variación del peso específico aparente básico del árbol promedio, en <i>E. dunnii</i> entre los 10 y 12 años de edad.....	68
10. Evolución del peso específico aparente básico en <i>E. dunnii</i> en función de la altura a diferentes edades.....	69
11. Variación axial de la densidad básica en <i>E. grandis</i> en función de la edad.....	70
12. Valores mínimos, promedios, máximos de PEAB en función de la altura en <i>E. grandis</i> 10 años.....	72
13. Correlación entre densidad básica a 1.3 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en <i>E. grandis</i> 10 años.....	75
14. Correlación entre densidad básica a 2 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en <i>E. grandis</i> 10 años.....	76
15. Valores mínimos, promedios y máximos de PEAB en función de la altura en <i>E. grandis</i> 12 años.....	78
16. Correlación entre densidad básica a 1.3 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en <i>E. grandis</i> 12 años.....	81
17. Correlación entre densidad básica a 2 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en <i>E. grandis</i> 12 años.....	82
18. Promedio y rango de variación del peso específico aparente básico del árbol promedio, en <i>E. grandis</i> entre los 10 y 12 años de edad.....	83
19. Evolución del peso específico aparente básico en <i>E. grandis</i> en función de la altura a diferentes edades.....	84
20. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada en <i>E. dunnii</i> 10 años.....	87
21. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada en <i>E. dunnii</i> 12 años.....	88
22. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada en <i>E. grandis</i> 10 años.....	88
23. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada en <i>E. grandis</i> 12 años.....	89

1. INTRODUCCION

El género *Eucalyptus* con mas de 600 especies, subespecies y variedades adaptables a diversos climas, menos a los templados-fríos y boreales, representa sin duda uno de los mayores dones que la naturaleza ha puesto a disposición del hombre. Sin embargo, muy pocas de éstas especies son utilizadas con propósitos industriales.

Algunos atributos que tienen en su favor consisten en la capacidad que tiene de producir en un ciclo corto grandes volúmenes de madera; recuperarse, mediante sus mecanismos defensivos, de la acción negativa del fuego, de la sequía y del ramoneo; poder colonizar tierras desnudas con clima semiárido o árido; utilizar suelos pobres, deteriorados por la erosión o por cultivos agrícolas conducidos en forma irracional; transformar formaciones vegetales de escaso valor económico en plantaciones rentables.

Estas características positivas, son la razón principal de su éxito, lo que ha permitido en menos de 30 años septuplicar la superficie de su cultivo (Oliver, 1985).

Siendo originarios de Australia, y de algunas islas situadas al norte y al sur de aquel continente, los eucaliptos son considerados en los demás países como especies exóticas.

En nuestro país se introducen los primeros ejemplares a mediados del siglo XIX, aunque no ha sido posible determinar a que especies pertenecían las primeras semillas importadas. En la segunda mitad de este siglo se produce un cambio tecnológico en la producción ganadera uruguaya, la introducción del alambrado, y dentro del paquete tecnológico adoptado se encuentran los

bosques de abrigo y sombra para el ganado. Ya sea por mayor abundancia de semillas, o por su rusticidad y desarrollo, la especie que tuvo mayor predominio fue el *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. En el primer cuarto del siglo XX, comienzan a plantarse con gran intensidad los llamados Eucaliptos colorados, con las especies *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus camaldulensis*, los cuales son actualmente abundantes y plantados para abrigo, leña, aserrado, recreación, etc. (Helguera y Lombardo, citados por Finocchietti, 2005).

El complejo forestal del Uruguay comenzó su expansión a partir de los años 70, impulsado, básicamente, por la demanda de madera para consumo energético (leña), tanto a nivel domiciliario como industrial, y la industria papelera.

A partir de los últimos años de la década de los 80, comienza a desarrollarse la actividad forestal en forma creciente en nuestro país. La promulgación de la Ley No. 15.939 (Ley Forestal) el 28 de diciembre de 1987, impulsa el desarrollo del complejo forestal del país mediante la implementación de beneficios tributarios y financiación con el propósito de forestar extensas áreas de terrenos calificados de prioridad forestal. Este programa permitió alcanzar un incremento significativo de la masa forestal del país, registrándose en el año 2004 una superficie forestal de 714.081 ha con un 76 % de las plantaciones correspondientes a latifoliadas y un 24% a coníferas (URUGUAY. MGAP. DF, 2004).

El sector forestal ha incrementado su participación en el sector de exportaciones no tradicionales, aún en los períodos de recesión, que afectaron el comercio exterior del país. El rubro papel y cartón es el principal componente de las exportaciones de este sector, considerando el valor, y el rubro madera en bruto es el principal componente en volumen. El principal destino de la madera

exportada es España, seguido en importancia por Noruega y Finlandia (Tamosiunas, 2004). Es por esto que la actividad forestal tiene proyecciones de real importancia para los próximos años representando un valor económico y social verdaderamente significativo para el país.

Este trabajo de tesis tiene como propósito, aportar nuevos conocimientos sobre las especies *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) y *Eucalyptus dunnii* Maiden, en torno a una de las propiedades físicas más importantes de la madera, como lo es el peso específico aparente básico (también conocida a nivel internacional como densidad básica). Esta propiedad es una de las principales características a ser consideradas en el estudio de maderas, ya que se encuentra relacionada con muchos aspectos tecnológicos y económicos. Además se determinó la densidad en verde, así como también su correlación con la densidad básica en cada uno de los estratos bajo análisis.

En este estudio se analiza la variación de estas propiedades dentro del árbol a diferentes alturas y en dos edades diferentes, 10 y 12 años. Estos datos, en lo posible, se ajustarán a modelos matemáticos que representen la variación axial.

El objetivo es determinar la variación de esta propiedad en altura, y obtener, en base al muestreo realizado, un valor de densidad promedio para las especies.

Además se analiza el comportamiento de esta característica en relación a la edad, utilizando datos de estudios precedentes para ambas especies, en similares condiciones de crecimiento, a las edades de cuatro y ocho años.

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

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERIZACION DE LA ZONA BAJO ESTUDIO

2.1.1. Caracterización geográfica y climática

Uruguay esta situado entre los 30° - 35° S de latitud, con un relieve moderado de 500 m de altitud máxima sobre el nivel del mar. El clima es templado con precipitaciones relativamente homogéneas. La zona se caracteriza por tener una temperatura media anual cercana a los 18°C, temperatura promedio en la estación mas fría en el entorno de los 12°C, y 26°C en la estación más cálida. Los días con heladas son entre 25–30, y los valores de precipitaciones medias anuales en el rango de 1000 a 1300 mm (Finocchietti, 2005).

2.1.2. Caracterización geológica y edafológica

Según Bossi y Navarro (1988), el material geológico correspondiente a los sitios de muestreo se corresponde con la Formación Asencio, la cual se desarrolla ampliamente en los departamentos de Soriano, Río Negro, Paysandú, Durazno, Flores, Florida y Canelones. Está compuesta principalmente por areniscas de color rosa pálido a blanco, de grano fino, generalmente redondeado, con cemento arcilloso illítico o calcáreo. Estas areniscas constituyen las rocas resultantes de la sedimentación y litificación originales, de los que resultan rocas con poca resistencia mecánica a consecuencia de lo cual se desagregan y erosionan con suma facilidad.

Los granos son redondeados y subredondeados, el feldespatos está generalmente alterado y aumenta su proporción en las fracciones mas finas.

Existe un proceso de ferrificación generalizado y casi específico de esta formación.

Los rodales de los cuales se extrajeron las muestras, se ubican geográficamente dentro de la unidad de suelos correspondiente a Algorta según la carta de reconocimiento de suelos a escala 1:1.000.000 (URUGUAY. MAP, 1976). Los suelos pertenecen a la zona 9 de CIDE, Grupo Coneat 9.3 y 9.1.

En los suelos correspondientes al grupo Coneat 9.1 el material geológico está formado por areniscas litificadas. Corresponden a paisajes de forma mesetiformes, con escarpas débilmente marcadas y otras muy marcadas, tomando en el primer caso la forma general de un paisaje ondulado y en el segundo el de verdaderas mesetas, siendo las formas intermedias las de mayor frecuencia. Las pendientes son heterogéneas. Cuando en las partes altas de este grupo se encuentran grupos 10 u 11 existen Brunosoles Eutricos y Subeutricos, Típicos o Lúvicos moderadamente profundos, de color pardo oscuro a negro, textura franco arcillo limosa, fertilidad alta a media, moderadamente bien drenados. Asociados, existen Litosoles Eutricos y Subeutricos Melánicos. Cuando en posición suprayacente se asocian grupos 9 (mayormente el 9.3) el suelo es un Argisol Subeutrico o Distrito Ocrico, moderadamente profundo, pardo grisáceo oscuro, textura franco arenosa a franco arcillo arenosa, fertilidad media a algo baja, imperfectamente drenado (hidromórfico).

En los suelos integrantes del grupo Coneat 9.3 el material geológico corresponde a areniscas con cemento arcilloso, frecuentemente de tonos rosados, a veces rojizos o blancos grisáceos. El relieve en general es suavemente ondulado. Los suelos predominantes corresponden a Planosoles Districos Ocricos. El color de los horizontes superiores es pardo grisáceo

oscuro, la textura es arenoso franca y son de fertilidad baja e imperfectamente drenados. En las laderas de mayor convexidad y pendiente, estos suelos predominantes presentan mayor espesor de horizonte A, color pardo grisáceo, textura arenosa y fertilidad muy baja. Como asociados existen Brunosoles Subeutricos. Son de color pardo muy oscuro, textura franco arenosa, fertilidad media y drenaje moderadamente bueno a imperfecto.

2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ESPECIES BAJO ESTUDIO

2.2.1. Eucalyptus grandis

Su cultivo en el Uruguay se difundió en la década de 1960 luego de que se introdujera en 1963 procedente de huertos semilleros sudafricanos, no obstante ello, ya existían algunas plantaciones escasas con esta especie en los departamentos de San José y Rivera (Tuset, Krall, citados por Brussa, 1994).

Esta especie se localiza naturalmente en el este del continente australiano, en áreas disyuntas, en la región norte del estado de Nueva Gales del Sur y al sureste de Queensland, con diferentes registros altitudinales (0-600 m entre 25° y 33° S, 500 m a los 21° y alrededor de 1100 m entre 16° y 19° S). Se desarrolla en clima templado al sur y tropical en el norte, con un promedio de temperaturas máximas de 24-30°C y mínimas de 3-8°C en la zona sur; máximas de 29-32°C y mínimas de 10-17°C para la zona norte. Las heladas son escasas en localizaciones alejadas de la costa; precipitaciones estivales con una media anual de 1000 a 3500 mm. (Kelly et al., citados por Brussa, 1994).

Se caracteriza por su hábito de desramarse en forma espontánea, dando origen a fustes lisos con aspecto columnar, presentando corteza caduca en largas fajas y porción basal escamosa persistente hasta 1-3 m.

Cuando las condiciones de clima y suelo son adecuadas, *E. Grandis* tiene un índice de crecimiento elevado. Actualmente se trata de uno de los cultivos más empleados en forestaciones comerciales por su conformación y velocidad de crecimiento.

Los suelos mas apropiados para su desarrollo son aquellos con buena capacidad de retención de agua, fértiles, profundos, de texturas limosas y bien drenados. Un problema que presenta esta especie es la sensibilidad a las bajas temperaturas (Oliver, 1985).

Las experiencias de crecimiento en nuestro país indican en zonas de prioridad forestal incrementos de 25-30 m³/ha/año, lo que equivale aproximadamente a unos 2,5 a 3 metros de altura y 3-4 cm de DAP por año. La madera es empleada en la producción de pulpas y papel, aserrado, postes, piques, columnas, envases de madera y combustible. Su madera es de color castaño rojizo claro, donde no se observa demarcación de anillos de crecimiento (Soria, 1979).

2.2.2. Eucalyptus dunnii

Las plantaciones comerciales en Uruguay son muy recientes, apareciendo como una especie promisoría. Es considerada mas resistente al frío que *E. grandis* y con desarrollo superior si se encuentra en buenas condiciones de crecimiento. Por este motivo representa una alternativa en

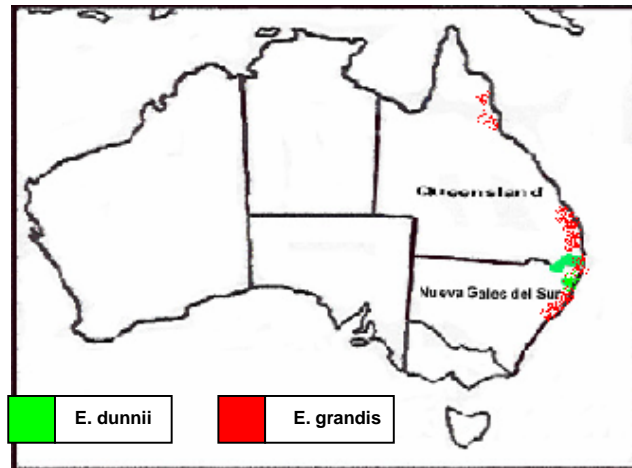
regiones donde se producen temperaturas mínimas de hasta -7°C . (Oliver, 1985)

Naturalmente crece en una pequeña área en la región central-este (28° - 30° S), en el límite entre Queensland y Nueva Gales del Sur, principalmente en zonas continentales, desde 300 a 750 m sobre el nivel del mar. El área presenta clima templado, con un promedio de temperaturas máximas de 27 - 30°C y mínimas de 0 - 3°C , con hasta sesenta heladas por año y precipitaciones estivales del orden de 1000 a 1750 mm anuales (Boland et al., citados por Brussa, 1994)

Crece en suelos de alta fertilidad, buena capacidad de retención de agua y aereación, siendo sensible al mal drenaje (Kelly et al., citados por Brussa, 1994).

Se trata de una especie muy apropiada para producción de pulpa, presentando buena conformación en cuanto a rectitud de fuste en caso de desarrollarse en condiciones óptimas. Actualmente representa una muy buena alternativa para utilizarlo como forestal debido a su excelente combinación entre buen crecimiento, adaptabilidad y buenas propiedades papeleras (Marcó y López, 1995).

Figura No. 1. Mapa de distribución natural de *E. grandis* y *E. dunnii*



Fuente: elaboración propia en base a Schiavo (2005)

2.3. PESO ESPECIFICO APARENTE BASICO

2.3.1. Características generales del peso específico

El peso específico es la relación que existe entre el peso de la madera sólida (sin poros) y el volumen que ocupa, siendo una característica de fácil determinación (Tuset y Duran, 1979).

Zobel y Talbert (1988), citan que el peso específico no es una propiedad simple de la madera, sino una combinación de características, cada una de las cuales posee un fuerte patrón hereditario propio. Combinadas determinan lo que se conoce como peso específico y el cual a pesar de su complejidad casi siempre es tomado como una sola propiedad.

Entre estas características se encuentra la cantidad de madera de verano, la cual posee paredes celulares más gruesas que la de primavera, y por lo tanto mayor peso específico, concluyendo que a mayor porcentaje de leño tardío mayor será el valor de dicha característica.

Otra de las características que influye sobre esta propiedad es el tamaño de las células, ya que con células más pequeñas el peso específico será mayor.

Finalmente, el espesor de la pared celular influye sobre el peso específico, ya que este es superior cuando las paredes celulares poseen mayor grosor.

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

Coronel (1994) afirma que 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.

Entre las diversas formas de expresión del peso específico aparente, se distinguen principalmente:

- 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).

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

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

Los programas de genética forestal orientados al mejoramiento de la producción de pulpa incluyen la selección de varias propiedades de la madera. La densidad básica es de las propiedades mas importantes ya que está altamente correlacionada con algunas propiedades pulpables (Arbuthnot, citado por Rojas et al., 1993).

La mayoría de las características cualitativas de la pulpa y el papel están tan estrechamente controladas por el peso específico, que rara vez se utilizan otras características de la madera, como longitud de las fibras y traqueidas, en los programas de mejoramiento genético (Barefoot et al., citados por Zobel y Talbert, 1988).

2.3.2. Influencia genética sobre el peso específico aparente básico

Zobel y Talbert (1988) expresa que la heredabilidad es la medida cuantitativa de la herencia mas comúnmente empleada. La misma indica la importancia relativa de la constitución génica y del medio ambiente como determinantes de una característica específica de la madera.

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

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

Tanto en latifoliadas como en coníferas la heredabilidad del peso específico está dentro del rango de $h^2 = 0.5$ a 0.7 , confirmando el alto grado de

control genético sobre esta característica, lo que permite una importante ganancia genética en programas de mejoramiento (Zobel y Talbert, 1988).

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

2.3.3. Selección por peso específico

Como se mencionó anteriormente, el peso específico combina una alta heredabilidad con un gran patrón de variación, permitiendo obtener buenos resultados en un programa de mejoramiento genético forestal. Esta propiedad 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 (Zobel y Talbert, 1988).

Malan, citado por Bianchi y Dibarboure (1993), señala que si los factores ambientales no afectan la variación del peso específico aparente básico entre árboles, la manipulación genética de dicha característica es posible; por lo tanto la selección de árboles con mayor peso específico aparente básico también es posible.

Zobel y Talbert (1988) mencionan que los mejoradores de plantas tienen la experiencia de que las características que no han estado sujetas a presiones de selección en el pasado, como lo es el peso específico, tienen una gran proporción de varianza aditiva respondiendo muy bien a la selección.

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

2.3.4. Variaciones de la densidad básica

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

Las diferentes especies tienen distintas características de crecimiento y estas diferencias pueden encontrarse aún dentro de la misma especie. Como resultado de esto, el tamaño y arreglo de las células y el grosor de las paredes celulares varía, ocasionando las variaciones intra e interespecíficas del peso específico aparente (Centurión y Llano, 1995).

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

Zobel y Talbert (1988) afirman que la mayoría de las veces la variación dentro del árbol es superior a la variación entre árboles, por lo cual es imprescindible cuantificarla y definirla de la forma mas precisa, puesto que condiciona los productos a obtener.

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

2.3.4.1. Variación interespecífica de la densidad básica

Según Ribeiro y Zani (1993) existen variaciones considerables en la densidad entre y dentro de las especies de *Eucalyptus*, siendo esto previsible, considerando la variación en las propiedades de las fibras y la proporción de los elementos estructurales.

También afirman que la utilización de un mayor número de especies del género en estudios sobre densidad básica de la madera dio inicio al agrupamiento de las mismas siguiendo la similitud de los valores observados.

Ferreira y Kageyama, citados por Lopes y García (2002) clasificaron distintas especies de Eucaliptos en grupos por su peso específico, donde se obtuvieron los siguientes resultados: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. dunnii* y *E. botryoides* se situaron por debajo de 0.500 g/cm^3 ; *E. pilularis*, *E. resinífera* y *E.urophylla* en torno de 0.500 g/cm^3 , mientras que *E. microcorys* y *E. cloeziana* presentaron valores superiores a 0.500 g/cm^3 .

A su vez Clarke et al., citados por Achugar y Scaglione (2003), encontraron en un estudio de nueve especies en dos sitios a los seis años de edad, que *E. grandis* es la especie que presenta menor densidad básica en ambos sitios (densidades entre 0,41 y 0,45 g/cm³), seguido por especies como *E. oreades*, *E. fraxinoides*, *E. fastigata*, *E. saligna*. Las especies de mayores densidades fueron *E. smithii* y *E. macarthurii*, seguidos por *E. dunnii* y *E. nitens*.

En cuanto a las especies bajo análisis en este trabajo, Repetti, citado por Fernández y Ros (2000), observó en un estudio comparativo que *E. dunnii* posee una madera mas densa que la de *E. grandis*. Los datos de densidad obtenidos fueron 0,55 g/cm³ y 0,417 g/cm³ respectivamente. Dicha superioridad también fue constatada por Finocchietti (2005), Schiavo (2005) en su trabajo de tesis.

2.3.4.2. Variación de la densidad básica dentro de especies y procedencias

Zobel y Talbert (1988) sostienen que en todas las características de la madera que se han estudiado, siempre se ha encontrado importante variación entre árboles de la misma especie y edad, que crecen en el mismo sitio.

Coincidiendo con esto Ferreira et al. (1979) trabajando con poblaciones de *E. saligna*, *E. grandis* y *E. urophylla*, encontraron que la densidad de la madera difiere significativamente entre árboles dentro de cada población, y esta variación es mucho mas importante que la observada entre poblaciones de una misma localidad.

Souza et al., citados por Ribeiro y Zani (1993), afirman que en análisis efectuados para *E. grandis* y *E. saligna* se demostró que la variabilidad entre

procedencias estudiadas fue mucho mayor que entre especies, indicando la posibilidad de selección para el mejoramiento de la característica.

Brasil (1983) estudiando la variación de la densidad básica de la madera entre y dentro de procedencias de *E. urophylla*, constató que las mayores ganancias podrían ser obtenidas a través de la selección entre procedencias.

Pereira et al. (2000) observa la gran variación que hay en la densidad básica para *E. grandis* Hill (ex Maiden), la cual varía entre 0,364 y 0,518 g/cm³, difiriendo estos valores según su procedencia.

Sin embargo Ribeiro y Zani (1993), mencionan que en su trabajo se encontró una tendencia a la baja variación de la densidad básica para las diferentes procedencias de *E. grandis* estudiadas.

2.3.4.3. Variaciones de la densidad básica según tasa de crecimiento

La relación que guarda la tasa de crecimiento con el peso específico de la madera es muy importante, pero confusa, evidenciado esto por los muchos resultados contradictorios encontrados en la bibliografía, lo cual puede indicar la falta de correlación entre ambas variables (Centurión y Llano, 1995).

Larson, citado por Zobel y Talbert (1988) señala que cualquier factor que afecte la fisiología y crecimiento de un árbol puede afectar también el tipo de madera que se esté produciendo y de esta forma también al peso específico.

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

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

Ribeiro y Zani (1993) también sostienen que las variaciones de la densidad básica pueden estar asociadas al ritmo de crecimiento del árbol. Estos autores citan que Albino (1983), estudiando la densidad básica de doce especies de *Eucalyptus*, verificó que en los lugares donde las especies presentaban mayor crecimiento, los valores de densidad básica fueron menores. Similares resultados fueron obtenidos por Moraes (1997) en un estudio sobre la variación genética de la densidad básica de la madera y características de crecimiento en progenies de *E. grandis* instaladas en tres localidades del estado de Sao Paulo.

De la misma forma, Gea y Mc Connochie, citados por Schiavo (2005) concluyen que existe baja correlación negativa entre densidad básica y la tasa de crecimiento en un estudio realizado en *E. nitens*.

En cambio, Stöhr y Mackay, citados por Achugar y Scaglione (2003), comparando árboles de 14 años con iguales situaciones de manejo y en un mismo sitio, observaron que árboles de menor crecimiento muestran una clara tendencia a exhibir menor densidad básica. Destacan que los árboles de crecimiento rápido muestran mayores valores de densidad en todas las alturas muestreadas, ya que los patrones de variación vertical no presentan diferencias asociadas a la velocidad de crecimiento. De la misma forma, Ferreira et al. (1979), observaron que los árboles más vigorosos presentaban mayor densidad.

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

Contrariamente, Brown et al., citados por Tusset y Durán (1979), señalan que la variación del peso específico no está relacionada con el ritmo de crecimiento, expresado por el ancho de los anillos de crecimiento, siendo el porcentaje de leño tardío un índice del peso específico más confiable que el anterior. De la misma forma, Malan y Hoon (1992), mencionan 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*. En el mismo sentido, Wilkins (1990) calculando correlaciones entre tasa de crecimiento y diversos parámetros de propiedades de la madera de esta especie, no encontró una clara relación entre tasa de crecimiento y densidad básica.

2.3.4.4. Variaciones de la densidad básica según edad de los árboles

A diferencia del factor explicado anteriormente, la variación de la densidad básica en función de la edad no presenta importantes contradicciones en los distintos autores consultados.

Según Ferreira y Foelkel et al., citados por Lima et al. (2001) en sus estudios mostraron que la densidad de la madera de las especies de *Eucalyptus* se incrementa con la edad del árbol.

Posteriormente, 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.

Del mismo modo, 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 existe 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. Coincidiendo, Barrichelo y Brito, citados por Centurión y Llano (1995), afirman que la densidad básica aumenta hasta cierta edad para luego estabilizarse.

En el mismo sentido, Lopes y García (2002) constataron la tendencia de aumentos del peso específico aparente básico en *E. saligna*, en función de la edad, pero además se observó un decrecimiento de la tasa de incremento de la densidad básica en función de la edad de la población.

Bianchi y Dibarboure (1993) citando un trabajo de Shikaputo et al., señalan que el peso específico aparente básico de *E. grandis* medido a los cuatro, ocho y 15 años de edad varía entre 0.415 y 0.505 g/cm³, lo cual determina que dicha propiedad se incrementa significativamente a medida que aumenta la edad. Trabajando con esta misma especie a dos edades diferentes

(63 y 100 meses) De Asis Ribeiro y Zani (1993), también encontraron incrementos significativos del peso específico con la edad.

Ferreira y Kageyama, citados por Ribeiro y Zani (1993), constataron incrementos de la densidad básica en *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. saligna* y *E. propinqua* entre las edades de cinco a 11 años. Para *E. grandis* en cambio, el aumento fue menos pronunciado en comparación con el resto de las especies mencionadas.

López y Staffieri, citados por Finocchietti (2005) mencionan que existe un claro patrón de incremento de la densidad con la edad, estudiando dicha variabilidad en *E. grandis* y *E. dunnii*.

En el mismo sentido Finocchietti (2005), Schiavo (2005) en su trabajo de tesis, estudiando *E. dunnii* y *E. grandis*, verificaron el incremento de la densidad básica con la edad. En el primer caso se constató un aumento de 12% desde los cuatro a los ocho años, mientras que en *E. grandis* la variación observada fue 4.1% para el mismo rango de edades.

Igualmente, Backman y García De León, citados por Finocchietti (2005) en un estudio de cinco especies del género *Eucalyptus*, desde los cuatro a nueve años, concluyen que para todas las especies, la densidad básica de la madera se incrementa con la edad (para *E. grandis*, *E. saligna* y *E. dunnii* de un 9 a 11 %, mientras que para *E. globulus ssp. maidenii* y *E. benthamii* menos de un 7 %). 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).

Fundamentando lo anteriormente expuesto, Trugilho et al., citados por Schiavo (2005), afirman que 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. Del mismo modo, Malan (1991) afirma que el aumento de densidad con la edad, se debe a los efectos combinados del incremento en diámetro de la fibra, así como un decrecimiento en el tamaño de los lúmenes, por un engrosamiento de la pared celular.

2.3.4.5. Variaciones de la densidad básica según sitio de crecimiento

Foelkel, citado por Centurión y Llano (1995) afirma que el ambiente es uno de los factores que influyen la variabilidad de la madera. Del mismo modo, Bianchi y Dibarboure (1993) afirman que el hábitat natural tiene una gran influencia sobre el peso específico aparente básico de la madera.

Zobel y Talbert (1988) para la característica bajo estudio, sostienen que existen diferencias entre rodales creciendo en diferentes sitios, localidades y áreas geográficas.

Dentro de este factor, Ribeiro y Zani (1993) señalan que las variaciones edafoclimáticas entre lugares de plantación afectan significativamente la densidad básica de la madera de *E. grandis*.

Malan, citado por Schiavo (2005) indica que árboles creciendo en sitios favorables tienden a producir maderas con mayores densidades, comparados con aquellos que crecen en peores condiciones.

Además, Hicks y Clark, citados por Schiavo (2005) mencionan que las diferencias en tasas de crecimiento pueden asociarse con la disponibilidad de agua, lo cual puede tener diversos efectos sobre la densidad.

Según Bianchi y Dibarboure (1993) los datos promedio de peso específico aparente básico obtenidos en *E. grandis* Hill (ex Maiden) en diferentes lugares mostraron importantes variaciones que van desde los 0,340 a 0,752 g/cm³.

2.3.4.6. Variaciones de la densidad básica según fertilización y espaciamiento

Berger, citado por Finocchietti (2005), en un estudio en *E. saligna*, afirma que tanto la fertilización como el espaciamiento tienen un efecto considerable sobre la densidad básica de la madera.

Según Malan y Hoon (1992) los patrones de variación de densidad en árboles de la especie *E. grandis*, son significativamente afectados por el grado de supresión que estos experimenten. Afirma que a menor supresión del árbol mayor es el grosor de las paredes de las fibras y por lo tanto la densidad.

Berger, citado por Finocchietti (2005) señala que el incremento en densidad básica que se observa en árboles pertenecientes a espaciamientos superiores, tal vez se deba al mayor espesor de las capas de madera formadas recientemente en dichos individuos. Debido a la competencia, luego de una determinada edad, los árboles pertenecientes a menores espaciamientos tienen menor concentración de madera adulta, ocasionando menores densidades con relación a individuos pertenecientes a mayores espaciamientos (Finocchietti, 2005).

En un rodal de nueve años y medio de *E. grandis*, Wilkins (1990) observó una densidad 11 % mayor en los árboles con fertilización, que los que carecían de esta. Realizando estudios sobre la misma especie en Sudáfrica, Du Toit et al., citados por Finocchietti (2005), encontraron incrementos significativos en la densidad básica, observando una evolución promedio de 0,448 gr/cm³ en suelos sin fertilizar a 0,472 gr/cm³, en los que fueron fertilizados para una edad de 8,3 años.

Estudiando el efecto de la fertilización y espaciamiento en *E. saligna*, Berger, citado por Finocchietti (2005), verifica incrementos de hasta 4% en la densidad básica al aumentar de 6 a 12 m² el espaciamiento, con una dosis de fertilizante de 400 kg/ha. Dichos incrementos llegan hasta un 5 % cuando la dosis es 800 kg/ha. Entre las diferentes dosis de fertilización, para un mismo espaciamiento, la densidad aumentó en 2 % (6m²), 3 % (9m²) y 4% (12 m²).

2.3.4.7. Variaciones de la densidad básica según humedad de la madera

La humedad natural es una propiedad de elevada importancia para la determinación de calidad de madera (Lopes y García, 2002).

Según Zobel y Talbert (1988) el peso específico está correlacionado negativamente con el contenido de humedad.

En cuanto a la variación del contenido de humedad dentro del árbol, Curró, citado por Centurión y Llano (1995) sostiene que el contenido de humedad aumenta desde la corteza a la médula, y de la parte superior a la inferior del árbol.

Busnardo et al., citados por Lopes y García (2002) afirman que en una madera de densidad básica más elevada, habrá menos espacios vacíos a ser ocupados por agua. Concluyeron que es posible estimar la densidad básica de la madera, por la determinación del contenido de humedad en el árbol vivo.

En un estudio de *E. grandis*, García y Lima, citados por Lopes y García (2002), constataron una correlación inversa entre densidad básica y humedad natural de la madera. Observaron que individuos con densidad básica en el entorno de $0,40 \text{ g/cm}^3$ presentaron una humedad natural de 72,89%, y árboles con densidad básica en el entorno de $0,38 \text{ g/cm}^3$ presentaron una humedad natural que varía entre 101,58 a 123,89%. Por lo cual, árboles seleccionados en programas de mejoramiento para altas densidades, deben presentar menores tenores de humedad natural.

2.3.4.8. Variaciones de la densidad básica dentro del árbol

La densidad básica de la madera varía dentro del árbol, de la médula hacia la corteza y de la base del tronco hacia la copa, siendo los modelos de variación bastante contradictorios (Harris, citado por Centurión y Llano, 1995).

Panshin y De Zeew, citados por Lopes y García (2002) en diversos estudios de la variación de la densidad básica en sentido longitudinal, afirman que esas variaciones se presentan tres modelos probables:

Modelo 1: Decreciente uniformemente con la altura.

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

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

También se plantea la posibilidad de que no exista variación significativa en sentido 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.

Reafirmando la ausencia de variación significativa de la densidad básica en el sentido longitudinal, Centurión y Llano (1995), en su trabajo de tesis señalan que el comportamiento de dicha característica, en relación con la altura en *E. grandis* de 12 años, es confuso y no existe un único modelo que sea capaz de explicar esta variación para todos los árboles. Atribuyen este comportamiento a que la variación de la característica es relativa de cada individuo.

En el mismo sentido, Fernández y Ros (2002), analizan las características anatómicas de *E. dunnii*, no observando un comportamiento definido de la densidad básica en relación a la altura, ya que en algunos individuos aumentó hacia el ápice y en otros se mantuvo relativamente constante a lo largo del fuste.

Del mismo modo, Schiavo (2005) determinó que la variación axial de la densidad básica de la madera de *E. dunnii* no presenta diferencias significativas para las edades de cuatro y ocho años.

En contraposición, y coincidiendo con el modelo N° 1 planteado por Panshin y De Zeew, citados por Lopes y García (2002), en estudios realizados en *E. grandis*, Malan, citado por Bianchi y Dibarboure (1993), encontró que el

gradiente del peso específico aparente básico decrece con los incrementos en altura. Este fenómeno fue visto de forma mas pronunciada en árboles creciendo a altas tasas.

En el mismo sentido, Soria (1979) estudiando árboles de *E. grandis* de cinco años, concluyó que existe variación del peso específico aparente básico en relación a la altura del fuste, siendo este mayor en la base. Los valores promedio de dicha característica determinados a tres niveles de altura para el conjunto de árboles, fueron los siguientes: 0,39 g/cm³ en la troza apical, 0,41 g/cm³ en la troza media y 0,48 g/cm³ en la troza basal del fuste.

En cambio, Ferreira, citado por Barrichelo et al. (1982) trabajando con *E. grandis* de 11 a 16 años, concluyó que la densidad básica de la madera se incrementa desde la base hacia la copa siendo esta tendencia común para las diferentes clases de altura estudiadas. Esto se ajusta al modelo N° 3 planteado por Panshin y De Zeew, citados por Lopes y García (2002).

Finalmente Barrichelo et al. (1982) concluye que para el género *Eucalyptus* es mas común observar una variación como la propuesta por el segundo modelo, o sea, decreciente hasta la región del DAP y creciente a partir de este punto, pudiendo o no decrecer hacia el extremo.

En el mismo sentido, estudiando la variación de la densidad básica en *E. grandis*, Achugar y Scaglione (2003) concluyen que dicha variación en altura presenta un decrecimiento inicial desde la base hasta los 2 – 4 m, presentando posteriormente un aumento hacia la copa.

Lausberg et al., citados por Schiavo (2005) concluyeron para *E. nitens* Maiden que la densidad básica desde la base hacia la copa, inicialmente

disminuía hasta 1.4 m, a partir del cual se producía un incremento lineal hasta la altura total.

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

También se adaptan al modelo N° 2 propuesto por Panshin y De Zeew, citados por Lopes y García (2002) los resultados obtenidos por Finocchietti (2005), estudiando *E. Grandis* de 4 y 8 años de edad, donde determinó que la densidad es mayor en la base del árbol, decreciendo hasta los 4-6 metros, para aumentar progresivamente, hasta lograr altos valores similares a los de la base en la zona de la copa.

En cambio, Brasil et al. (1977) analizando la variación de la densidad básica en secciones transversales del fuste en sentido longitudinal en *E. propinqua*, concluyen que la misma crece de la base hacia la copa hasta un punto máximo próximo a la mitad del árbol y después decrece. Dicho comportamiento no se asemeja a ninguno de los modelos planteados inicialmente.

Benson, citado por Brasil et al. (1979) señaló que en latifoliadas la porosidad puede indicar la variación de la densidad en sentido radial, ya que en las especies con porosidad dispuesta en anillos concéntricos, la tendencia de la densidad es decrecer en sentido radial, desde la medula hacia la corteza, pero

el fenómeno parece no ser típico para aquellas especies con porosidad difusa (como el género *Eucalyptus*).

Según Tuset y Duran (1979) 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.

A su vez, dentro del género *Eucalyptus*, el modelo de variación radial dentro del árbol más comúnmente descrito también indica un incremento de la densidad básica desde la médula hacia la corteza (Igartúa et al., 2000).

En un estudio de la variación radial de la densidad básica en *E. grandis* y *E. dunnii*, López y Staffieri (2003) evidenciaron la existencia de un marcado incremento desde la médula hacia la corteza en dicho parámetro (Db médula promedio = 0.549 g/cm³, Db corteza promedio = 0.708 g/cm³, en *E.dunnii*). También sostienen que la madera de *E. grandis* posee una densidad más homogénea a nivel radial.

Malan, citado por Bianchi y Dibarboure (1993), indica que para *E. grandis* el peso específico aparente básico, en el sentido radial, generalmente decrece desde la corteza hacia la médula, con un gradiente radial cuyo rango es de 0,55 a 0,162 g/cm³. En general este gradiente es mayor cuanto más desarrollado es el árbol. Por otro lado dicha diferencia tiende a disminuir con los crecimientos en altura del árbol.

Esto también es afirmado por Ferreira y Kageyama (1978), quienes mencionan que la densidad aumenta marcadamente en sentido médula – corteza.

Contrariamente a lo expresado con anterioridad, 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. Lo mismo fue observado por Shikaputo et al., citados por Bianchi y Dibarboure (1993).

En lo que refiere a la relación entre altura y posición radial, en un estudio realizado con *E. globulus ssp. globulus* de 40 años de edad en Balcarce, Argentina, Igartúa et al. (2000) observaron que los valores de densidad básica se incrementaron desde la médula hacia la corteza, aunque tales incrementos tendieron a ser menores en la región superior del tallo, lo que reveló la existencia de una interacción entre la posición en el radio y la altura de muestreo. Estos mismos autores citan a Taylor y Sardinha en *E. grandis* y *E. Saligna* respectivamente, quienes advirtieron diferentes patrones radiales de evolución de la densidad básica a diferentes alturas de muestreo.

2.3.5. Métodos de determinación del peso específico aparente básico

La bibliografía cita diversas formas de expresar la densidad de la madera en función del contenido de humedad, dificultando muchas veces comparar los resultados obtenidos con aquellos disponibles. Debe optarse siempre por aquellas metodologías cuyas condiciones sean fácilmente reproducibles (Centurión y Llano, 1995).

2.3.5.1. Métodos directos de determinación del peso específico aparente básico

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 t/m^3 , kg/dm^3 , g/cm^3 (Senyszyn, 1999). Para ello se extraen muestras de madera y se calcula directamente la Db en base al material extraído del individuo a evaluar. Por dichas razones se les denomina métodos directos de evaluación de densidad, el cual fue utilizado en el presente trabajo.

Para medir la masa se pesan las probetas en una balanza. Según el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, citado por Bianchi y Dibarboure (1993), para lograr que la madera pierda toda su humedad, debe secársela en estufa a 105°C (no más de 110°C y no menos de 100°C), hasta llegar a un peso constante.

Según Finocchietti (2005), el volumen puede determinarse por los siguientes métodos:

- Por medición directa, que es un método aplicable a probetas de cualquier tamaño, de forma regular, cuyos vértices presenten ángulos rectos y presenten superficies lisas, por lo cual se mide su volumen mediante el uso de formulas matemáticas.
- Por inmersión en agua, el cual es un método aplicable a probetas de forma irregular o superficie rugosa. La madera seca debe sellarse previamente sumergiendo la probeta en cera parafina caliente. En madera verde no es necesario el sellado. A continuación se coloca la probeta en un recipiente de volumen conocido y se agrega agua hasta llenar el recipiente. Se extrae la probeta del agua y se calcula el volumen remanente (desplazamiento de agua).

Otra metodología consiste en determinar el volumen por diferencia de peso, utilizando agua destilada, procedimiento que resulta sumamente preciso y es utilizado en este trabajo. Según Smith, citado por Bianchi y Dibarboure (1993), dicho método es de gran utilidad para la determinación del peso específico en madera de forma irregular. Los posibles errores causados por esta metodología son debidos a burbujas de aire que pueden quedar adheridas a la superficie rugosa, a la humedad remanente, al agua absorbida por la madera, y a la temperatura del agua.

- Por inmersión en mercurio, es otro método y es aplicable a probetas de tamaño reducido, de cualquier forma, densidad y contenido de humedad. No es necesario sellar la probeta con parafina, excepto si presenta poros o huecos muy abiertos en los cuales podría quedar atrapado mercurio, provocando una medición errónea. El procedimiento es igual al de inmersión en agua.

Gea y Mc Connochie, citados por Schiavo (2005), 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.

2.3.5.2. Métodos indirectos de determinación del peso específico aparente básico

Foelkel et al., citados por Centurión y Llano (1995) 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 se encuentre en su máximo contenido de humedad; 2) que la densidad de los componentes anatómicos de la madera deben ser de 1,53 g/cm³. Usando este método son necesarias solamente dos pesadas para la determinación del peso específico, una cuando la muestra se encuentra completamente saturada de agua y la otra con la muestra seca en estufa a 105 °C +/- 3°C hasta peso constante.

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

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

<p>D_b densidad básica P_t peso de madera saturada P_s peso anhidro de la madera</p>

Las únicas posibilidades de error de este método, sería asumir una densidad de la “sustancia madera” como constante (1,53 g/cm³), cuando la misma varía entre 1,50 y 1,55 g/cm³, y la dificultad de conseguir en ciertos casos completa saturación de agua de las muestras.

Comparando varios métodos para la determinación de la densidad básica, Scaramuzzi, citado por Centurión y Llano (1995), concluyó que el método de máximo tenor de humedad era con el que se obtenían menores desvíos en relación a la inmersión en agua, además de ser el de mayor rapidez y facilidad de ejecución.

Otro de los métodos indirectos para la determinación de la característica consiste en la utilización del Pylodin, definido por Greaves et al., citados por

Finocchietti (2005), 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. Debido a la alta heredabilidad y repetitibilidad de la penetración del instrumento, se asume que con un número razonable de observaciones se obtiene un 94% de precisión en la selección. Se trata de una metodología mas económica y menos destructiva que la medida directa, permitiendo gran número de medidas y mayor intensidad de selección, considerando su uso en la selección masal de árboles para su uso en programas de mejoramiento genético de densidad básica.

2.4. RELACION ENTRE EL PESO ESPECIFICO Y LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

2.4.1. Descripción del proceso de pulpeado químico

El objetivo del pulpeado químico es degradar y disolver la lignina, dejando la mayor parte de la celulosa y hemicelulosa en su forma intacta en las fibras. En la práctica, los métodos de obtención de pulpas químicas son capaces de eliminar la mayor parte de la lignina; también degradan cierta cantidad de hemicelulosas y celulosa, por lo que el rendimiento en pulpa es bajo en relación con el pulpeado mecánico, usualmente entre el 40 y 50 % de la madera original.

Actualmente el proceso kraft es el más utilizado, el cual involucra la cocción de las astillas de madera en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S) en un medio acuoso a temperatura y presión elevadas. Dicho proceso es realizado en digestores, los cuales se cargan con

chips y suficiente licor para cubrir los mismos. Posteriormente el contenido es calentado, la temperatura máxima (usualmente 170 °C) se alcanza en 1 a 1,5 horas, lo que permite que los chips se impregnen con el licor. La cocción se mantiene a dicha temperatura durante 1 a 2 horas para completar la reacción. Después de la digestión, los chips se desintegran en fibras y posteriormente la pulpa es sometida a una operación de lavado (Smook, 1990).

2.4.2. Importancia del peso específico en la producción industrial

Zobel (1988), argumenta que en muchos casos, la aceptación o rechazo de un producto por el mercado, puede ser directamente relacionada a los bajos valores de densidad básica. Para algunos productos, es deseable alta densidad básica de la madera, mientras que para otros esta debe ser baja. La utilización de esta característica como parámetro de calidad viene adquiriendo cada vez más importancia, al punto de ser definidos programas de mejoramiento específicos, dependiendo de la utilización final de la madera.

Según Böthig, citado por Achugar y Scaglione (2003), la densidad es un índice de calidad de madera que está íntimamente asociado a las propiedades mecánicas y otras propiedades físicas de la madera. También afirma que es un factor determinante de su aptitud para la industrialización.

La densidad básica ha probado ser un apropiado estimador de la calidad de los productos papeleros en términos de los rendimientos de la producción de pulpas, las resistencias de los papeles y otras características como sus propiedades ópticas y su calidad superficial (Igartúa et al., 2000).

Backman y García de León (1998), mencionan que la densidad básica es un parámetro muy importante para la producción de pulpa, influyendo en las

propiedades de chipeado, productividad de los digestores, calidad del papel hasta en los costos de carga.

Foelkel et al., citados por Centurión y Llano (1995) afirman que para la industria de celulosa y papel la densidad es encarada sobre los siguientes aspectos:

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

Coincidiendo, Malan y Hoon (1992), afirman que la capacidad de desfibrado muestra una relación inversa con la densidad de la madera. Los mismos autores sostienen que la tensión del papel es determinada por la fuerza de la fibra y su cohesión.

Bustamante y De los Santos, citados por De Mello y Fernández (2000), mencionaron que las pastas de mejores características físicas proceden, en general, de maderas de baja densidad, lo cual puede atribuirse a la correlación que existe entre la densidad básica con el espesor de la pared y el número de vasos.

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

2.4.3. Aptitud papelera de las especies bajo estudio

En cuanto a las especies analizadas en este trabajo de investigación, Maradei, citado por Repetti (1987), sostiene que el valor de la blancura en la pasta cruda de *E. dunnii* revela que esta es una especie de madera clara, casi del mismo orden que la de *E. grandis*. Los porcentajes de blancura son de 43,2% para el primero y 46,7% para el segundo, siendo este un aspecto favorable para su utilización en la industria del papel.

Estudios de aptitud papelera han demostrado que *E. dunnii* posee características interesantes en cuanto a propiedades del papel y rendimiento en pulpa. Según resultados de propiedades de las pastas celulósicas obtenidas mediante diferentes procesos, De Mello y Fernández (2000) afirman que dicha especie podría utilizarse satisfactoriamente en la elaboración de pastas kraft blanqueadas para papeles de impresión.

De Mello y Fernández (2000) sostienen que las diferencias en los índices de tracción y estallido entre ambas especies se debe a la influencia de la densidad básica sobre estas propiedades. Las hojas confeccionadas con *E. grandis* presentan mayores resistencias que *E. dunnii*, dado que la menor densidad de madera de la primera estaría relacionada con fibras de paredes mas delgadas y con mayor capacidad de colapso. Mientras tanto, menciona que no existieron diferencias significativas entre los valores de rasgado.

A continuación se presenta el estudio de aptitud papelera de *E. dunnii* comparado con *E. grandis* realizado por Sparnochia, citado por De Mello y Fernández (2000).

Cuadro No. 1. Características paperas de *E. grandis* y *E. dunnii*

Especie	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>
Nº kappa	20,2	19,6
Indice de tracción (kgNm/kg)	105	92
Indice de estallido (MN/kg)	9,45	6,75
Indice de rasgado (NM ² /kg)	5,25	5,95

Fuente: elaboración propia a partir de De Mello y Fernández (2000).

En un estudio realizado para *E. dunnii* y *E. grandis*, Maradei et al., citados por De Mello y Fernández (2000), mencionan valores de densidad básica de 0,54 y 0,445 g/cm³, respectivamente. El rendimiento de pulpa obtenido en el mismo ensayo fue de 50,2 y 49,7% respectivamente.

Coincidiendo, Backman y García de León (1998), estudiando las propiedades de pulpa y papel en muestras de chips, determinaron para dichas

especies densidades básicas de 489 y 449 kg/m³ respectivamente. Observaron además mayores rendimientos en pulpa en *E. dunnii* (50,1 %) con respecto a *E. grandis* (48,5%), siendo el primero el que consumió menos reactivos en el proceso de pulpeo. Determinando la composición química de los chips, *E. dunnii* presentó mayores contenidos de carbohidratos y menores de lignina en referencia a *E. grandis*. Estos rendimientos se ven afectados negativamente por el contenido de lignina y positivamente por el de carbohidratos luego del proceso de cocción, lo cual explica los valores observados.

Si bien desde el punto de vista de resistencia de las fibras los eucaliptos menos densos aparecen como los más apropiados (por ejemplo, *E. grandis*), a las especies más densas (por ejemplo, *E. dunnii*) se las puede utilizar satisfactoriamente en la elaboración de papeles de impresión y escritura. En estos papeles al no ser la resistencia un imperativo, el menor poder de unión entre fibras no constituye una desventaja (Repetti, 1987).

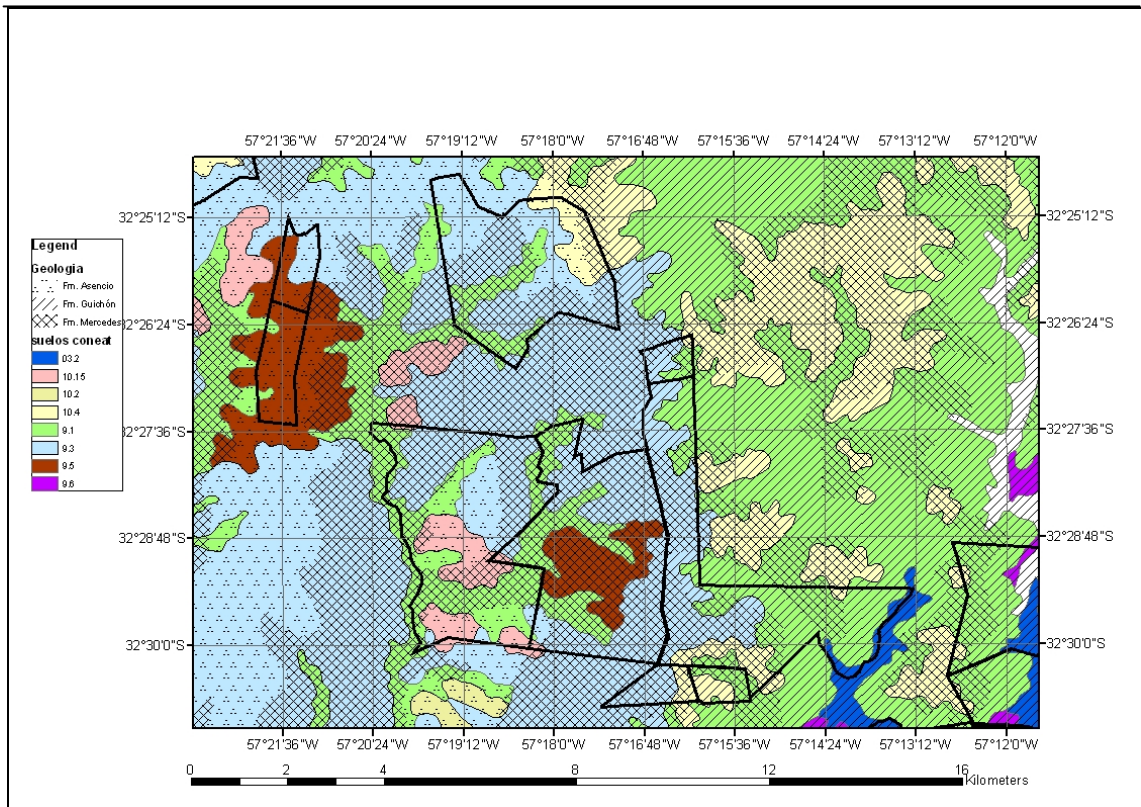
3. MATERIALES Y METODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Características del sitio y material experimental

Las parcelas seleccionadas para realizar el muestreo se ubican en predios de la Compañía Forestal Oriental S.A., denominados “Las Tunas” y “El Paraíso”, ubicados aproximadamente a 15 kilómetros al este de la localidad de Algorta en el departamento de Río Negro. En la próxima figura se puede observar un mapa de la zona, donde se encuentran los predios anteriormente mencionados, además de latitud, longitud, tipo de suelo y litología.

Figura No. 2. Mapa de ubicación de los predios donde se realizaron los muestreos



El material experimental utilizado en este estudio proviene de ensayos, localizados en el distrito Algorta, en los establecimientos “Las Tunas” y “El Paraíso”. A continuación se presenta un cuadro que resume las principales características de dichos ensayos.

Cuadro No. 2. Características generales del material experimental

Establecimiento	Las Tunas		El Paraíso	
<i>Especie</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>
Origen o procedencia	Urbenville, Australia	Florida, EE.UU.,	Urbenville, Australia	Florida, EE.UU.,
Geología	Formación Mercedes y Guichón		Formación Mercedes	
Grupo Coneat	9.1; 9.3		9.1; 9.3; 9.5	

Fuente: elaboración propia en base a información de Compañía Forestal Oriental

3.1.2. Instrumentos

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Balanza electrónica de precisión (0,01 gr.) Mettler Toledo.
- Forcípula metálica.
- Motosierra Husqvarna.
- Cinta métrica de 30 metros de longitud.
- Cinta para medición de espesor de corteza.
- Horno de secado Tabal, modelo PS 242, máximo 200 °C.
- Agua destilada.
- Recipiente plástico para determinación de volumen.
- Recipientes para saturación.
- Marcadores permanentes.
- Soporte casero para sumergir discos.
- Hilo con clavija desmontable.

3.2. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

3.2.1. Descripción del trabajo de campo

El muestreo se diseñó a partir de ensayos de especies, orígenes, procedencias, así como también de rendimiento. Se consideraron dos especies en dos edades, 10 y 12 años respectivamente. La selección de los rodales tuvo en cuenta la homogeneidad en términos de exposición, edad de los árboles, especie y silvicultura. Dentro de cada rodal se seleccionaron individuos codominantes, homogéneos en términos de crecimiento, sin bifurcaciones y teniendo en cuenta otras características que pudieran hacer del individuo un árbol anómalo (por ejemplo, problemas sanitarios).

El tamaño de muestra fue de 100 árboles, procediéndose a cosechar 25 árboles de cada estrato por edad y especie. A cada uno de éstos individuos se le asignó un número identificador, fueron marcados y medidos a la altura del pecho (DAP), siendo posteriormente apeados a una altura de 10 - 15 cm desde el suelo. También fueron marcados sucesivamente desde la base cada dos metros, hasta llegar a la altura comercial (considerando la misma cuando el diámetro del fuste se reduce a 8 cm. con corteza). En dichos puntos de marcación, además del correspondiente a la base del árbol, se efectuaron las mediciones de diámetro con forcípula.

A continuación se procede a la determinación de altura total y comercial utilizando cinta métrica.

Posteriormente se obtuvieron discos de aproximadamente una pulgada de espesor en las porciones del fuste marcadas, en los que se determinó el correspondiente espesor de corteza, luego de lo cual fueron descortezados. De

cada árbol se obtuvieron entre 11 y 15 discos. Los mismos fueron identificados numéricamente según el individuo del que provenían y utilizando el abecedario según la posición que se ubicaban en el árbol.

Figura No. 3. Trabajo de campo



3.2.2. Descripción del trabajo de laboratorio

La etapa de laboratorio fue realizada según la norma T 258 om-94, de la Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI). A continuación se detallan los procedimientos para la determinación del volumen y masa saturada de las muestras, así como también su peso en estado anhidro.

3.2.2.1. Determinación de peso y volumen saturado

En primer lugar se procedió a la saturación de los espacios porosos de los discos, mediante su inmersión total en agua durante 12-15 días previos al cálculo de volumen. En dicho período los discos de un mismo árbol fueron agrupados en bolsas individuales que permitieran la circulación del agua y

colocados en recipientes con capacidad adecuada, a los cuales se les sustituía el agua cada 24 horas.

Posteriormente se retiran los discos del recipiente de saturación, eliminando excesos de agua, aserrín y suciedad de la superficie de la muestra con un paño. A continuación se realiza la determinación del peso saturado de las muestras por pesaje directo.

Luego se procede al cálculo de volumen, utilizando la misma balanza empleada anteriormente, y un recipiente con agua destilada a temperatura ambiente, sobre los cuales se coloca un soporte. Este suspende un hilo, el cual en su extremo posee una clavija, utilizada para fijar la muestra. La misma es colocada cuidadosamente dentro del recipiente, teniendo en consideración que no tome contacto con el fondo y que a su vez sea recubierta en su totalidad por una fina película de agua. Previo a la lectura, se debe hacer subir y bajar el disco dentro del agua, de modo de eliminar burbujas de aire que puedan estar presentes.

Figura No. 4. Determinación de volumen



La determinación del volumen se obtiene por desplazamiento de líquidos, siendo el procedimiento mas preciso y exacto, lo cual se asemeja a un xilómetro. Estando el recipiente sobre la balanza, el líquido desplazado por el disco ocasiona un incremento en peso; ese peso es equivalente al volumen de la muestra (ésta aseveración es válida siempre que se utilice un líquido con densidad igual a 1) (Sorrentino, 1997).

3.2.2.2. Determinación de peso anhidro

Una vez calculado el volumen saturado de los discos, estos fueron oreados al menos durante diez días, y posteriormente en horno durante 48-72 horas a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante, en dos medidas consecutivas a intervalo de dos horas. Al quitarlos del horno en estado anhidro, se determinó inmediatamente su masa, de modo de evitar posible absorción de humedad proveniente del ambiente. Luego de obtenidos todos los datos de peso anhidro, se procede al cálculo de densidad de cada disco.

Figura No. 5. Secado de las muestras al aire libre



Figura No. 6. Horno de secado



Figura No. 7. Balanza utilizada para pesar muestras



3.3. PROCESAMIENTO DE DATOS

Con los datos obtenidos a campo, se confeccionaron tablas con variables dasométricas y cormométricas, como la altura total (Ht) promedio, altura comercial (Hc) promedio, factor de forma (FF) de cada árbol y factor de forma promedio, volumen total (Vt) y volumen comercial (Vc) para cada árbol y promedio, espesor de corteza promedio, las cuales pueden verse en los anexos 2 al 10.

3.4. CALCULOS DE DENSIDAD

3.4.1. 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.

$$\text{DENSIDAD BÁSICA } n = \frac{\text{Peso anhidro } n}{\text{Volumen saturado } n}$$

3.4.2. Densidad básica media ponderada (DMP) por árbol

Con los discos obtenidos a diferentes alturas del fuste se calculó la densidad básica promedio aritmética por árbol y de forma ponderada por el volumen representado por cada disco del árbol (DMP).

El promedio ponderado se calcula de la siguiente forma:

$$\text{DB}_i \text{ prom} = \frac{[(\text{DB}_{\text{base}} + \text{DB}_{1.3\text{m}})/2] \cdot V_1 + [(\text{DB}_{1.3\text{m}} + \text{DB}_{2\text{m}})/2] \cdot V_2 + \dots + [(\text{DB}_{n-1} + \text{DB}_n)/2] \cdot V_n}{\text{Volumen total del árbol sin corteza}}$$

Donde:

- $\text{DB}_i \text{ prom}$: Densidad básica promedio ponderada del árbol i (gr/cm^3).
- DB_{base} : Densidad básica del disco de la base (gr/cm^3).
- $\text{DB}_{1.3\text{m}}$: Densidad básica del disco a 1.30 m de altura (gr/cm^3).
- $\text{DB}_{2\text{m}}$: Densidad básica del disco a 2 m de altura (gr/cm^3).
- DB_{n-1} : Densidad básica del penúltimo disco (gr/cm^3).
- DB_n : Densidad básica del disco obtenido en la altura comercial (gr/cm^3).
- V_1 : Volumen sin corteza de la troza 1 en m^3 .
- V_n : Volumen sin corteza de la troza a mayor altura en m^3 .

Los volúmenes utilizados en la fórmula corresponden a las trozas definidas por dos alturas de muestreo consecutivas. El volumen comercial

considera un diámetro mínimo de 8 cm con corteza. Los volúmenes por troza se calcularon utilizando la fórmula de Smalian.

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el programa SAS (Versión 9.1, 2004), en el cual se realizaron diversos análisis de varianza y pruebas de diferencias de medias, para detectar diferencias estadísticamente significativas entre las diversas fuentes de variación, para las edades y alturas analizadas.

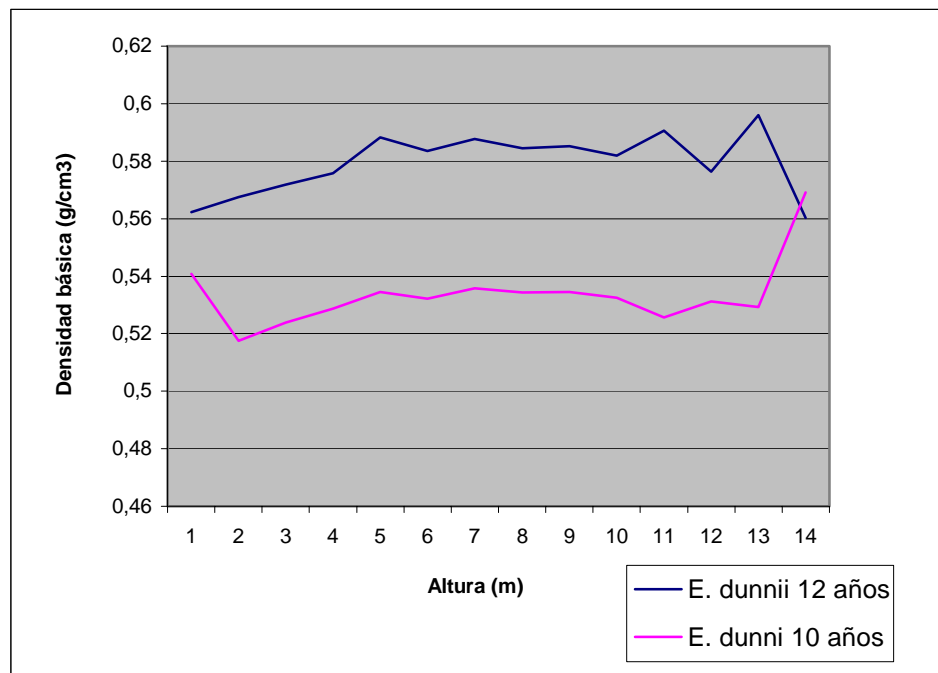
4. RESULTADOS

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.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las propiedades en estudio con su correspondiente análisis. En primera instancia se exponen las determinaciones realizadas para la variación de la densidad básica en función de la altura para *E. grandis* y *E. dunnii* a las edades de 10 y 12 años, con sus correspondientes análisis estadístico y los modelos matemáticos de variación axial que mejor se ajustaron, así como una aproximación a sus puntos óptimos de muestreo. A su vez se detallan los resultados referentes al comportamiento de la densidad en verde, para las especies y edades en cuestión, así como también su correlación con la densidad básica.

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS EN *E. dunnii*

Gráfico No. 1. Variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* en función de la edad



Observando la evolución de la variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* a los 10 y 12 años de edad podemos observar que no existen variaciones relevantes para la característica bajo estudio, a excepción de las zonas superiores del fuste.

Sin embargo, al analizar el comportamiento de la característica en función de la edad, se observan incrementos de la misma al aumentar la edad de los individuos muestreados.

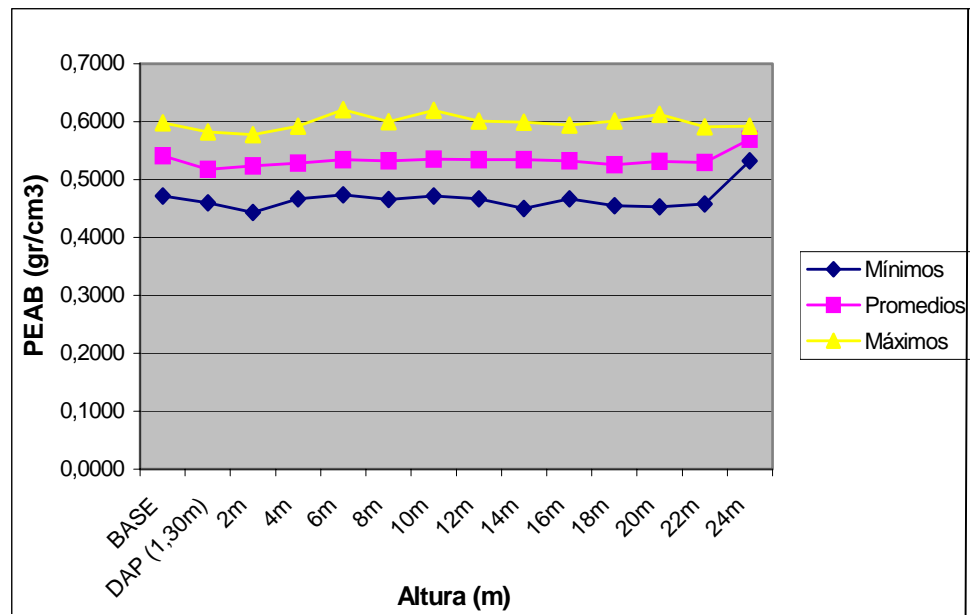
4.1.1. Procesamiento de datos en *E. dunnii* 10 años

A continuación se presenta un cuadro resumen en el cual se detalla información referente a la característica bajo estudio para dicha especie y edad.

Cuadro No. 3. Resumen de densidad básica en *E. dunnii* a los 10 años

Altura (m)	L S	L I	Nº Discos	desv. est.	Min.	Máx.	Promedio
Base	0.556	0.526	25	0.037	0.471	0.598	0.541
1.3	0.531	0.504	25	0.032	0.460	0.583	0.518
2	0.538	0.510	25	0.034	0.443	0.577	0.524
4	0.542	0.515	25	0.032	0.467	0.592	0.529
6	0.549	0.520	25	0.035	0.474	0.621	0.535
8	0.546	0.518	25	0.034	0.466	0.600	0.532
10	0.551	0.520	25	0.038	0.472	0.619	0.536
12	0.548	0.520	25	0.034	0.467	0.601	0.534
14	0.549	0.520	25	0.036	0.450	0.599	0.535
16	0.547	0.518	25	0.035	0.467	0.594	0.532
18	0.542	0.509	25	0.040	0.455	0.601	0.526
20	0.556	0.507	25	0.060	0.453	0.658	0.531
22	0.551	0.508	16	0.041	0.458	0.591	0.529
24	0.649	0.489	3	0.032	0.532	0.592	0.569

Gráfico No. 2. Valores mínimos, promedios y máximos de PEAB en *E. dunnii* 10 años



4.1.1.1. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* 10 años

Si bien el análisis de varianza determina la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las densidades básicas medias a las distintas alturas de muestreo, no es posible ajustar un modelo que explique el comportamiento de dicha característica.

Cuadro No. 4. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* 10 años

	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Modelo	1	0.0116	0.0116	37.73	<.0001
Error	23	0.00707	0.00030747		
Total	24	0.01867			

4.1.1.2. Calculo del punto de muestreo representativo de todo el árbol

Para la estimación del punto óptimo de muestreo, se determinaron las correlaciones existentes entre los valores de densidad básica en los diferentes puntos o alturas de muestreo y el valor de densidad básica media ponderada de cada uno de los 25 árboles analizados.

Cuadro No. 5. Correlación entre el promedio ponderado de la densidad básica y la densidad básica correspondiente a las diferentes alturas en *E. dunnii* 10 años

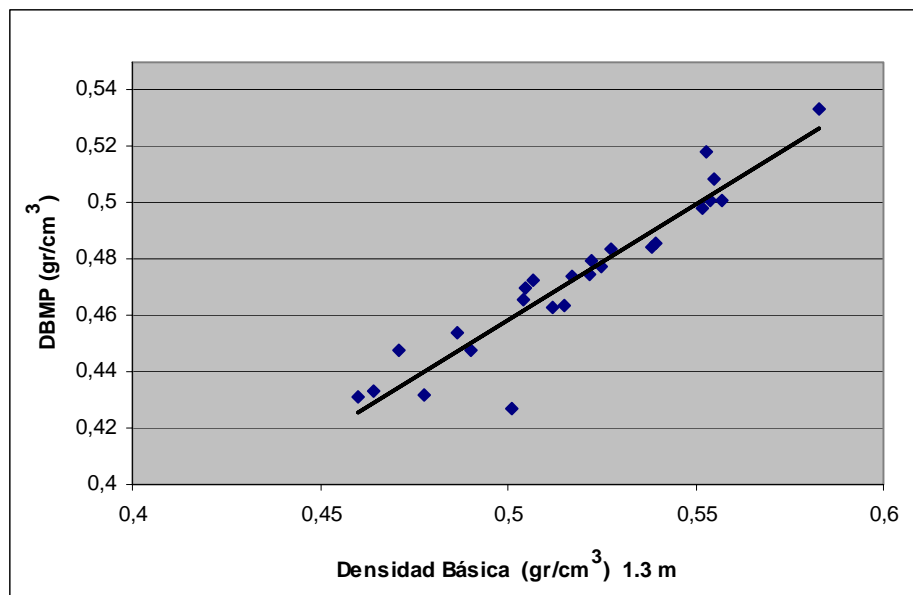
var 1	var 2	Correlación	p value	n
DMP Básica	DB Base	0.86747	0	25
DMP Básica	DB 1.3 m	0.94247	0	25
DMP Básica	DB 2 m	0.93768	0	25
DMP Básica	DB 4 m	0.95368	0	25
DMP Básica	DB 6 m	0.95623	0	25
DMP Básica	DB 8 m	0.93531	0	25
DMP Básica	DB 10 m	0.93732	0	25
DMP Básica	DB 12 m	0.94573	0	25
DMP Básica	DB 14 m	0.8768	0	25
DMP Básica	DB 16 m	0.84884	0	25
DMP Básica	DB 18 m	0.82152	0	25
DMP Básica	DB 20 m	0.76977	0.00001	24
DMP Básica	DB 22 m	0.82139	0.0001	16
DMP Básica	DB 24 m	0.86169	0.33882	3

Cuadro No. 6. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional en *E. dunnii* 10 años

A continuación se detallan los límites inferiores y superiores con diferentes grados de confianza, entre los cuales el parámetro de correlación se presenta a nivel poblacional.

Alt (m)	I inf 90	I Sup 90	I inf 95	I Sup 95	I inf 99	I Sup 99
Base	0.74961	0.93201	0.71868	0.9403	0.64901	0.95377
1.3	0.88727	0.97105	0.8721	0.97464	0.83682	0.98044
2	0.87819	0.96861	0.86189	0.9725	0.82405	0.97878
4	0.90875	0.97676	0.89631	0.97965	0.86723	0.98432
6	0.91365	0.97805	0.90185	0.98078	0.87422	0.98519
8	0.87371	0.96739	0.85685	0.97143	0.81777	0.97796
10	0.87751	0.96842	0.86112	0.97234	0.8231	0.97866
12	0.8935	0.97272	0.87912	0.97611	0.84561	0.98157
14	0.76619	0.93695	0.737	0.94466	0.671	0.95717
16	0.71691	0.92207	0.68267	0.93153	0.60612	0.94693
18	0.67001	0.90733	0.63132	0.9185	0.54573	0.93673
20	0.5789	0.88067	0.53138	0.89519	0.42816	0.9189
22	0.60742	0.92423	0.54936	0.93599	0.41911	0.95409

Gráfico No. 3. Correlación entre densidad básica a 1.3 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en *E. dunnii* 10 años

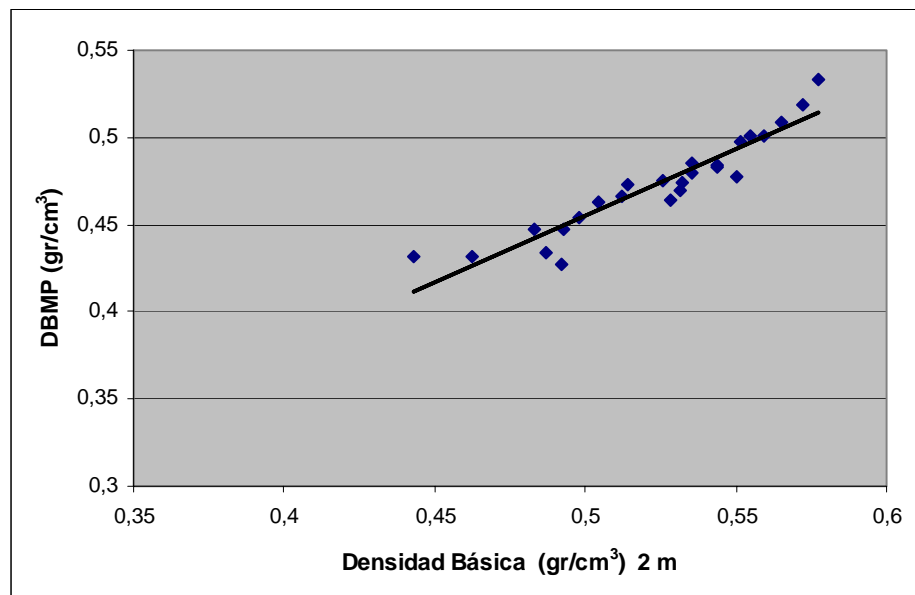


$$y = 0.823x + 0.0468$$

coeficiente de determinación = 0.8882

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 1.3 y 2 m de altura, dado que es una altura razonable en practicidad para la toma de medidas.

Gráfico No. 4. Correlación entre densidad básica a 2 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en *E. dunnii* 10 años



$$y = 0.76X + 0.075$$

coeficiente de determinación = 0.8793

Dadas las altas correlaciones observadas en ambos gráficos existe la posibilidad de realizar muestreos a dichas alturas de modo de realizar inferencias de la densidad media ponderada del árbol.

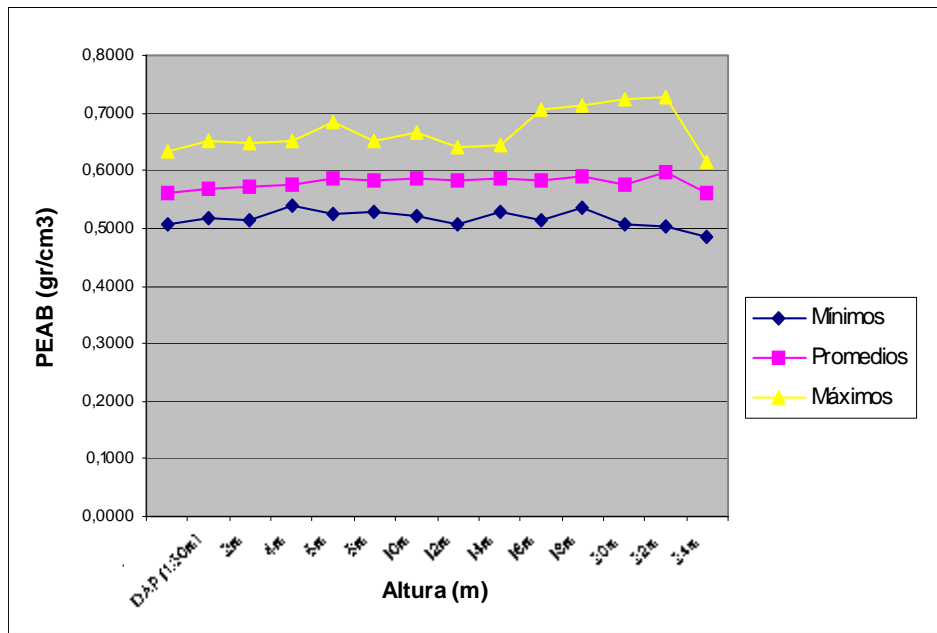
4.1.2. Procesamiento de datos en *E. dunnii* 12 años

A continuación se presenta un cuadro resumen en el cual se detalla información referente a la característica bajo estudio para dicha especie y edad.

Cuadro No. 7. Resumen de densidad básica en *E. dunnii* a los 12 años

Alt (m)	I Sup.	I Inf.	num. discos	desv. est.	Min.	Máx.	Promedio
Base	0.575	0.550	25	0.031	0.505	0.634	0.562
1.3	0.582	0.553	25	0.035	0.518	0.651	0.568
2	0.586	0.558	25	0.034	0.515	0.648	0.572
4	0.588	0.563	25	0.031	0.541	0.652	0.576
6	0.604	0.572	25	0.038	0.525	0.683	0.588
8	0.594	0.573	25	0.026	0.529	0.651	0.584
10	0.600	0.575	25	0.030	0.522	0.665	0.588
12	0.595	0.573	25	0.026	0.508	0.641	0.584
14	0.596	0.574	25	0.026	0.530	0.645	0.585
16	0.596	0.568	25	0.035	0.513	0.706	0.582
18	0.620	0.562	25	0.070	0.537	0.712	0.591
20	0.597	0.555	25	0.051	0.506	0.723	0.576
22	0.642	0.550	21	0.101	0.502	0.726	0.596
24	0.588	0.533	9	0.036	0.485	0.615	0.560

Gráfico No. 5. Valores mínimos, promedios y máximos de PEAB en *E. dunnii* de 12 años



4.1.2.1. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica

Cuadro No. 8. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* 12 años

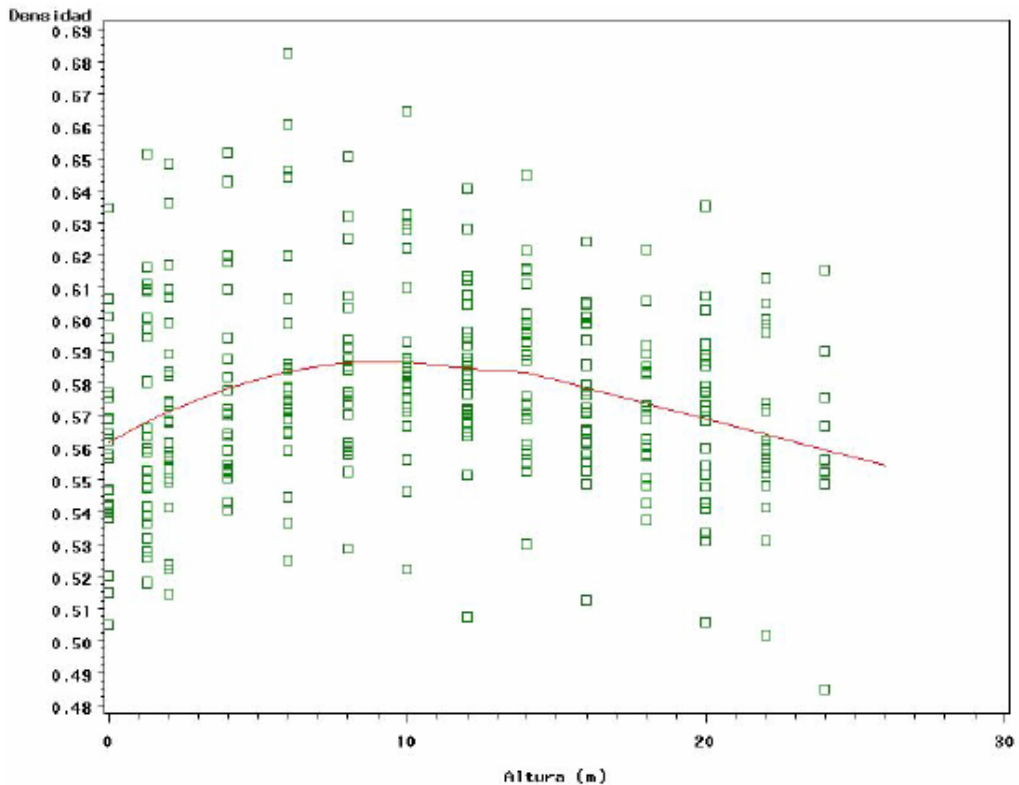
	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Modelo	1	0.02539	0.02539	78.15	<.0001
Error	23	0.00747	0.00032482		
Total	24	0.03286			

Observada la existencia de diferencias entre medias en el análisis de varianza, se realizan pruebas a fin de determinar cuál es el modelo que explica la variación de la densidad básica en función de la altura, el cual posibilita la estimación temprana de dicho parámetro.

4.1.2.2. Modelo de regresión para variación axial de la densidad básica

El modelo de regresión para variación axial de la densidad básica que se ajusto para *E. dunnii* a los 12 años de edad, se basa en polinomios segmentados. El mismo consta de una fase lineal y una cuadrática y el método calcula el punto de corte entre ambas.

Gráfico No. 6. Modelo de regresión para la variación axial en *E. dunnii* de 12 años



El método ajusta el modelo $a + bx + cx^2$ en la parte cuadrática , y en la lineal el modelo es $a + i + dx$, donde $a+i$ es el intercepto que le corresponde a la fase lineal. Los parámetros estimados y su nivel de significancia se describen continuación.

Modelo: Si altura < altura corte, densidad = $a + b * altura + c * altura^2$
 Si altura >= altura corte, densidad = $a + i + d * altura$
 Altura corte = altura donde se unen las fases cuadrática y lineal

4.1.2.3. Análisis de varianza para el modelo cuadrático – lineal

Cuadro No. 9. Análisis de varianza para el modelo cuadrático – lineal en *E. dunnii* 12 años

	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Modelo	4	0.0244	0.00609	7.04	<.0001
Error	319	0.2759	0.000865		
Total	323	0.3003			

Este análisis demuestra que el modelo cuadrático lineal explica la variación de la densidad básica en *E. dunnii* 12 años.

Cuadro No. 10. Parámetros estimados para el polinomio segmentado en *E. dunnii* 12 años

Parámetros	Estimación	Lim. Inf. 95%	Lim. Sup. 95%
a	0.5617	0.5528	0.5706
i	0.0551	0.0231	0.0871
b	0.00541	0.00159	0.00924
c	-0.00029	-0.0006	0.000021
d	-0.0024	-0.00407	-0.00074

A continuación se muestran ciertos parámetros de utilidad obtenidos en base a la aplicación del polinomio segmentado.

Cuadro No. 11. Parámetros del modelo cuadrático-lineal en *E. dunnii* 12 años

altura corte (m)	$(d-b)/2c$	13.466
altura máxima densidad (m)	$-b/2c$	9.328
densidad máxima promedio (gr/cm^3)	$a+b*altura+c*altura^2$	0.587

4.1.2.4. Cálculo del punto de muestreo representativo de todo el árbol

En esta etapa del trabajo se calcula el punto de muestreo representativo de la densidad básica media ponderada. Para esto se correlaciona la densidad básica en las diferentes alturas de muestreo con la densidad promedio ponderada de cada uno de los individuos. A partir de esto se calcula el coeficiente de correlación (r) y los valores de significancia para esta especie y edad.

Cuadro No. 12. Correlación entre las densidades básicas a diferentes alturas y la densidad básica media ponderada en *E. dunnii* 12 años

var 1	var 2	correlación	p value	n
DMP Básica	DB Base	0.60229	0.00144	25
DMP Básica	DB 1.3 m	0.66349	0.0003	25
DMP Básica	DB 2 m	0.63291	0.00069	25
DMP Básica	DB 4 m	0.66312	0.0003	25
DMP Básica	DB 6 m	0.64095	0.00056	25
DMP Básica	DB 8 m	0.68486	0.00016	25
DMP Básica	DB 10 m	0.66036	0.00033	25
DMP Básica	DB 12 m	0.65439	0.00039	25
DMP Básica	DB 14 m	0.64666	0.00048	25
DMP Básica	DB 16 m	0.56576	0.00396	24
DMP Básica	DB 18 m	0.61872	0.00165	23
DMP Básica	DB 20 m	0.51918	0.00933	24
DMP Básica	DB 22 m	0.76845	0.00012	19
DMP Básica	DB 24 m	0.82681	0.00598	6

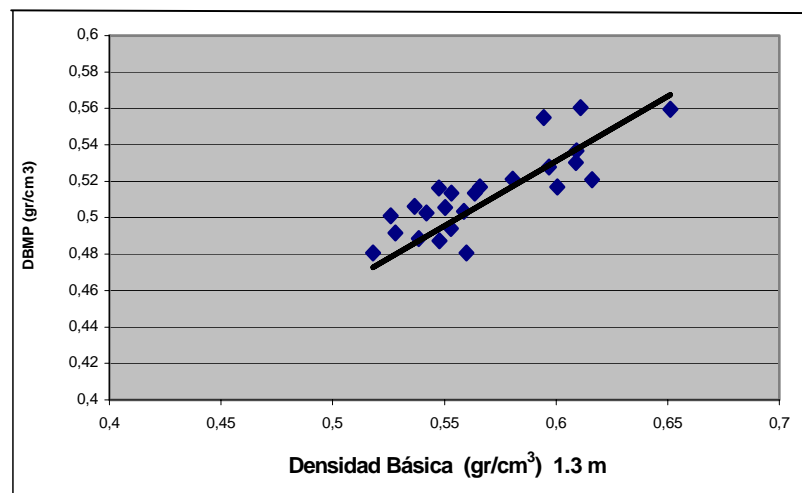
4.1.2.5. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional

A continuación se presenta un cuadro resumen en el cual se detalla información referente a la característica bajo estudio para dicha especie y edad.

Cuadro No. 13. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional

Alt (m)	I inf. 90	I Sup. 90	I Inf. 95	I Sup. 95	I Inf. 99	I Sup. 99
Base	0.33283	0.78081	0.27184	0.80568	0.14646	0.84714
1.3	0.4205	0.81767	0.3637	0.83873	0.24474	0.87363
2	0.37613	0.79941	0.31707	0.82238	0.19454	0.86055
4	0.41997	0.81745	0.36314	0.83854	0.24413	0.87348
6	0.38769	0.80424	0.32919	0.82671	0.20753	0.86402
8	0.45223	0.83025	0.39721	0.84998	0.28122	0.8826
10	0.41591	0.81581	0.35886	0.83708	0.2395	0.87231
12	0.40717	0.81226	0.34966	0.8339	0.22956	0.86977
14	0.39593	0.80765	0.33784	0.82977	0.21683	0.86647
16	0.27503	0.76169	0.21037	0.78907	0.07897	0.83469
18	0.34088	0.79715	0.27721	0.82143	0.14587	0.86145
20	0.21294	0.73254	0.14645	0.76282	0.01309	0.81352
22	0.54079	0.89121	0.48272	0.90632	0.3562	0.93029
24	0.46714	0.9517	0.36081	0.96245	0.12566	0.97712

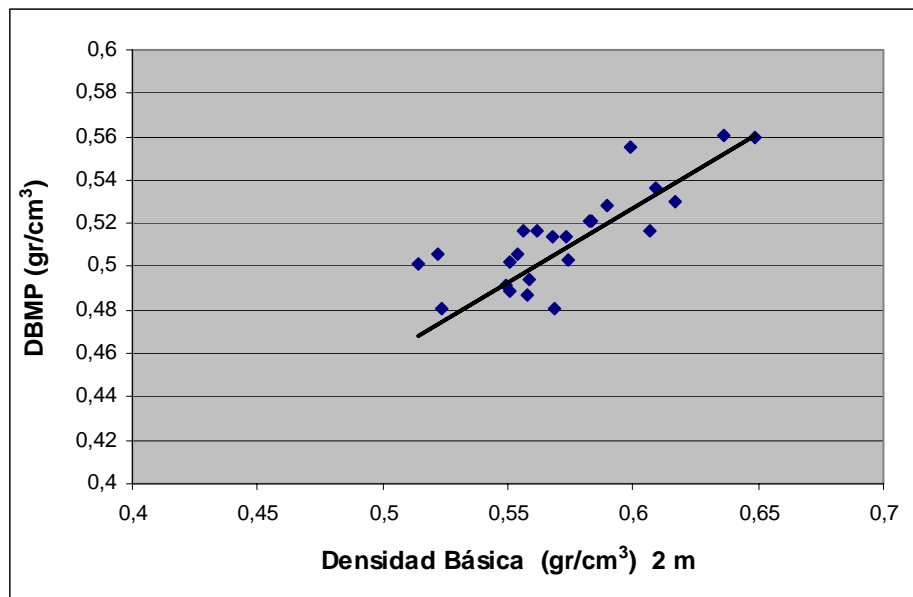
Gráfico No. 7. Correlación entre densidad básica a 1.3 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en *E. dunnii* 12 años



$$y = 0.701x + 0.1049$$

Coeficiente de determinación = 0.4402

Gráfico No. 8. Correlación entre densidad básica a 2 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en *E. dunnii* de 12 años



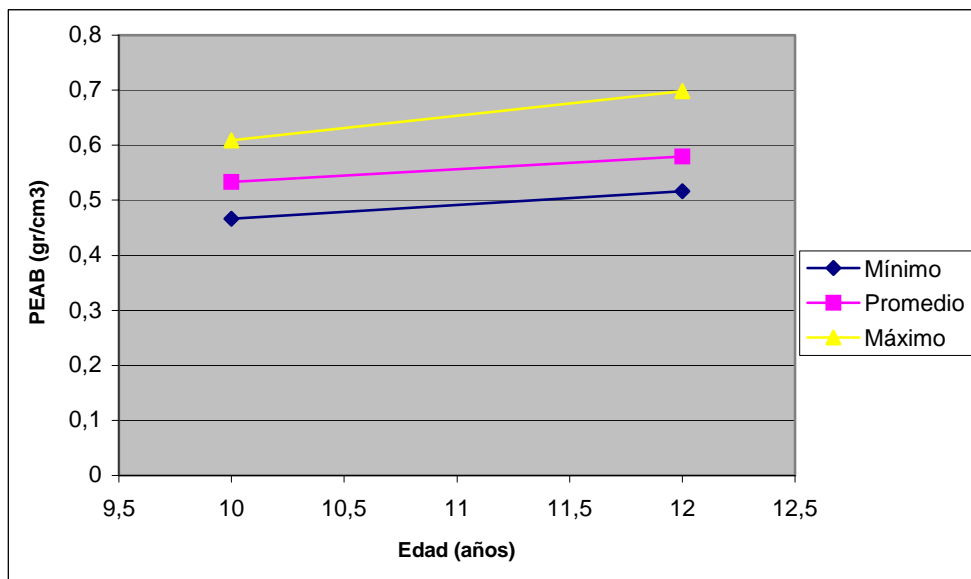
$$y = 0.6933X + 0.1114$$

Coeficiente de determinación = 0.4006

4.1.3. Variación axial de la densidad básica en función de la edad

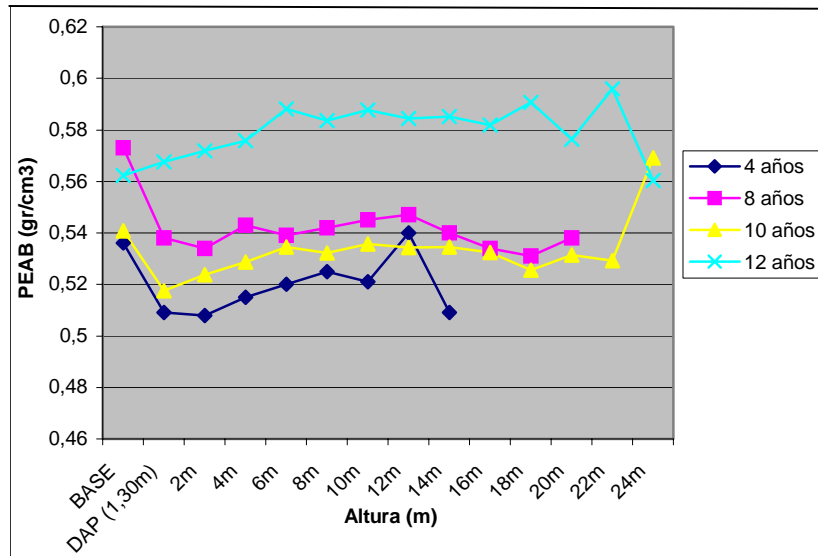
A continuación se presenta el estudio de los resultados de la comparación del peso específico aparente básico para ambas edades, como varían las densidades para árboles de 10 y 12 años, y las diferencias entre las variaciones axiales para dichas edades.

Gráfico No. 9. Promedio y rango de variación del peso específico aparente básico del árbol promedio, en *E. dunnii* entre los 10 y 12 años de edad



Observando la evolución de la densidad básica en *E. dunnii* entre los 10 y 12 años de edad se visualiza un incremento de 8.6% en dicha característica para el árbol promedio.

Gráfico No. 10. Evolución del peso específico aparente básico en *E. dunnii* en función de la altura a diferentes edades



El gráfico anterior incluye datos obtenidos por Schiavo (2005), referentes a la variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* a los cuatro y ocho años de edad.

Se observa una tendencia en el incremento de la característica bajo estudio con la edad, lo cual es respaldado por la mayoría de la bibliografía consultada.

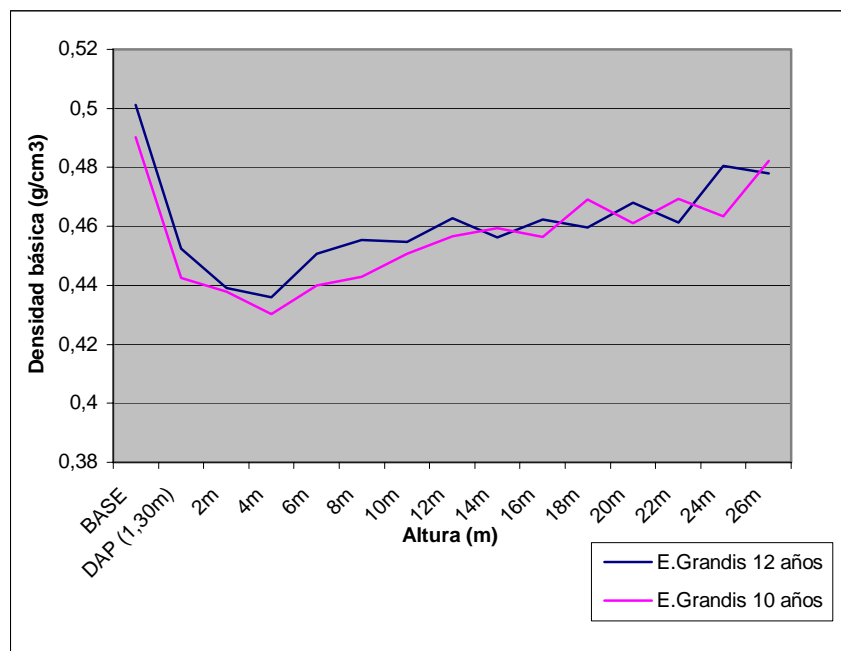
Para comprobar la eficiencia del muestreo en *E. dunnii* se estimó el tamaño mínimo de muestra requerido de acuerdo a los valores de variabilidad establecidos. En el cuadro N° 13 se puede observar el tamaño mínimo de muestra calculado para las dos edades en estudio.

Cuadro No. 14. Tamaño mínimo (n) de árboles requeridos, para representar la variación de la característica densidad básica, en la población en *E. dunnii*

<i>E.dunnii</i>	10 años	Coef. de Variación (%)	5,896
		tamaño mínimo (n)	9
	12 años	Coef. de Variación (%)	7,285
		tamaño mínimo (n)	14

4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS EN *E. grandis*

Gráfico No. 11. Variación axial de la densidad básica en *E. grandis* en función de la edad



Observando la evolución de la variación axial para la característica, en las edades bajo estudio, podemos determinar que no existen variaciones notorias entre los 10 y 12 años de edad, como se constató en *E. dunnii*.

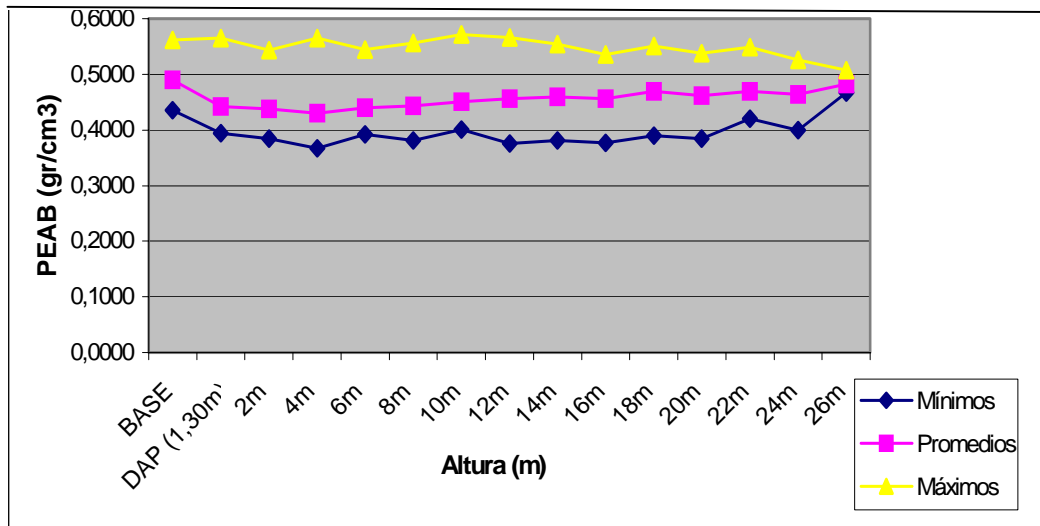
Al analizar la característica en función de la edad, se observan incrementos con la edad de los individuos muestreados, básicamente en los primeros 14 m, sin embargo, en el resto del fuste el comportamiento es confuso y no se observan diferencias claras en la densidad básica entre los estratos.

4.2.1. Procesamiento de datos en *E. grandis* 10 años

Cuadro No. 15. Resumen de la densidad básica en *E. grandis* 10 años

Alt (m)	L Sup.	L Inf.	num. discos	desv. est.	Min.	Máx.	Promedio
Base	0.504	0.477	25	0.033	0.436	0.562	0.490
1.3	0.458	0.427	25	0.037	0.394	0.565	0.443
2	0.452	0.424	25	0.034	0.385	0.544	0.438
4	0.447	0.414	25	0.040	0.367	0.565	0.430
6	0.454	0.426	24	0.034	0.392	0.544	0.440
8	0.456	0.430	25	0.032	0.381	0.557	0.443
10	0.466	0.436	25	0.036	0.401	0.571	0.451
12	0.472	0.442	25	0.036	0.376	0.566	0.457
14	0.472	0.447	25	0.031	0.382	0.554	0.459
16	0.471	0.442	25	0.035	0.376	0.536	0.457
18	0.483	0.455	25	0.035	0.390	0.551	0.469
20	0.474	0.448	25	0.032	0.384	0.538	0.461
22	0.482	0.456	23	0.030	0.420	0.548	0.469
24	0.483	0.444	14	0.034	0.400	0.527	0.464
26	0.538	0.427	3	0.022	0.467	0.508	0.482

Gráfico No.12. Valores mínimos, promedios y máximos de PEAB en función de la altura en *E. grandis* de 10 años



4.2.1.1. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica

Cuadro No. 16. Análisis de varianza para variación axial de la densidad básica en *E. grandis* 10 años

	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Pr > F
Modelo	1	0.01547	0.01547	40.3	<.0001
Error	23	0.00883	0.00038392		
Total	24	0.0243			

El análisis de varianza determina la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las densidades básicas medias a las distintas alturas de muestreo, sin embargo, no es posible ajustar un modelo que

explique el comportamiento de dicha característica para el estrato de *E. grandis* 10 años.

4.2.1.2. Calculo del punto de muestreo representativo de todo el árbol

En esta etapa se determinan las correlaciones existentes entre los valores de densidad básica en los diferentes puntos de muestreo y el valor de densidad básica media ponderada de cada uno de los individuos muestreados en el estrato de 10 años. De esta forma se obtienen los coeficientes de correlación (r) y los valores de significancia, los cuales permiten determinar el punto óptimo de muestreo.

Cuadro No. 17. Correlación entre las diferentes alturas y el promedio ponderado de la densidad básica en *E. grandis* 10 años

var 1	var 2	correlación	p value	n
DMP Básica	DB Base	0.71197	0.00007	25
DMP Básica	DB 1.3 m	0.90776	0	25
DMP Básica	DB 2 m	0.9234	0	25
DMP Básica	DB 4 m	0.87818	0	25
DMP Básica	DB 6 m	0.93453	0	24
DMP Básica	DB 8 m	0.82144	0	25
DMP Básica	DB 10 m	0.87373	0	25
DMP Básica	DB 12 m	0.81181	0	25
DMP Básica	DB 14 m	0.80598	0	25
DMP Básica	DB 16 m	0.77482	0.00001	25
DMP Básica	DB 18 m	0.82368	0	25
DMP Básica	DB 20 m	0.77517	0.00001	25
DMP Básica	DB 22 m	0.58298	0.00351	23
DMP Básica	DB 24 m	0.88272	0.00003	14
DMP Básica	DB 26 m	0.99545	0.06075	3

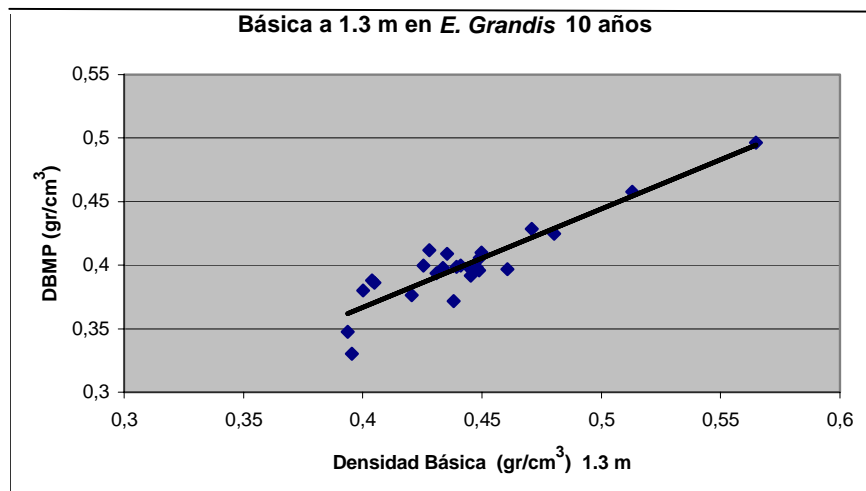
4.2.1.3. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional

En el siguiente cuadro se exponen los límites inferiores y superiores con diferentes grados de confianza, entre los cuales el parámetro de correlación se presenta a nivel poblacional.

Cuadro No. 18. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional en *E. grandis* 10 años

Alt (m)	I inf. 90	I Sup. 90	I Inf. 95	I Sup. 95	I Inf. 99	I Sup. 99
Base	0.49334	0.84599	0.44086	0.86403	0.32924	0.89377
1.3	0.82231	0.95317	0.79933	0.95894	0.74669	0.96827
2	0.85132	0.96127	0.83175	0.96606	0.7866	0.97379
4	0.76866	0.93768	0.73973	0.9453	0.67428	0.95767
6	0.87024	0.96752	0.85252	0.97163	0.81132	0.97825
8	0.66988	0.90728	0.63117	0.91846	0.54555	0.9367
10	0.76071	0.93533	0.73094	0.94322	0.66371	0.95605
12	0.65362	0.90203	0.61345	0.91382	0.52492	0.93306
14	0.64386	0.89885	0.60283	0.91099	0.5126	0.93084
16	0.59253	0.88162	0.54721	0.89572	0.4487	0.91883
18	0.67367	0.9085	0.63531	0.91954	0.55039	0.93754
20	0.59309	0.88181	0.54783	0.89589	0.44939	0.91897
22	0.29051	0.77582	0.22478	0.80237	0.0907	0.8463
24	0.71236	0.95484	0.66234	0.96251	0.545	0.97399

Gráfico No. 13. Correlación entre densidad básica a 1.3 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en *E. grandis* 10 años

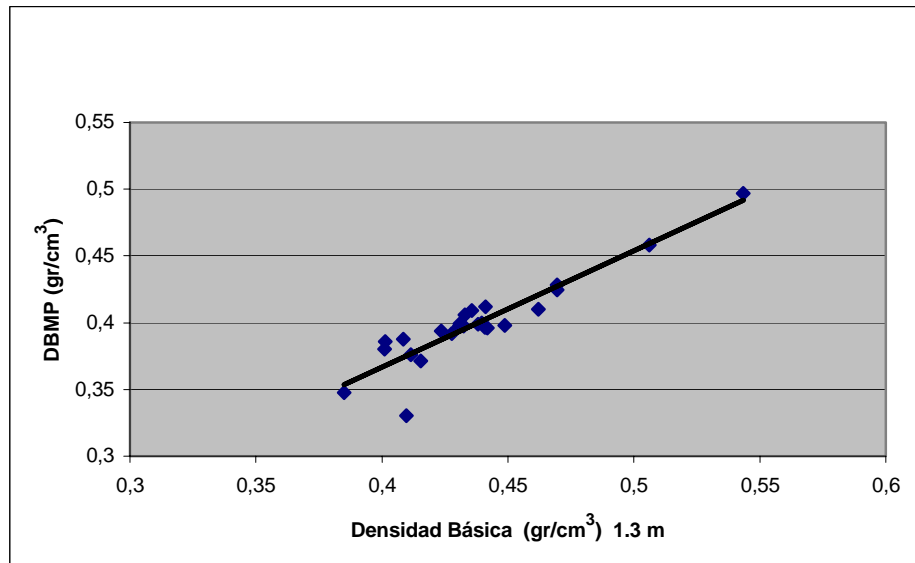


$$y = 0.7766X + 0.056$$

coeficiente de determinación = 0.824

Según los resultados, se observan altas correlaciones y significancias en la mayoría de las alturas muestreadas; por lo tanto, para la evaluación del punto de muestreo, se tomó como criterio los 1.3 y 2 m de altura, por ser prácticas para obtener las mediciones.

Gráfico No. 14. Correlación entre densidad básica a 2 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en *E. grandis* 10 años



$$y = 0.87X + 0.0188$$

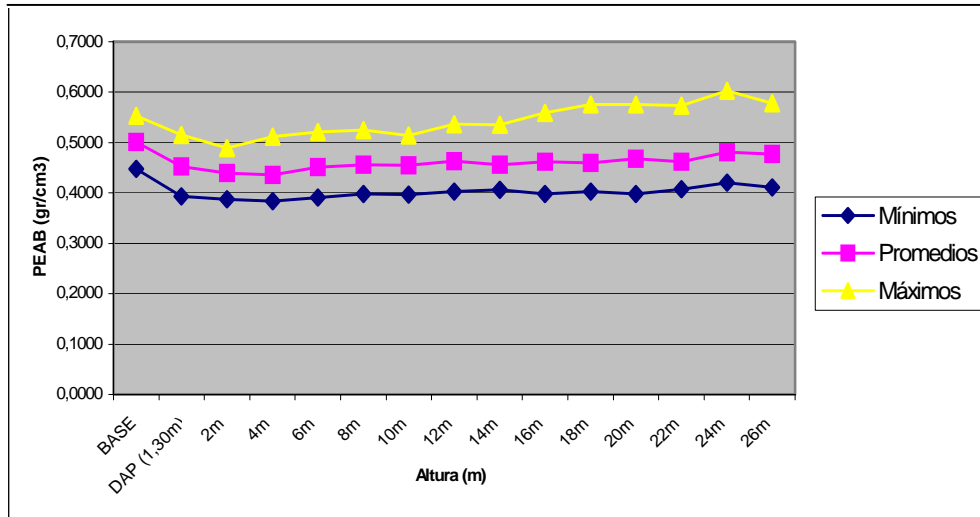
coeficiente de determinación = 0.8522

4.2.2. Procesamiento de datos en *E. grandis* 12 años

Cuadro No. 19. Resumen de la densidad básica en *E. grandis* 12 años

Alt (m)	I Sup.	I Inf.	num. discos	desv. est.	Min.	Máx.	Promedio
Base	0.513	0.489	25	0.030	0.448	0.554	0.501
1.3	0.463	0.441	25	0.026	0.394	0.515	0.452
2	0.450	0.428	25	0.026	0.387	0.490	0.439
4	0.448	0.424	25	0.030	0.383	0.512	0.436
6	0.466	0.436	25	0.036	0.391	0.521	0.451
8	0.469	0.442	25	0.033	0.398	0.524	0.455
10	0.467	0.442	25	0.030	0.397	0.514	0.455
12	0.478	0.448	25	0.037	0.403	0.537	0.463
14	0.472	0.441	25	0.038	0.407	0.536	0.456
16	0.478	0.446	25	0.038	0.397	0.559	0.462
18	0.476	0.443	25	0.039	0.402	0.576	0.460
20	0.486	0.450	25	0.044	0.397	0.576	0.468
22	0.479	0.444	23	0.040	0.408	0.573	0.461
24	0.503	0.458	15	0.041	0.420	0.603	0.481
26	0.512	0.444	10	0.047	0.411	0.578	0.478

Gráfico No.15. Valores mínimos, promedios y máximos de PEAB en función de la altura en *E. grandis* de 12 años



4.2.2.1. Análisis de varianza para la variación axial de la densidad_básica

Cuadro No. 20. Análisis de varianza para la variación axial de la densidad básica en *E. grandis* 12 años

	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Modelo	1	0.01134	0.01134	33.9	<.0001
Error	23	0.00769	0.00033436		
Total	24	0.01903			

Si bien el análisis de varianza determina la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la densidad básica, no es posible ajustar un modelo que explique la variación axial de la característica bajo estudio.

4.2.2.2. Calculo del punto de muestreo representativo de todo el árbol

Cuadro No. 21. Correlación entre las diferentes alturas y el promedio ponderado de la densidad básica en *E. grandis* 12 años

var 1	var 2	correlación	p value	n
DMP Básica	DB Base	0.51454	0.00896	25
DMP Básica	DB 1.3 m	0.85486	0	25
DMP Básica	DB 2 m	0.87336	0	25
DMP Básica	DB 4 m	0.84685	0	25
DMP Básica	DB 6 m	0.90452	0	25
DMP Básica	DB 8 m	0.87493	0	25
DMP Básica	DB 10 m	0.8988	0	25
DMP Básica	DB 12 m	0.89084	0	25
DMP Básica	DB 14 m	0.86678	0	25
DMP Básica	DB 16 m	0.92994	0	25
DMP Básica	DB 18 m	0.88952	0	25
DMP Básica	DB 20 m	0.86017	0	25
DMP Básica	DB 22 m	0.92077	0	23
DMP Básica	DB 24 m	0.79	0.00046	15
DMP Básica	DB 26 m	0.75064	0.01236	10

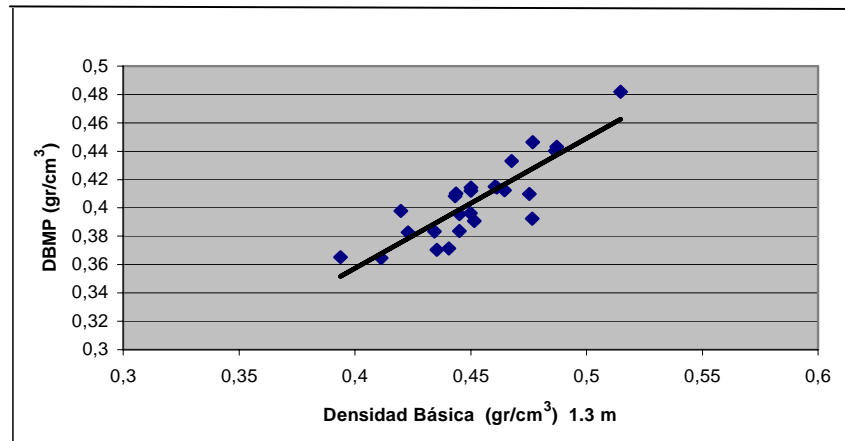
4.2.2.3. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional

Cuadro No. 22. Intervalos de confianza para los valores de correlación a nivel poblacional en *E. grandis* 12 años

Alt (m)	I inf. 90	I Sup. 90	I Inf. 95	I Sup. 95	I Inf. 99	I Sup. 99
Base	0.21088	0.72377	0.14589	0.75422	0.0156	0.80548
1.3	0.72742	0.9253	0.69422	0.93438	0.61983	0.94915
2	0.76005	0.93513	0.73021	0.94305	0.66283	0.95592
4	0.71347	0.92101	0.67889	0.93059	0.60164	0.94619
6	0.81637	0.95149	0.79271	0.95745	0.73858	0.96712
8	0.76285	0.93596	0.73331	0.94378	0.66655	0.95649
10	0.80591	0.94851	0.78106	0.95483	0.72436	0.96508
12	0.79143	0.94434	0.76497	0.95116	0.70479	0.96223
14	0.74838	0.93164	0.71732	0.93998	0.64738	0.95352
16	0.86357	0.96463	0.84547	0.96901	0.80361	0.97608
18	0.78905	0.94365	0.76233	0.95055	0.70159	0.96176
20	0.73673	0.92813	0.70448	0.93688	0.63204	0.9511
22	0.84148	0.96123	0.81966	0.96624	0.76907	0.97427
24	0.53461	0.91318	0.46654	0.92709	0.31656	0.94834
26	0.33875	0.92109	0.22946	0.93729	0.00079	0.96017

Si bien las correlaciones observadas a 1.3 y 2 m no son las mas elevadas, el análisis se centra en dichos puntos debido a la facilidad que presentan para realizar los muestreos.

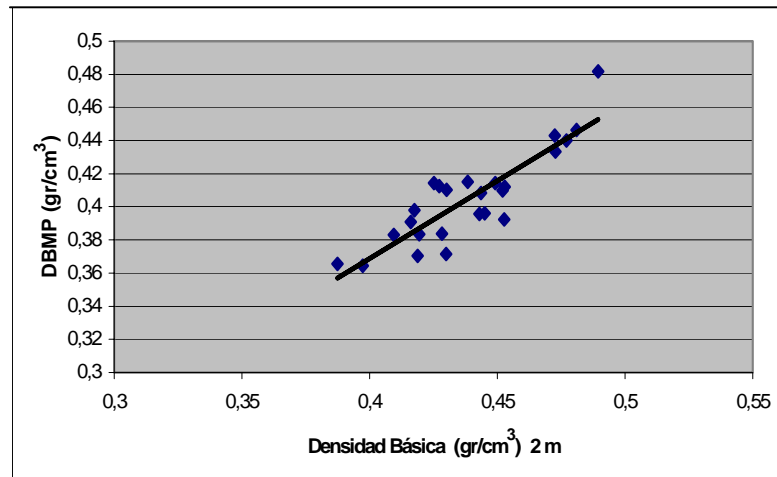
Gráfico No. 16. Correlación entre densidad básica a 1.3 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en *E. grandis* 12 años



$$y = 0.9158X - 0.0088$$

coeficiente de determinación = 0.7308

Gráfico No. 17. Correlación entre densidad básica a 2 m y la densidad básica media ponderada de cada individuo en *E. grandis* 12 años



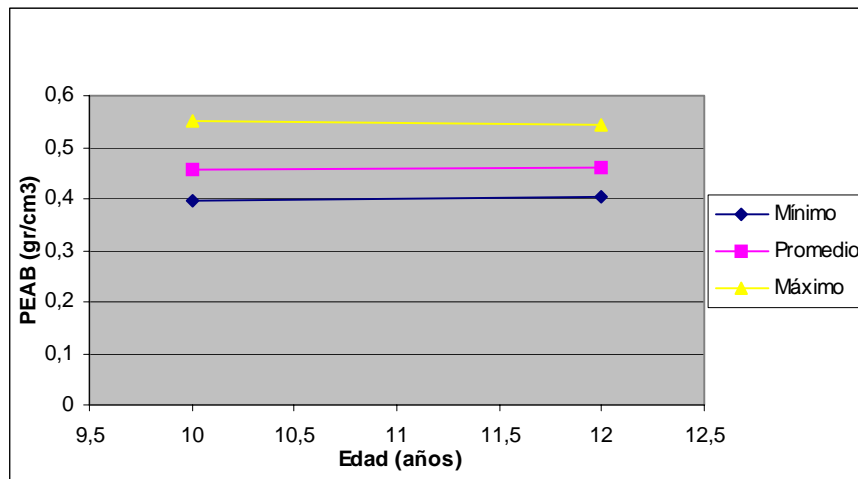
$$y = 0.937X - 0.0071$$

coeficiente de determinación = 0.7628

4.2.2.4. Variación axial del peso específico aparente básico en función de la edad

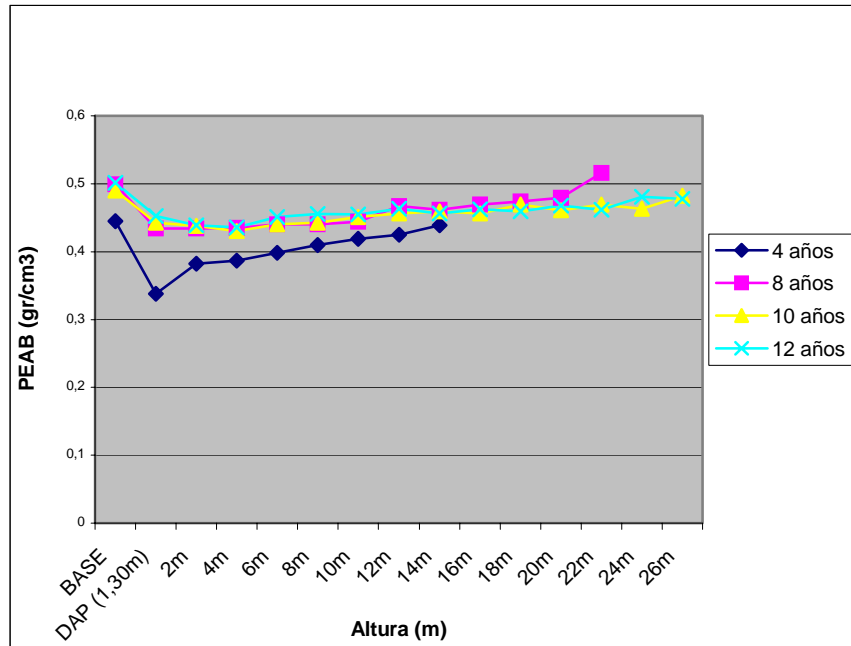
Al trabajar con dos estratos de edades podemos dilucidar como varía la densidad básica según la edad de los individuos. A continuación se presenta un gráfico con las variaciones de densidades básicas según alturas del árbol promedio de cada estrato analizado en este estudio.

Gráfico No. 18. Promedio y rango de variación del peso específico aparente básico del árbol promedio, en *E. grandis* entre los 10 y 12 años de edad



Observando el gráfico anterior, y analizando la densidad media ponderada para cada uno de los estratos bajo estudio, podemos concluir que el incremento de la característica en función de la edad no presenta gran magnitud, alcanzando tan solo 1,25 %.

Gráfico No. 19. Evolución del peso específico aparente básico en *E. grandis* en función de la altura a diferentes edades



En el gráfico anterior se presenta el comportamiento de la densidad básica en función de la altura a diferentes edades, no observándose un incremento de la característica con la edad como afirma la mayoría de la bibliografía consultada.

Cuadro No. 23. Tamaño mínimo (n) de árboles requeridos, para representar la variación de la característica densidad básica, en la población, en *E. grandis*

<i>E. grandis</i>	10 años	Coef. de Variación (%)	7,960
		tamaño mínimo (n)	17
	12 años	Coef. de Variación (%)	6,944
		tamaño mínimo (n)	13

Cuadro No. 24. Resumen densidad básica media ponderada para las especies y edades bajo estudio

			DMP básica
<i>E. dunnii</i>	12 años	Media	0.508
		Desv.est	0.037
		C.V	7.285
	10 años	Media	0.473
		Desv.est	0.028
		C.V	5.896
<i>E. grandis</i>	12 años	Media	0.405
		Desv.est	0.028
		C.V	6.944
	10 años	Media	0.400
		Desv.est	0.032
		C.V	7.960

En el cuadro anterior se determinan diferencias para la densidad básica media ponderada en cuanto a especies y estratos de edades.

Los bajos valores de coeficiente de variación registrados están dados, básicamente, por la homogeneidad del material experimental y un adecuado tamaño de muestra.

4.3. CORRELACION ENTRE DENSIDAD BASICA MEDIA PONDERADA Y DENSIDAD VERDE MEDIA PONDERADA

El objetivo de analizar esta correlación esta dado básicamente por la posibilidad que ofrece, en caso de ser elevada, de realizar inferencias acerca de la densidad básica a partir de valores de densidad en verde. Esto implicaría ahorros en recursos y tiempo, básicamente en las etapas de secado de las muestras.

4.3.1. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada, a nivel muestral

Cuadro No. 25. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada, a nivel muestral

	Correlación	P value
<i>E. dunnii</i> 12 años	0.878999	-0.00000007
<i>E. grandis</i> 12 años	0.77187	-0.00006218
<i>E. dunnii</i> 10 años	0.78822	-0.00002886
<i>E. grandis</i> 10 años	0.7979	-0.00001773

Observando el cuadro anterior podemos determinar valores superiores de correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada para el estrato de *E. dunnii* 12 años, mientras que en los restantes grupos de especies y edades los valores son inferiores y similares entre sí.

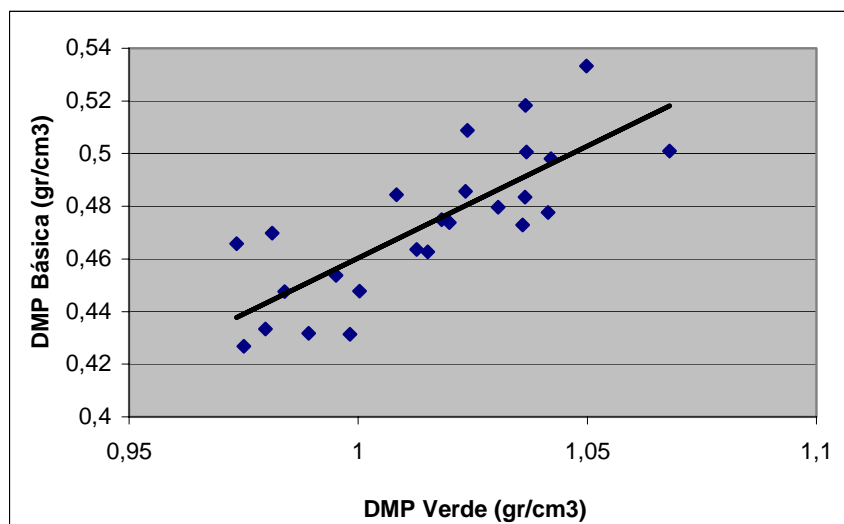
4.3.2. Intervalo de confianza para la correlación a nivel poblacional

Los valores de correlación expuestos anteriormente fueron obtenidos en base a las muestras, mientras que a continuación se presentan los intervalos de confianza entre los cuales la correlación se presenta a nivel poblacional.

Cuadro No. 26. Intervalo de confianza para la correlación a nivel poblacional

	li 90 %	ls 90 %	li 95 %	ls 95 %	li 99 %	ls 99 %
<i>E. dunnii</i> 12 años	0.7701	0.93811	0.74133	0.94567	0.67621	0.95796
<i>E. grandis</i> 12 años	0.58776	0.87998	0.54206	0.89426	0.44283	0.91768
<i>E. dunnii</i> 10 años	0.61442	0.88906	0.57088	0.90232	0.47577	0.92403
<i>E. grandis</i> 10 años	0.6304	0.8944	0.58821	0.90706	0.49571	0.92775

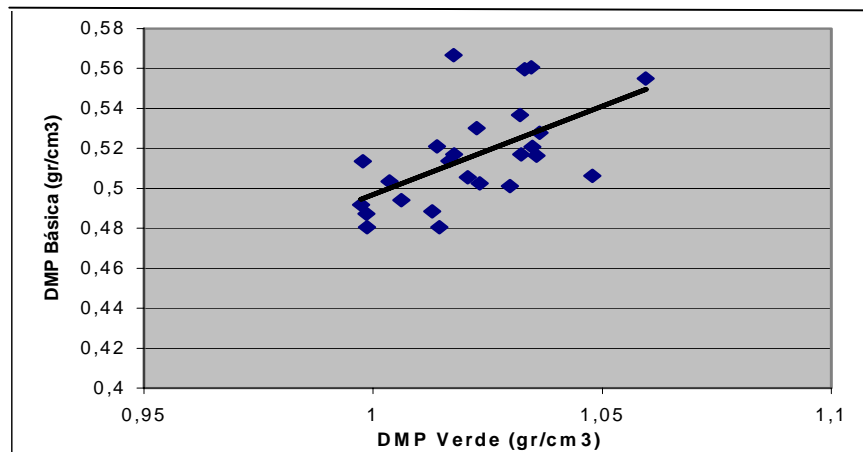
Gráfico No. 20. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada en *E. dunnii* 10 años



$$y = 0.8517x - 0.3914$$

coeficiente de determinación = 0.6213

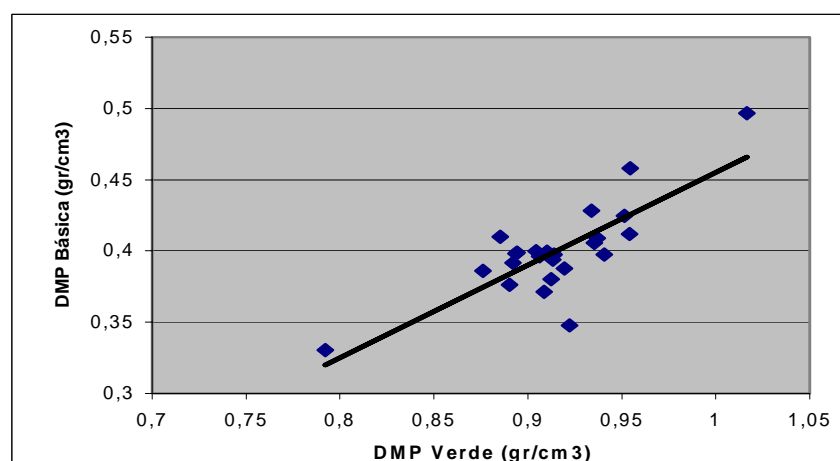
Gráfico No. 21. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada en *E. dunnii* 12 años



$$y = 0.8828x - 0.3859$$

coeficiente de determinación = 0.3354

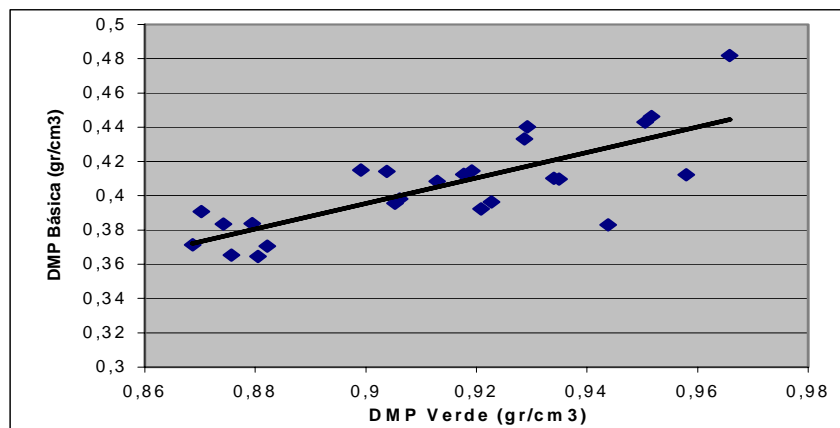
Gráfico No. 22. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada en *E. grandis* 10 años



$$y = 0.6517x - 0.1965$$

coeficiente de determinación = 0.6366

Gráfico No. 23. Correlación entre densidad básica media ponderada y densidad verde media ponderada en *E. grandis* 12 años



$$y = 0.7432x - 0.2733$$

coeficiente de determinación = 0.5958

Observando los gráficos anteriores podemos determinar que los valores del coeficiente de determinación (R^2) son bajos, lo cual indica cierta dispersión entre los datos registrados.

Cuadro No. 27. Resumen densidad verde media ponderada para las especies y edades bajo estudio

			DMP verde
<i>E. dunnii</i>	12 años	Media	1.011
		Desv.est	0.055
		C.V	5.466
	10 años	Media	1.015
		Desv.est	0.026
		C.V	2.543
<i>E. grandis</i>	12 años	Media	0.913
		Desv.est	0.029
		C.V	3.202
	10 años	Media	0.915
		Desv.est	0.039
		C.V	4.259

5. DISCUSION

5.1. VARIACIÓN AXIAL DE LA DENSIDAD BÁSICA

La densidad básica de la madera varía desde la base del árbol hacia la copa, existiendo, en ciertos casos, modelos que explican dicha variación.

El patrón de variación axial de la densidad básica en *E. grandis*, para ambas edades indica que es mayor en la base, decreciendo hasta los cinco metros aproximadamente, para finalmente aumentar hacia la copa. Esto coincide con el modelo N° 2, expresado por Panshin y De Zeew, citados por Lopes y Garcia (2002), quienes señalan este mismo patrón de variación del peso específico aparente básico en altura. Varios autores señalan el comportamiento explicado anteriormente, tales como National Timber Research Institute (1980), Barrichello et al. (1982), Lausberg et al. (1995), Achugar y Scaglione (2003), Finocchietti (2005).

En cuanto a los resultados obtenidos en *E. dunnii*, la característica bajo estudio se mantuvo relativamente constante, para ambas edades, a lo largo del fuste. Dicho comportamiento es consistente con el trabajo realizado por Fernández y Ros (2002).

5.2. VARIACIÓN DE LA DENSIDAD BÁSICA EN FUNCIÓN DE LA EDAD

Al analizar la variación de la densidad básica en *E. dunnii* y *E. grandis* se verifican incrementos en la característica desde los 10 a los 12 años.

Observando la evolución de la característica en *E. grandis* se registraron incrementos de 1.25% entre dicho rango de edades. Dicho comportamiento es avalado por la mayoría de la bibliografía consultada, Ferreira et al. (1979), Bianchi y Dibarboure (1993), De Asis Ribeiro y Zani (1993), López y Staffieri (2003), Finocchietti (2005).

Es posible que el leve aumento registrado en la densidad básica sea explicado por la reducción en las tasas de incremento o por la estabilización en la característica que ocurre a cierta edad, tal como afirman Centurión y Llano (1995), Trugilho et al. (1997).

Al analizar la evolución de la densidad básica en *E. dunnii* entre los 10 y 12 años se constataron aumentos de 7.4% en función de la edad, dicha tendencia coincide con lo afirmado por López y Staffieri (2003), Backman y García de León (2003).

5.3. APROXIMACIÓN AL PUNTO ÓPTIMO DE MUESTREO

Con el objetivo de determinar un punto de muestreo representativo de la característica bajo estudio, luego del análisis realizado, se observaron elevadas correlaciones entre la densidad básica media ponderada y las densidades básicas a diferentes alturas de muestreo para ambas especies y edades. Además no se constataron diferencias significativas entre ellas, por lo cual se centró el estudio en 1.30 y 2 m por ser alturas prácticas para la obtención de

muestras. La utilización de dichos puntos de muestreo es avalada por altos coeficientes de determinación en cada uno de los estratos analizados. Estas alturas muestreo, coinciden con las propuestas por Schiavo (2005), Finocchietti (2005).

5.4. CORRELACIÓN DENSIDAD BÁSICA MEDIA PONDERADA – DENSIDAD VERDE MEDIA PONDERADA

Al analizar dichas correlaciones se obtuvieron valores superiores en *E. dunnii* 12 años, alcanzando 0.88, mientras que para los restantes estratos de especies y edades dicha correlación se situó por debajo de 0.80. Además las correlaciones en los cuatro estratos presentaron significancia, no obstante los valores del coeficiente de determinación resultaron bajos, desde 0.3 hasta 0.6.

6. CONCLUSIONES

Al analizar la variación axial de la densidad básica a través del análisis de varianza, se observan diferencias significativas en todos los estratos bajo estudio, sin embargo, solo es posible explicar dicha variación mediante un modelo estadístico en *E. dunnii* 12 años. En este caso el modelo que ajusta se trata de un polinomio segmentado, el cual posee inicialmente una fase cuadrática y posteriormente una lineal.

Con relación a la variación de la característica bajo estudio en función de la edad, los resultados obtenidos muestran un aumento del 1.25 % en la densidad básica media ponderada, en *E. grandis*, desde los 10 a los 12 años. En el caso de *E. dunnii* se observan incrementos superiores, 7.4%, para dicho rango de edades.

En referencia al punto óptimo de muestreo, se observaron altas correlaciones en la mayoría de los puntos estudiados a lo largo del fuste, no existiendo diferencias significativas entre ellas. Dicha situación se presenta para todos los estratos de especies y edades. Es por esto que se proponen las alturas de 1.3 y 2 m como puntos óptimos de muestreo debido a la practicidad que presentan.

Estudiando la correlación entre la densidad básica media ponderada y la densidad verde media ponderada, se determinaron valores altos en todos los estratos, aunque superiores para *E. dunnii* 12 años. Sin embargo, los coeficientes de determinación expresan escaso ajuste en todos los casos.

Sería interesante realizar trabajos similares a este de forma de profundizar los estudios en cuanto a la relación entre la densidad en verde y

básica. Una posible investigación a futuro, estaría dada por determinar la edad aproximada de reducción de tasas de incremento o estabilización de la densidad básica, para las especies bajo estudio. En relación al punto óptimo de muestreo, sería de gran utilidad intensificar los estudios en la troza basal.

7. RESUMEN

Se estudió la variación axial de la densidad básica en *E. dunnii* y *E. grandis*, a los 10 y 12 años, obteniendo discos de una pulgada de espesor cada dos metros, desde la base hasta altura comercial, en árboles co-dominantes del rodal. Posteriormente se calculó densidad básica y densidad en verde a partir de volumen saturado, peso anhidro y saturado, siguiendo la metodología empleada por la norma TAPPI T258 om-94. Analizando tendencias y ajustando modelos matemáticos, únicamente fue posible establecer un modelo de variación axial de la densidad básica para el estrato de *E. dunnii* 12 años. La densidad básica aumentó con la edad entre los 10 a los 12 años, observándose incrementos superiores en *E. dunnii*. Basándose en correlaciones se realizó una aproximación al punto óptimo de muestreo. Es posible inferir que para todos los estratos, los puntos de muestreo más recomendables son 1.30 y 2 m. Estudiando la correlación entre densidad básica y en verde se determinaron valores altos en todos los estratos, aunque los valores de R^2 fueron bajos.

Palabras clave: *Eucalyptus dunnii*; *Eucalyptus grandis*; densidad básica; variación axial.

8. SUMMARY

Axial basic density variation was studied in *E. grandis* and *E. dunnii* at 10 and 12 years, extracting discs of one inch thickness every two meters, from the base up to commercial height of codominant trees. After was calculated basic density and green density from the saturated volume, dried weight and saturated following the TAPPI T258 om-94 standards. The study of tendency and mathematical models only allowed to establish a model of axial variation of the basic density for the group of *E. dunnii* 12 years. Basic density grew with age between the 10th and 12th year, with bigger increments in *E. dunnii*. An approach to the optimal point of sampling was made based in correlations. It is possible to believe that, for all groups, the best points of sampling are 1.3 m and 2 m. The correlation between basic density and green density showed high values in all groups, though the values of R^2 were low.

Keywords: *Eucalyptus dunnii*; *Eucayptus grandis*; basic density; axial variation.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. ACHUGAR LAGUARDIA, L.A.; SCAGLIONE SANSON, G. 2003. Evaluación de propiedades de la madera en clones de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía. 97 p.
2. 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, Facultad de Agronomía. 59 p.
3. BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1988. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la Republica. 966 p.
4. BRASIL, M.A.M.; ARRUDA VEIGA, R.A.; FERREIRA, M. 1977. Variacao da densidade basica nas seccoos transversais do caule da base do tronco para a copa de Eucalipto. IPEF. 15: 73-82.
5. BRUSSA, C. 1994. Eucalyptus. Montevideo, Hemisferio Sur. 328 p.
6. CENTURION, C.; LLANO, L. 1993. Peso específico básico del *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 78 p.
7. CORONEL, C. 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. p. 187.

8. DE MELLO, J.C.; FERNÁNDEZ, R. 2000. Aptitud papelera en cuatro especies de *Eucalyptus* (*E. grandis* W. Hill ex Maiden, *E. dunnii* Maiden, *E. viminalis* Labillardière y *E. badjensis* Beuzev y Welch). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 67 p.
9. FERNÁNDEZ, V.C.; ROS A.C. 2000. "Caracterización anatómica de dos especies de *Eucalyptus* (*Eucalyptus dunnii* Maiden y *Eucalyptus badjensis* Beuzev y Welch). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. p. 60.
10. FERREIRA, C.A.; DE FREITAS, M.; FERREIRA, M. 1979. Densidade basica da madeira de plantacoes comerciais de Eucaliptos, na regio de Mogi-Guacú (S.P). IPEF. 18: 106-117.
11. FINOCCHIETTI, S. 2005. Estudio de la variación axial de la densidad de la madera de *Eucalyptus grandis* hill (ex Maiden) para la determinación del punto de muestreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. p. 118.
12. GEA, L.D.; MC CONNOCHIE, R. 1997. Genetic parameters for growth and wood density traits in *Eucalyptus nitens* in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science. 27 (3): 237 – 244.
13. IGARTUA, D.V.; RIVERA, S.M.; MONTERUBBIANESI, M.G.; MONTEOLIVA, S.E.; FARINA, S.; CARRANZA, S.L.;

VILLEGAS, M.S. 2000. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. – Variación de la densidad básica y la longitud de fibra en una estación del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. s.n.t. s.p.

14. 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. no. 191: 21-27.
15. LOPES, A.; GARCIA, J.N. 2002. Densidade basica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padroes de casca apresentadas pela populacao. Scientia Forestalis. 62: 13-23.
16. MALAN, F.S.1991. Variation association and inheritance of juvenile wood properties of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. South African Forestry Journal. no. 157: 16-23.
17. _____; HOON, M. 1992. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. South African Forestry Journal. no. 163: 13-20.
18. MARCO, M.A.; LOPEZ, J.A. 1995. Performance of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* in the Mesopotamia region, Argentina. In: CRC for Temperate Hardwood Forestry IUFRO (1995, Hobart, Australia). Genetic, environmental and silvicultural effects. s.n.t. pp. 40-45.

19. MORAES, 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*. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts (1997, Salvador, BR). Proceedings. s.n.t. v.3, pp. 43-46.
20. OLIVER, G. 1985. Los *Eucalyptus* en Argentina. CIEF. Publicación técnica no. 1. 27 p.
21. PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. 2000. Características da madeira de algumas especies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo. EMBRAPA Florestas. Documentos no. 38. 113 p.
22. RAYMOND, C.A. 1995. Genetic control of wood and fibre traits in *Eucalyptus*. In: Conference Eucalypt Plantations; Improving Fibre Yield and Quality (1995, Hobart, Australia). Proceedings papers. s.l., IUFRO. pp. 49-51.
23. REPETTI, R. 1987. Situación y aptitud celulósica del eucalipto en Argentina. In: Jornadas del Mes Forestal de Entre Ríos (1987, Entre Ríos). Memorias, INTA-INFONA. pp. 1-8.
24. RIBEIRO, F.A.; ZANI, J.F. 1993. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedencias de *Eucalyptus spp.* IPEF. 46: 76-85.

25. RODRÍGUEZ, G.; MARTINEZ, J.; MANTERO, C.; SAUER C.; PEPELESCOV, M. 2002. Caracterización físico – mecánica de la madera de una población de *Eucalyptus dunnii* Maiden cultivado en Uruguay. In: Jornadas Sul – Americanas de Engenharia Estrutural (2002, Brasilia, DF, BR). Memorias. s.n.t. s.p.
26. ROJAS, P.; FERNANDEZ DE LA REGUERA, P.; ARAVENA, R.; SAN MARTÍN, E. 1993. Funciones de predicción de densidad básica en *Eucalyptus globulus ssp. globulus* y *Eucalyptus nitens* por un método no destructivo. In Simposio Los Eucalyptus en el Desarrollo Forestal de Chile (1993, Pucon, Chile). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 109-125.
27. SCHIAVO, G. 2005. Estudio de la variación axial de la densidad de la madera de *Eucalyptus dunnii* Maiden, para determinación del punto de muestreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. p. 81.
28. SENYSZYN, P. 1999. La madera, aspectos estructural, cualitativo y utilitario. Montevideo, Facultad de Agronomía. 99 p.
29. SMOOK, G.A. 1990. Manual para técnicos de pulpa y papel. Georgia, Atlanta, Tappi. 396 p.
30. SORRENTINO, A. 1997. Manual para diseño y ejecución de inventarios forestales. Montevideo, Hemisferio Sur. 350 p.

31. SORIA, L. A. 1979. Aptitud del *E. grandis* como materia prima para la obtención de pastas celulósicas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 69 p.
32. STEEL, R.; TORRIE, J. 1988. Bioestadística, principios y procedimientos. 2ª. ed. Montevideo, Mc Graw – Hill. 622 p.
33. TAMOSIUNAS, M. 2004. Análisis de las exportaciones de productos forestales (en línea). Montevideo, MGAP. Consultado 20 mar. 2006. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/Forestal>.
34. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). 1994. Norma T 258 om-94. s.l. s.p.
35. 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*. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts (1997, Salvador, BR). Proceedings. s.n.t. v. 3. pp. 269-274.
36. TUSET, R.; DURAN, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur. 688 p.
37. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. t. 1, 96 p.

38. _____. DIRECCION FORESTAL. 2003. Boletín Estadístico. 4 (3): 52.
39. _____. INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS. 1970. Determinación de peso específico aparente básico en maderas. Montevideo. 6 p.
40. VIGNERON, P.; GERARD, J.; BOUVET, J.M. 1995. Relationship between Basic density and growth in fertilization trial with clones of *Eucalyptus* híbridos in Congo. In: CRC for Temperate Hardwood Forestry IUFRO (1995, Hobart, Australia). Genetic, environmental and silvicultural effects. s.n.t. pp. 68-71.
41. WILKINS, A.P. 1990. Influence of silvicultural treatment on growth and wood density of *Eucalyptus grandis* grown on a previous pasture site. Australian Forestry. 53 (3): 168-172.
42. ZOBEL, B.J.; TALBERT, J.T. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. 2ª reimp. México, Limusa. 545 p.

10. ANEXOS

Anexo No. 1. Características generales del material experimental.

Establecimiento	Las Tunas		El Paraíso	
Especie	<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>
Orígen o procedencia	Urbenville, Australia	Florida, EE.UU.	Urbenville, Australia	Florida, EE.UU.
Tipo de ensayo	Especies y procedencias		Rendimiento	
Fecha de plantación	17/11/94		22/12/93	
Tipo de plantación	manual		manual	
Espaciamiento	3,50 x 2,25 m		4 x 2,25 m	
Diseño	Bloques completos al azar		Bloques completos al azar	
Arboles por parcela	49		100	
Preparación del suelo	Subsolador, excéntrica, rotovalor		Arado de disco, excéntrica, herbicida	
Tratamientos	fertilizante 18-46-0 (100g/planta) + herbicida preemergente post-plantación y glifosato			
Grupo Coneat	9.1		9.3	

Anexo No. 2. Diámetros y espesor de corteza en función de la altura, en *E. dunnii* 10 años.

		Media	desvest	C.V. (%)
	espesor corteza (cm)	1.348	0.233	17.281
Base	diámetro c/c (cm)	27.500	1.813	6.593
	diámetro s/c (cm)	26.152	0.018	6.973
	espesor corteza (cm)	1.098	0.160	14.607
1.3 m	diámetro c/c (cm)	23.392	1.711	7.315
	diámetro s/c (cm)	22.294	0.017	7.695
	espesor corteza (cm)	0.950	0.153	16.079
2 m	diámetro c/c (cm)	22.740	1.546	6.798
	diámetro s/c (cm)	21.790	0.015	7.046
	espesor corteza (cm)	0.796	0.119	14.944
4 m	diámetro c/c (cm)	20.640	1.393	6.748
	diámetro s/c (cm)	19.844	0.014	6.921
	espesor corteza (cm)	0.734	0.118	16.062
6 m	diámetro c/c (cm)	19.584	1.366	6.976
	diámetro s/c (cm)	18.850	0.013	7.148
	espesor corteza (cm)	0.680	0.107	15.742
8 m	diámetro c/c (cm)	18.196	1.378	7.573
	diámetro s/c (cm)	17.516	0.014	7.763
	espesor corteza (cm)	0.636	0.109	17.062
10 m	diámetro c/c (cm)	17.164	1.376	8.016
	diámetro s/c (cm)	16.528	0.013	8.155
	espesor corteza (cm)	0.580	0.082	14.078
12 m	diámetro c/c (cm)	15.772	1.364	8.650
	diámetro s/c (cm)	15.192	0.014	8.909
	espesor corteza (cm)	0.544	0.100	18.444
14 m	diámetro c/c (cm)	14.544	1.224	8.416
	diámetro s/c (cm)	14.000	0.012	8.692
	espesor corteza (cm)	0.524	0.071	13.528
16 m	diámetro c/c (cm)	13.352	1.096	8.208
	diámetro s/c (cm)	12.828	0.011	8.515
	espesor corteza (cm)	0.480	0.068	14.104
18 m	diámetro c/c (cm)	11.800	1.526	12.931
	diámetro s/c (cm)	11.320	0.015	13.322
	espesor corteza (cm)	0.442	0.101	22.784
20 m	diámetro c/c (cm)	9.720	1.308	13.460
	diámetro s/c (cm)	8.828	0.013	13.538
	espesor corteza (cm)	0.438	0.072	16.430

22 m	diámetro c/c (cm)	8.625	0.630	7.302
	diámetro s/c (cm)	8.187	0.006	7.474
	espesor corteza (cm)	0.367	0.058	15.746
24 m	diámetro c/c (cm)	8.033	0.153	1.901
	diámetro s/c (cm)	7.666	0.002	1.992

Anexo No. 3. Diámetros y espesor de corteza en función de la altura, en *E. dunnii* 12 años.

		Media	desvest	C.V. (%)
	espesor corteza (cm)	1.456	0.224	15.368
Base	diámetro c/c (cm)	25.736	1.942	7.548
	diámetro s/c (cm)	24.280	0.019	7.789
	espesor corteza (cm)	1.100	0.144	13.122
1.3 m	diámetro c/c (cm)	21.380	1.612	7.538
	diámetro s/c (cm)	20.280	0.016	7.668
	espesor corteza (cm)	0.948	0.129	13.659
2 m	diámetro c/c (cm)	20.784	1.549	7.452
	diámetro s/c (cm)	19.836	0.015	7.456
	espesor corteza (cm)	0.772	0.121	15.652
4 m	diámetro c/c (cm)	19.176	1.619	8.443
	diámetro s/c (cm)	18.404	0.016	8.484
	espesor corteza (cm)	0.648	0.119	18.433
6 m	diámetro c/c (cm)	18.408	1.446	7.857
	diámetro s/c (cm)	17.836	0.014	7.926
	espesor corteza (cm)	0.572	0.110	19.231
8 m	diámetro c/c (cm)	17.132	1.296	7.565
	diámetro s/c (cm)	16.608	0.013	7.642
	espesor corteza (cm)	0.524	0.105	20.076
10 m	diámetro c/c (cm)	16.340	1.350	8.260
	diámetro s/c (cm)	15.856	0.013	8.385
	espesor corteza (cm)	0.484	0.094	19.492
12 m	diámetro c/c (cm)	15.308	1.329	8.683
	diámetro s/c (cm)	14.852	0.013	8.850
	espesor corteza (cm)	0.456	0.092	20.099
14 m	diámetro c/c (cm)	14.152	1.364	9.635
	diámetro s/c (cm)	13.748	0.013	9.736
	espesor corteza (cm)	0.404	0.084	20.808
16 m	diámetro c/c (cm)	12.988	1.255	9.661
	diámetro s/c (cm)	12.600	0.012	9.699
	espesor corteza (cm)	0.388	0.083	21.460
18 m	diámetro c/c (cm)	11.856	1.347	11.358
	diámetro s/c (cm)	11.496	0.013	11.433
	espesor corteza (cm)	0.360	0.087	24.056
20 m	diámetro c/c (cm)	10.552	1.237	11.719
	diámetro s/c (cm)	10.192	0.012	11.740
	espesor corteza (cm)	0.343	0.051	14.790

22 m	diámetro c/c (cm)	9.252	1.040	11.235
	diámetro s/c (cm)	8.909	0.010	11.462
	espesor corteza (cm)	0.333	0.050	15.000
24 m	diámetro c/c (cm)	8.222	0.552	6.711
	diámetro s/c (cm)	7.889	0.005	6.570

Anexo No. 4. Diámetros y espesor de corteza en función de la altura, en *E. grandis* 10 años.

		Media	desvest	C.V. (%)
	espesor corteza (cm)	1.364	0.180	13.196
Base	diámetro c/c (cm)	28.004	2.426	8.663
	diámetro s/c (cm)	26.644	0.024	8.859
	espesor corteza (cm)	0.916	0.206	22.435
1.3 m	diámetro c/c (cm)	23.944	2.094	8.745
	diámetro s/c (cm)	23.028	0.021	8.905
	espesor corteza (cm)	0.778	0.168	21.642
2 m	diámetro c/c (cm)	23.132	2.095	9.057
	diámetro s/c (cm)	22.354	0.021	9.192
	espesor corteza (cm)	0.534	0.100	18.672
4 m	diámetro c/c (cm)	21.752	2.044	9.397
	diámetro s/c (cm)	21.218	0.020	9.409
	espesor corteza (cm)	0.492	0.094	19.166
6 m	diámetro c/c (cm)	20.684	1.885	9.112
	diámetro s/c (cm)	20.192	0.018	9.094
	espesor corteza (cm)	0.438	0.078	17.832
8 m	diámetro c/c (cm)	19.512	1.988	10.190
	diámetro s/c (cm)	19.074	0.020	10.258
	espesor corteza (cm)	0.418	0.086	20.684
10 m	diámetro c/c (cm)	18.500	1.802	9.740
	diámetro s/c (cm)	18.082	0.018	9.774
	espesor corteza (cm)	0.402	0.085	21.083
12 m	diámetro c/c (cm)	17.340	1.847	10.651
	diámetro s/c (cm)	16.938	0.018	10.699
	espesor corteza (cm)	0.400	0.061	15.309
14 m	diámetro c/c (cm)	15.968	1.838	11.513
	diámetro s/c (cm)	15.568	0.018	11.644
	espesor corteza (cm)	0.382	0.058	15.057
16 m	diámetro c/c (cm)	14.484	1.506	10.400
	diámetro s/c (cm)	14.102	0.015	10.502
	espesor corteza (cm)	0.358	0.061	16.953
18 m	diámetro c/c (cm)	13.444	1.777	13.216
	diámetro s/c (cm)	13.086	0.017	13.354
	espesor corteza (cm)	0.330	0.046	13.831
20 m	diámetro c/c (cm)	11.524	1.732	15.028
	diámetro s/c (cm)	11.194	0.017	15.252
	espesor corteza (cm)	0.322	0.060	18.640

22 m	diámetro c/c (cm)	10.017	1.515	15.126
	diámetro s/c (cm)	9.695	0.015	15.265
	espesor corteza (cm)	0.311	0.029	9.316
24 m	diámetro c/c (cm)	8.857	1.164	13.142
	diámetro s/c (cm)	8.546	0.012	13.557
	espesor corteza (cm)	0.300	0.012	3.862
26 m	diámetro c/c (cm)	7.967	0.321	4.035
	diámetro s/c (cm)	7.667	0.003	4.193

Anexo No. 5. Diámetros y espesor de corteza en función de la altura, en *E. grandis* 12 años.

		Media	desvest	C.V. (%)
	espesor corteza (cm)	1.260	0.339	26.914
Base	diámetro c/c (cm)	27.428	2.886	10.522
	diámetro s/c (cm)	26.168	0.028	10.529
	espesor corteza (cm)	0.808	0.211	26.113
1.3 m	diámetro c/c (cm)	22.756	2.253	9.902
	diámetro s/c (cm)	21.948	0.022	10.102
	espesor corteza (cm)	0.604	0.214	35.358
2 m	diámetro c/c (cm)	22.284	2.512	11.272
	diámetro s/c (cm)	21.680	0.025	11.600
	espesor corteza (cm)	0.482	0.142	29.475
4 m	diámetro c/c (cm)	21.128	2.258	10.689
	diámetro s/c (cm)	20.646	0.022	10.689
	espesor corteza (cm)	0.418	0.102	24.387
6 m	diámetro c/c (cm)	20.236	1.948	9.628
	diámetro s/c (cm)	19.818	0.019	9.551
	espesor corteza (cm)	0.374	0.089	23.828
8 m	diámetro c/c (cm)	19.360	2.046	10.566
	diámetro s/c (cm)	18.986	0.020	10.529
	espesor corteza (cm)	0.344	0.077	22.329
10 m	diámetro c/c (cm)	18.200	2.272	12.484
	diámetro s/c (cm)	17.856	0.022	12.487
	espesor corteza (cm)	0.332	0.066	19.866
12 m	diámetro c/c (cm)	17.216	2.009	11.669
	diámetro s/c (cm)	16.884	0.020	11.677
	espesor corteza (cm)	0.312	0.065	20.833
14 m	diámetro c/c (cm)	16.036	1.842	11.489
	diámetro s/c (cm)	15.724	0.018	11.530
	espesor corteza (cm)	0.304	0.068	22.229
16 m	diámetro c/c (cm)	14.880	1.900	12.766
	diámetro s/c (cm)	14.576	0.019	12.763
	espesor corteza (cm)	0.296	0.068	22.830
18 m	diámetro c/c (cm)	13.596	2.069	15.219
	diámetro s/c (cm)	13.300	0.020	15.266
	espesor corteza (cm)	0.282	0.073	26.038
20 m	diámetro c/c (cm)	12.224	2.325	19.016
	diámetro s/c (cm)	11.942	0.023	19.129
	espesor corteza (cm)	0.270	0.072	26.668

22 m	diámetro c/c (cm)	11.248	2.841	25.256
	diámetro s/c (cm)	10.978	0.028	25.495
	espesor corteza (cm)	0.259	0.061	23.577
24 m	diámetro c/c (cm)	9.906	1.168	11.792
	diámetro s/c (cm)	9.647	0.011	11.724
	espesor corteza (cm)	0.250	0.062	24.944
26 m	diámetro c/c (cm)	8.930	0.727	8.145
	diámetro s/c (cm)	8.680	0.007	8.061

Anexo No. 6. Valores cormométricos y dasométricos en *E. dunnii* 12 años

Nº árbol	Volumen real comercial s/c Smalian (m³)	volumen aparente total c/c (m³)	Factor de Forma comercial s/c	Ht (m)	Hc (m)
1	0.297	0.771	0.385	27.2	20.0
2	0.490	1.157	0.423	29.1	24.0
3	0.389	1.010	0.385	30.0	23.8
4	0.611	1.347	0.453	28.8	25.0
5	0.485	1.064	0.455	28.0	23.4
6	0.383	0.939	0.408	29.3	23.1
7	0.326	0.772	0.423	27.5	21.2
8	0.451	1.139	0.395	27.9	22.4
9	0.370	0.973	0.380	26.8	20.8
10	0.352	0.970	0.363	29.4	22.7
11	0.489	1.102	0.443	29.0	24.2
12	0.478	1.026	0.466	27.5	22.0
13	0.423	0.720	0.588	26.8	21.1
14	0.423	0.986	0.430	27.4	22.5
15	0.443	0.937	0.473	28.4	23.5
16	0.402	1.014	0.396	29.0	23.0
17	0.339	0.758	0.447	28.2	22.0
18	0.430	0.975	0.441	28.7	22.8
19	0.525	1.319	0.398	29.4	24.2
20	0.404	1.045	0.387	29.6	22.7
21	0.472	1.144	0.412	30.1	24.5
22	0.490	1.155	0.424	29.3	23.9
23	0.529	1.396	0.379	30.1	24.4
24	0.429	1.148	0.374	30.2	23.2
25	0.437	1.037	0.422	28.3	22.8
Media	0.435	1.036	0.422	28.6	22.9
Desv. Est.	0.071	0.174	0.046	1.047	1.249
C.V. (%)	16.343	16.796	10.933	3.655	5.447

Anexo No. 7. Valores cormométricos y dasométricos en *E. grandis* 12 años

Nº árbol	Volumen real comercial s/c Smalian (m ³)	volumen aparente total c/c (m ³)	Factor de Forma comercial s/c	Ht (m)	Hc (m)
26	0.692	1.292	0.536	30.3	26.3
27	0.345	0.713	0.484	27.7	21.9
28	0.541	1.166	0.464	28.3	23.4
29	0.388	0.838	0.464	26.4	20.4
30	0.465	1.223	0.380	28.2	22.7
31	0.575	1.303	0.441	28.1	24.1
32	0.418	0.937	0.447	27.3	22.3
33	0.605	1.159	0.522	30.5	26.1
34	0.639	1.305	0.489	31.4	26.9
35	0.508	1.095	0.464	28.3	23.6
36	0.341	0.826	0.413	26.3	20.0
37	0.687	1.421	0.483	32.2	26.7
38	0.833	1.679	0.496	30.9	26.6
39	0.575	1.312	0.438	29.0	24.0
40	0.554	1.073	0.516	29.0	24.8
41	0.586	1.238	0.473	29.8	25.4
42	0.660	1.551	0.426	31.6	26.6
43	0.705	1.471	0.479	31.2	26.7
44	0.580	1.294	0.448	30.6	26.2
45	0.607	1.337	0.454	30.3	25.5
46	0.797	1.884	0.423	30.6	26.8
47	0.350	0.750	0.467	28.5	22.0
48	0.658	1.402	0.469	31.0	26.8
49	0.565	1.230	0.460	31.5	27.2
50	0.430	0.950	0.453	27.7	22.7
Media	0.564	1.218	0.464	29.5	24.6
Desv. Est.	0.134	0.283	0.035	1.712	2.200
C.V. (%)	23.812	23.232	7.483	5.811	8.932

Anexo No. 8. Valores cormométricos y dasométricos en *E. dunnii* 10 años

Nº árbol	Volumen real comercial s/c Smalian (m³)	volumen aparente total c/c (m³)	Factor de Forma comercial s/c	Ht (m)	Hc (m)
51	0.421	1.056	0.399	25.2	21.0
52	0.495	1.245	0.398	26.2	22.1
53	0.395	0.999	0.395	25.8	21.0
54	0.441	1.176	0.375	26.0	21.3
55	0.388	0.973	0.399	25.6	20.6
56	0.460	1.268	0.362	26.9	21.2
57	0.451	1.070	0.421	27.9	22.4
58	0.487	1.317	0.370	27.7	22.7
59	0.549	1.316	0.417	26.8	22.7
60	0.582	1.540	0.378	27.3	23.2
61	0.476	1.209	0.394	27.4	22.2
62	0.401	0.871	0.461	26.4	21.9
63	0.318	0.782	0.407	25.4	20.0
64	0.488	1.044	0.468	25.8	21.9
65	0.548	1.344	0.408	27.6	22.8
66	0.346	0.900	0.385	27.0	20.7
67	0.544	1.325	0.411	28.8	24.1
68	0.455	1.087	0.418	27.1	22.6
69	0.515	1.134	0.454	27.3	22.8
70	0.411	1.042	0.395	27.4	22.3
71	0.577	1.489	0.388	28.7	24.0
72	0.494	1.140	0.433	27.2	23.0
73	0.587	1.348	0.435	28.6	23.9
74	0.438	1.069	0.410	25.5	20.9
75	0.470	1.282	0.366	25.1	20.6
Media	0.470	1.161	0.406	26.8	22.1
Desv. Est.	0.072	0.188	0.028	1.094	1.140
C.V. (%)	15.263	16.208	6.962	4.077	5.165

Anexo No. 9. Valores cormométricos y dasométricos en *E. grandis* 10 años

Nº árbol	volumen real comercial s/c Smalian (m³)	volumen aparente total c/c (m³)	Factor de Forma comercial s/c	Ht (m)	Hc (m)
76	0.715	1.577	0.453	29.7	25.2
77	0.610	1.317	0.463	28.4	25.1
78	0.484	1.024	0.473	28.2	23.9
79	0.473	1.192	0.397	28.2	23.5
80	0.646	1.373	0.470	29.6	25.2
81	0.734	1.630	0.450	30.0	25.6
82	0.635	1.475	0.431	28.0	24.0
83	0.459	1.013	0.453	26.4	22.2
84	0.467	1.117	0.418	26.2	21.5
85	0.396	0.888	0.446	26.4	21.1
86	0.619	1.405	0.440	29.8	24.1
87	0.392	0.796	0.492	25.6	20.9
88	0.601	1.431	0.420	27.8	23.2
89	0.542	1.315	0.412	28.6	24.2
90	0.485	1.032	0.469	27.4	23.2
91	0.773	1.702	0.454	30.4	26.0
92	0.542	1.234	0.439	29.2	24.5
93	0.694	1.665	0.417	29.3	24.8
94	0.456	1.133	0.403	27.5	22.5
95	0.398	0.898	0.443	28.6	22.8
96	0.732	1.846	0.397	31.3	26.1
97	0.563	1.393	0.404	28.6	23.4
98	0.524	1.248	0.420	26.9	23.1
99	0.437	1.300	0.336	28.5	23.6
100	0.624	1.329	0.470	28.2	23.4
Media	0.560	1.293	0.435	28.352	23.724
Desv. Est.	0.115	0.270	0.033	1.399	1.422
C.V. (%)	20.588	20.856	7.687	4.934	5.994

Anexo No. 10. Cuadro resumen valores cormométricos y dasométricos.

		Volumen Real comercial s/c (m ³)	Volumen Aparente total c/c (m ³)	Factor de Forma comercial s/c	Ht (m)	Hc (m)	Dap s/c (m)	Dap c/c (m)
<i>E. dunnii</i> 12 años	Media	0.435	1.036	0.422	28.64	22.928	0.203	0.214
	Desv.est.	0.071	0.174	0.046	1.047	1.249	0.016	0.016
	C.V.	16.343	16.796	10.933	3.655	5.447	7.668	7.538
<i>E. grandis</i> 12 años	Media	0.564	1.218	0.464	29.468	24.628	0.219	0.228
	Desv.est.	0.134	0.283	0.035	1.712	2.200	0.022	0.023
	C.V.	23.812	23.232	7.483	5.811	8.932	10.102	9.902
<i>E. dunnii</i> 10 años	Media	0.470	1.161	0.406	26.828	22.076	0.223	0.234
	Desv.est.	0.072	0.188	0.028	1.094	1.140	0.017	0.017
	C.V.	15.263	16.208	6.962	4.077	5.165	7.695	7.315
<i>E. grandis</i> 10 años	Media	0.560	1.293	0.435	28.352	23.724	0.230	0.239
	Desv.est.	0.115	0.270	0.033	1.399	1.422	0.021	0.021
	C.V.	20.588	20.856	7.687	4.934	5.994	8.905	8.745

Anexo No. 11. Densidad básica en función de la altura en *E. dunnii* 12 años

Nº árbol	Base	1,30m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m
1	0.606	0.609	0.617	0.588	0.599	0.588	0.582	0.604	0.587	0.599	0.876	0.554		
2	0.547	0.542	0.551	0.554	0.574	0.585	0.582	0.570	0.576	0.572	0.557	0.569	0.561	0.549
3	0.563	0.553	0.568	0.559	0.573	0.576	0.584	0.587	0.611	0.580	0.563	0.607	0.599	0.590
4	0.520	0.537	0.522	0.553	0.569	0.577	0.581	0.581	0.589	0.571	0.569	0.585	0.605	0.576
5	0.515	0.528	0.549	0.559	0.571	0.574	0.583	0.585	0.569	0.561	0.561	0.578	0.552	
6	0.576	0.616	0.582	0.570	0.646	0.584	0.571	0.588	0.558	0.706	0.558	0.568	0.560	
7	0.601	0.581	0.584	0.620	0.606	0.604	0.610	0.613	0.593	0.601	0.606	0.635		
8	0.557	0.564	0.573	0.571	0.584	0.584	0.593	0.594	0.597	0.601	0.573	0.577	0.554	
9	0.540	0.518	0.524	0.543	0.545	0.553	0.556	0.570	0.553	0.578	0.571	0.533		
10	0.577	0.609	0.609	0.618	0.620	0.607	0.628	0.592	0.615	0.605	0.572	0.573	0.596	
11	0.542	0.548	0.557	0.572	0.586	0.584	0.571	0.565	0.574	0.571	0.723	0.571	0.556	0.553
12	0.505	0.553	0.559	0.555	0.585	0.588	0.586	0.568	0.570	0.556	0.543	0.560	0.531	
13	0.540	0.532	0.541	0.551	0.565	0.561	0.547	0.551	0.555	0.566	0.548	0.531		
14	0.564	0.601	0.607	0.594	0.578	0.594	0.572	0.572	0.602	0.558	0.551	0.541	0.562	
15	0.569	0.566	0.562	0.565	0.574	0.578	0.576	0.572	0.569	0.593	0.583	0.548	0.851	0.556
16	0.547	0.539	0.551	0.552	0.572	0.560	0.567	0.577	0.561	0.553	0.551	0.552	0.541	
17	0.558	0.548	0.557	0.553	0.537	0.558	0.578	0.584	0.559	0.549	0.569	0.543	0.548	
18	0.569	0.559	0.574	0.578	0.579	0.570	0.580	0.596	0.598	0.565	0.561	0.589	0.558	
19	0.538	0.526	0.515	0.541	0.559	0.577	0.588	0.579	0.589	0.576	0.589	0.587	0.572	0.567
20	0.634	0.651	0.648	0.652	0.661	0.632	0.622	0.628	0.621	0.599	0.622	0.592	0.600	
21	0.606	0.611	0.636	0.643	0.644	0.651	0.633	0.641	0.645	0.624	0.622	0.603	0.613	0.615
22	0.558	0.550	0.554	0.563	0.565	0.559	0.588	0.564	0.596	0.563	0.584	0.543	0.558	0.552
23	0.542	0.560	0.568	0.551	0.525	0.529	0.522	0.508	0.530	0.513	0.537	0.506	0.502	0.485
24	0.594	0.594	0.599	0.609	0.683	0.625	0.629	0.612	0.595	0.605	0.592	0.782	0.925	
25	0.589	0.597	0.589	0.582	0.606	0.591	0.665	0.608	0.616	0.586	0.585	0.579	0.574	
Media	0.562	0.568	0.572	0.576	0.588	0.584	0.588	0.584	0.585	0.582	0.591	0.576	0.596	0.560

Desvest	0.031	0.035	0.034	0.031	0.038	0.026	0.030	0.026	0.026	0.035	0.070	0.051	0.101	0.036
C. V. (%)	5.498	6.091	5.906	5.327	6.461	4.484	5.107	4.532	4.432	6.005	11.875	8.881	16.968	6.349

Anexo No. 12. Densidad básica en función de la altura en *E. grandis* 12 años

Nº árbol	Base	1,30m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m
26	0.457	0.443	0.444	0.432	0.437	0.444	0.450	0.452	0.451	0.443	0.451	0.485	0.470	0.504	0.479
27	0.484	0.445	0.443	0.431	0.440	0.443	0.439	0.491	0.461	0.454	0.463	0.435	0.436		
28	0.494	0.445	0.428	0.434	0.422	0.414	0.446	0.423	0.416	0.428	0.459	0.464	0.423		
29	0.493	0.450	0.453	0.452	0.483	0.463	0.455	0.469	0.445	0.502	0.440	0.443			
30	0.513	0.487	0.472	0.472	0.521	0.508	0.514	0.509	0.507	0.485	0.506	0.488	0.497		
31	0.476	0.441	0.430	0.407	0.422	0.413	0.422	0.405	0.407	0.397	0.402	0.397	0.424		
32	0.515	0.477	0.453	0.437	0.445	0.446	0.428	0.461	0.414	0.442	0.407	0.400	0.408		
33	0.513	0.434	0.419	0.409	0.420	0.442	0.443	0.436	0.429	0.449	0.460	0.458	0.451	0.439	0.513
34	0.554	0.487	0.477	0.452	0.495	0.473	0.490	0.497	0.504	0.508	0.488	0.536	0.506	0.499	0.488
35	0.463	0.423	0.409	0.406	0.417	0.452	0.443	0.420	0.426	0.425	0.423	0.436	0.446	0.420	
36	0.472	0.468	0.473	0.512	0.501	0.524	0.503	0.522	0.513	0.496	0.481	0.497			
37	0.448	0.394	0.387	0.383	0.391	0.398	0.397	0.413	0.450	0.409	0.425	0.438	0.437	0.483	0.451
38	0.482	0.435	0.419	0.419	0.444	0.424	0.440	0.416	0.421	0.419	0.423	0.424	0.439		0.411
39	0.527	0.452	0.416	0.429	0.436	0.426	0.422	0.486	0.423	0.433	0.418	0.449	0.432	0.453	
40	0.524	0.460	0.438	0.437	0.463	0.455	0.458	0.461	0.507	0.471	0.472	0.491	0.468	0.477	
41	0.505	0.461	0.425	0.423	0.479	0.449	0.459	0.465	0.505	0.485	0.478	0.507	0.478	0.494	
42	0.532	0.515	0.490	0.496	0.520	0.524	0.511	0.537	0.536	0.559	0.576	0.576	0.573	0.603	0.578
43	0.532	0.477	0.481	0.481	0.499	0.494	0.490	0.511	0.493	0.529	0.521	0.530	0.540	0.481	0.493
44	0.492	0.465	0.427	0.427	0.442	0.457	0.451	0.495	0.445	0.488	0.469	0.504	0.481	0.476	0.487
45	0.518	0.450	0.445	0.420	0.433	0.431	0.443	0.457	0.435	0.449	0.471	0.448	0.426	0.454	
46	0.455	0.420	0.418	0.402	0.425	0.454	0.471	0.464	0.452	0.456	0.454	0.498	0.462	0.477	0.432
47	0.494	0.411	0.397	0.412	0.396	0.433	0.404	0.403	0.407	0.433	0.409	0.409	0.409		
48	0.544	0.444	0.430	0.438	0.438	0.459	0.452	0.455	0.455	0.458	0.447	0.463	0.475	0.466	0.446
49	0.542	0.450	0.449	0.443	0.464	0.501	0.462	0.463	0.454	0.459	0.459	0.474	0.465	0.483	
50	0.500	0.475	0.452	0.442	0.437	0.459	0.475	0.461	0.452	0.479	0.489	0.451	0.465		

Media	0.501	0.452	0.439	0.436	0.451	0.455	0.455	0.463	0.456	0.462	0.460	0.468	0.461	0.481	0.478
Desvest	0.030	0.026	0.026	0.030	0.036	0.033	0.030	0.037	0.038	0.038	0.039	0.044	0.040	0.041	0.047
C. V. (%)	5.888	5.810	5.960	6.797	7.964	7.300	6.668	8.013	8.255	8.270	8.555	9.333	8.697	8.467	9.875

Anexo No. 13. Densidad básica en función de la altura en *E. dunnii* 10 años

Nº árbol	Base	1,30m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m
51	0.552	0.522	0.535	0.541	0.558	0.530	0.554	0.538	0.531	0.539	0.488	0.473		
52	0.552	0.517	0.532	0.518	0.531	0.532	0.519	0.517	0.508	0.539	0.538	0.511	0.534	
53	0.519	0.515	0.528	0.528	0.529	0.516	0.523	0.535	0.504	0.499	0.491	0.490		
54	0.485	0.464	0.487	0.499	0.474	0.507	0.498	0.485	0.483	0.480	0.460	0.490		
55	0.500	0.504	0.512	0.536	0.548	0.546	0.538	0.535	0.521	0.539	0.535	0.528		
56	0.496	0.505	0.531	0.513	0.531	0.521	0.539	0.551	0.534	0.529	0.568	0.534		
57	0.544	0.486	0.498	0.496	0.508	0.498	0.507	0.530	0.515	0.524	0.523	0.537	0.544	
58	0.562	0.525	0.550	0.536	0.542	0.512	0.506	0.523	0.511	0.540	0.521	0.526	0.516	
59	0.512	0.490	0.493	0.518	0.508	0.504	0.500	0.506	0.525	0.468	0.462	0.472	0.472	
60	0.471	0.460	0.443	0.467	0.491	0.485	0.496	0.494	0.485	0.500	0.481	0.503	0.474	
61	0.552	0.512	0.504	0.529	0.513	0.519	0.505	0.518	0.522	0.511	0.505	0.497	0.458	
62	0.598	0.554	0.559	0.555	0.553	0.558	0.557	0.567	0.563	0.541	0.525	0.758	0.530	
63	0.564	0.539	0.544	0.548	0.548	0.558	0.555	0.555	0.560	0.579	0.547	0.511		
64	0.501	0.501	0.492	0.481	0.482	0.466	0.472	0.467	0.450	0.467	0.455	0.471	0.479	
65	0.598	0.583	0.577	0.592	0.621	0.600	0.619	0.601	0.594	0.594	0.586	0.596	0.591	
66	0.535	0.471	0.483	0.501	0.507	0.509	0.510	0.504	0.549	0.539	0.539	0.512		
67	0.567	0.553	0.572	0.579	0.575	0.587	0.612	0.590	0.599	0.589	0.601	0.570	0.584	0.592
68	0.589	0.557	0.555	0.567	0.568	0.558	0.563	0.546	0.584	0.540	0.552	0.521	0.546	
69	0.548	0.528	0.544	0.536	0.551	0.557	0.564	0.538	0.544	0.546	0.529	0.534	0.532	
70	0.552	0.522	0.526	0.515	0.532	0.534	0.550	0.541	0.554	0.536	0.539	0.567	0.548	
71	0.556	0.540	0.535	0.541	0.545	0.539	0.560	0.545	0.533	0.546	0.545	0.533	0.531	0.532
72	0.584	0.555	0.565	0.572	0.592	0.598	0.574	0.580	0.577	0.559	0.557	0.564	0.546	
73	0.570	0.552	0.552	0.555	0.543	0.547	0.552	0.564	0.571	0.556	0.573	0.582	0.584	0.583
74	0.529	0.507	0.514	0.521	0.534	0.532	0.546	0.551	0.540	0.573	0.544	0.550		
75	0.484	0.478	0.463	0.472	0.483	0.492	0.475	0.477	0.509	0.481	0.475	0.453		
Media	0.541	0.518	0.524	0.529	0.535	0.532	0.536	0.534	0.535	0.532	0.526	0.531	0.529	0.569

Desvest	0.037	0.032	0.034	0.032	0.035	0.034	0.038	0.034	0.036	0.035	0.040	0.060	0.041	0.032
C. V. (%)	6.760	6.167	6.570	6.090	6.499	6.332	7.021	6.299	6.759	6.556	7.566	11.247	7.729	5.679

Anexo No. 14. Densidad básica en función de la altura en *E. grandis* 10 años

Nº árbol	Base	1,30m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m
76	0.506	0.441	0.440	0.433	0.442	0.433	0.458	0.480	0.443	0.435	0.467	0.459	0.456	0.432	
77	0.484	0.425	0.431	0.413	0.437	0.447	0.443	0.456	0.461	0.438	0.501	0.447	0.460	0.457	
78	0.442	0.394	0.385	0.367	0.392	0.381	0.401	0.376	0.382	0.376	0.390	0.384	0.439	0.400	
79	0.472	0.431	0.424	0.401	0.426	0.414	0.441	0.421	0.457	0.489	0.454	0.455	0.441	0.445	
80	0.490	0.421	0.411	0.400	0.417	0.429	0.410	0.420	0.431	0.420	0.420	0.422	0.450	0.439	
81	0.491	0.435	0.436	0.474	0.440	0.451	0.449	0.454	0.452	0.443	0.459	0.469	0.497	0.479	0.471
82	0.436	0.404	0.409	0.411	0.415	0.456	0.438	0.431	0.434	0.453	0.433	0.472	0.460	0.474	
83	0.437	0.395	0.410	0.409		0.444	0.428	0.454	0.449	0.432	0.447	0.457	0.484		
84	0.521	0.449	0.433	0.424	0.418	0.440	0.448	0.458	0.470	0.495	0.482	0.471	0.453		
85	0.475	0.434	0.431	0.437	0.446	0.462	0.461	0.471	0.473	0.458	0.475	0.485			
86	0.517	0.461	0.441	0.423	0.425	0.438	0.430	0.419	0.445	0.446	0.453	0.447	0.455	0.475	
87	0.482	0.448	0.449	0.444	0.444	0.440	0.482	0.457	0.475	0.477	0.442	0.494			
88	0.479	0.428	0.441	0.434	0.457	0.442	0.452	0.475	0.472	0.506	0.522	0.475	0.548		
89	0.517	0.445	0.428	0.399	0.417	0.422	0.426	0.431	0.475	0.433	0.452	0.465	0.465	0.470	
90	0.496	0.438	0.415	0.395	0.406	0.400	0.410	0.445	0.436	0.422	0.442	0.410	0.420		
91	0.512	0.445	0.432	0.418	0.411	0.421	0.424	0.427	0.451	0.458	0.478	0.464	0.435	0.452	0.467
92	0.469	0.405	0.401	0.404	0.423	0.429	0.436	0.463	0.451	0.472	0.462	0.445	0.474	0.446	
93	0.562	0.565	0.544	0.565	0.544	0.557	0.571	0.566	0.554	0.536	0.551	0.538	0.532	0.523	
94	0.449	0.400	0.401	0.396	0.416	0.433	0.430	0.446	0.469	0.446	0.459	0.449	0.455		
95	0.531	0.449	0.442	0.428	0.455	0.436	0.444	0.449	0.434	0.443	0.459	0.463	0.458		
96	0.552	0.513	0.506	0.484	0.504	0.485	0.504	0.513	0.490	0.523	0.527	0.527	0.506	0.526	0.508
97	0.466	0.439	0.438	0.435	0.433	0.440	0.438	0.455	0.449	0.432	0.476	0.437	0.466		
98	0.482	0.471	0.469	0.483	0.491	0.470	0.491	0.485	0.500	0.463	0.481	0.464	0.474		
99	0.483	0.480	0.470	0.433	0.449	0.459	0.461	0.486	0.464	0.461	0.496	0.464	0.471	0.470	
100	0.504	0.450	0.462	0.443	0.452	0.444	0.490	0.477	0.468	0.457	0.497	0.463	0.493		
Media	0.490	0.443	0.438	0.430	0.440	0.443	0.451	0.457	0.459	0.456	0.469	0.461	0.469	0.464	0.482

Desvest	0.033	0.037	0.034	0.040	0.034	0.032	0.036	0.036	0.031	0.035	0.035	0.032	0.030	0.034	0.022
C. V. (%)	6.686	8.404	7.712	9.182	7.677	7.209	7.984	7.929	6.650	7.564	7.412	6.842	6.427	7.231	4.621

Anexo No. 15. Densidad en verde en función de la altura en *E. dunnii* 12 años

Nº árbol	Base	1,30m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m
1	1.189	1.178	1.181	1.145	1.156	1.135	1.123	1.143	1.117	1.133	1.686	1.108		
2	1.156	1.155	1.157	1.144	1.159	1.160	1.156	1.133	1.147	1.139	1.131	1.131	1.125	1.110
3	1.167	1.151	1.152	1.133	1.140	1.146	1.129	1.137	1.142	1.115	1.095	1.138	1.138	1.131
4	1.157	1.143	1.127	1.160	1.176	1.180	1.186	1.180	1.174	1.166	1.162	1.191	1.184	1.125
5	1.158	1.130	1.149	1.143	1.136	1.138	1.142	1.144	1.128	1.116	1.112	1.135	1.099	
6	1.155	1.256	1.234	1.143	1.269	1.139	1.121	1.128	1.101	1.357	1.109	1.097	1.090	
7	1.196	1.172	1.182	1.189	1.166	1.169	1.167	1.162	1.149	1.150	1.148	1.191		
8	1.150	1.138	1.136	1.119	1.129	1.123	1.128	1.124	1.116	1.115	1.109	1.086	1.051	
9	1.158	1.142	1.135	1.136	1.132	1.128	1.123	1.119	1.109	1.132	1.119	1.081		
10	1.183	1.186	1.184	1.173	1.177	1.156	1.182	1.141	1.156	1.143	1.124	1.123	1.126	
11	1.096	1.148	1.151	1.153	1.167	1.152	1.138	1.120	1.132	1.232	1.451	1.151	0.865	1.088
12	1.041	1.168	1.167	1.156	1.168	1.161	1.150	1.135	1.149	1.129	1.111	1.114	1.120	
13	1.159	1.144	1.146	1.142	1.141	1.129	1.116	1.162	1.121	1.137	1.122	1.101		
14	1.171	1.177	1.179	1.159	1.147	1.150	1.135	1.127	1.143	1.108	1.105	1.109	1.121	
15	1.168	1.155	1.149	1.145	1.150	1.141	1.130	1.134	1.131	1.131	1.123	1.099	1.669	1.118
16	1.182	1.165	1.164	1.160	1.158	1.149	1.136	1.153	1.144	1.130	1.135	1.135	1.109	
17	1.176	1.155	1.160	1.156	1.102	1.129	1.142	1.155	1.125	1.118	1.126	1.112	1.116	
18	1.153	1.149	1.163	1.159	1.150	1.146	1.144	1.142	1.145	1.121	1.121	1.138	1.107	
19	1.188	1.171	1.143	1.144	1.148	1.147	1.145	1.141	1.142	1.125	1.133	1.142	1.129	1.093
20	1.196	1.198	1.196	1.192	1.189	1.168	1.160	1.162	1.159	1.124	1.147	1.134	1.128	
21	1.187	1.182	1.106	1.195	1.191	1.177	1.157	1.162	1.164	1.146	1.152	1.140	1.149	1.125
22	1.158	1.151	1.150	1.154	1.149	1.148	1.147	1.134	1.139	1.119	1.119	1.069	1.092	1.078
23	1.170	1.159	1.160	1.136	1.118	1.129	1.113	1.107	1.115	1.111	1.115	1.106	1.093	1.070
24	1.180	1.179	1.172	1.164	1.287	1.164	1.158	1.148	1.133	1.140	1.114	1.497	1.736	
25	1.161	1.174	1.167	1.153	1.159	1.147	1.278	1.160	1.165	1.130	1.368	1.129	1.115	

Media	1.162	1.165	1.160	1.154	1.163	1.148	1.148	1.142	1.138	1.143	1.169	1.138	1.160	1.104
Desvest	0.032	0.025	0.025	0.018	0.040	0.016	0.033	0.017	0.018	0.051	0.135	0.080	0.191	0.023
C. V. (%)	2.792	2.177	2.165	1.581	3.482	1.355	2.877	1.488	1.626	4.451	11.536	7.038	16.429	2.043

Anexo No. 16. Densidad en verde en función de la altura en *E. grandis* 12 años

Nº árbol	Base	1,30m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m
26	1.063	1.028	1.038	1.000	1.003	1.001	0.986	0.978	0.973	0.963	0.976	1.056	1.020	1.052	1.025
27	1.111	1.064	1.038	1.007	1.000	1.006	1.003	1.051	1.019	1.026	1.046	1.010	0.964		
28	1.116	1.032	1.014	1.002	0.982	0.948	0.991	0.967	0.955	0.966	1.012	1.006	1.006		
29	1.116	1.081	1.082	1.068	1.090	1.065	1.061	1.076	1.064	1.102	1.051	1.031			
30	1.129	1.088	1.054	1.056	1.085	1.081	1.082	1.046	1.038	1.014	1.046	1.004	1.019		
31	1.129	1.036	1.025	0.979	0.956	0.961	0.966	0.953	0.947	0.918	0.942	0.934	0.962		
32	1.123	1.103	1.068	1.049	1.035	1.056	1.015	1.036	0.993	1.029	0.992	0.975	0.984		
33	1.140	1.042	1.009	0.984	0.960	0.984	0.987	0.982	0.955	1.007	0.986	0.983	0.972	1.009	1.034
34	1.161	1.069	1.047	0.997	1.023	1.006	1.021	1.028	1.029	1.028	1.024	1.084	1.061	1.056	1.016
35	1.122	1.073	1.054	1.052	1.052	1.064	1.061	1.035	1.035	1.029	1.018	1.027	1.025	1.009	
36	1.119	1.065	1.068	1.094	1.065	1.088	1.048	1.054	1.056	1.040	1.005	1.014			
37	1.112	1.017	0.991	0.964	0.936	0.955	0.945	0.966	0.999	0.964	0.978	0.990	0.998	1.056	1.022
38	1.129	1.069	1.039	1.040	1.051	1.007	1.015	0.987	0.977	0.972	0.968	1.004	0.987		1.007
39	1.128	0.977	0.918	0.968	0.970	0.939	0.950	1.025	0.960	0.983	0.987	1.024	1.006	1.021	
40	1.135	1.043	0.999	0.971	1.000	0.981	0.977	0.978	1.025	1.005	1.002	1.035	1.036	1.033	
41	1.123	1.050	0.994	0.979	1.022	0.988	0.977	0.983	1.024	1.034	1.014	1.050	1.030	1.033	
42	1.143	1.111	1.053	1.036	1.052	1.044	1.036	1.043	1.039	1.066	1.082	1.092	1.076	1.087	1.084
43	1.175	1.067	1.062	1.033	1.070	1.055	1.029	1.060	1.026	1.076	1.079	1.089	1.110	1.057	1.070
44	1.126	1.057	0.996	0.973	0.974	1.007	0.984	1.037	0.980	1.062	1.028	1.060	1.068	1.081	1.065
45	1.152	1.058	1.053	1.007	1.011	1.012	1.005	1.023	1.016	1.028	1.048	1.069	1.039	1.050	
46	1.119	1.050	1.014	0.990	0.957	0.984	1.008	1.036	0.979	0.968	0.964	1.032	1.030	1.035	0.993
47	1.139	1.010	0.985	0.997	0.962	0.990	0.970	1.000	0.995	1.017	1.019	1.054	1.024		
48	1.172	1.044	1.027	1.035	1.014	1.033	1.007	1.017	1.004	1.011	1.007	1.038	1.049	1.054	1.060
49	1.149	1.048	1.042	1.014	1.024	1.064	1.023	1.020	1.003	1.012	1.002	1.022	1.043	1.052	
50	1.116	1.076	1.056	1.044	1.026	1.040	1.057	1.036	1.012	1.051	1.083	1.042	1.030		

Media	1.130	1.054	1.029	1.014	1.013	1.014	1.008	1.017	1.004	1.015	1.014	1.029	1.023	1.046	1.037
Desvest	0.023	0.029	0.036	0.035	0.043	0.043	0.036	0.034	0.032	0.042	0.037	0.037	0.037	0.023	0.030
C. V. (%)	1.995	2.760	3.476	3.482	4.280	4.205	3.573	3.312	3.225	4.103	3.686	3.624	3.567	2.172	2.914

Anexo No. 17. Densidad en verde en función de la altura en *E. dunnii* 10 años

Nº árbol	Base	1,30m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m
51	1.172	1.148	1.160	1.159	1.167	1.151	1.151	1.147	1.142	1.154	1.093	1.081		
52	1.162	1.135	1.141	1.133	1.133	1.138	1.131	1.107	1.115	1.150	1.131	1.096	1.112	
53	1.160	1.144	1.150	1.143	1.137	1.120	1.126	1.129	1.115	1.118	1.106	1.081		
54	1.134	1.106	1.113	1.098	1.073	1.102	1.097	1.077	1.098	1.074	1.061	1.077		
55	1.145	1.103	1.111	1.096	1.103	1.106	1.102	1.097	1.081	1.107	1.090	1.087		
56	1.121	1.106	1.136	1.069	1.096	1.077	1.081	1.091	1.096	1.083	1.125	1.056		
57	1.166	1.114	1.118	1.109	1.115	1.106	1.108	1.113	1.103	1.113	1.113	1.124	1.111	
58	1.184	1.163	1.177	1.169	1.169	1.150	1.138	1.149	1.148	1.151	1.138	1.123	1.090	
59	1.130	1.123	1.117	1.131	1.120	1.111	1.110	1.118	1.115	1.108	1.103	1.100	1.092	
60	1.140	1.119	1.086	1.095	1.093	1.104	1.108	1.108	1.091	1.113	1.107	1.120	1.070	
61	1.183	1.137	1.130	1.144	1.136	1.136	1.113	1.127	1.124	1.115	1.113	1.092	1.082	
62	1.187	1.168	1.163	1.151	1.148	1.153	1.156	1.148	1.147	1.137	1.142	1.542	1.125	
63	1.175	1.154	1.157	1.147	1.142	1.145	1.141	1.133	1.154	1.139	1.137	1.100		
64	1.151	1.107	1.105	1.089	1.083	1.074	1.104	1.084	1.070	1.083	1.072	1.068	1.082	
65	1.197	1.186	1.171	1.167	1.180	1.168	1.186	1.169	1.173	1.172	1.165	1.160	1.155	
66	1.175	1.105	1.110	1.101	1.117	1.106	1.105	1.099	1.138	1.131	1.151	1.112		
67	1.188	1.159	1.160	1.159	1.151	1.163	1.176	1.156	1.157	1.156	1.172	1.155	1.161	1.152
68	1.204	1.269	1.233	1.264	1.174	1.153	1.160	1.143	1.178	1.151	1.161	1.138	1.152	
69	1.189	1.161	1.165	1.162	1.170	1.179	1.168	1.150	1.158	1.159	1.166	1.151	1.140	
70	1.194	1.153	1.157	1.134	1.137	1.137	1.142	1.137	1.147	1.133	1.146	1.150	1.103	
71	1.180	1.158	1.145	1.135	1.142	1.129	1.156	1.135	1.120	1.148	1.141	1.121	1.119	1.134
72	1.174	1.159	1.161	1.149	1.166	1.166	1.155	1.155	1.150	1.134	1.150	1.145	1.101	
73	1.196	1.172	1.178	1.170	1.156	1.157	1.159	1.164	1.158	1.153	1.174	1.172	1.144	1.167
74	1.180	1.160	1.163	1.159	1.167	1.149	1.156	1.164	1.160	1.179	1.165	1.144		
75	1.149	1.110	1.099	1.104	1.085	1.092	1.076	1.070	1.107	1.102	1.066	1.053		
Media	1.169	1.145	1.144	1.137	1.134	1.131	1.132	1.127	1.130	1.131	1.127	1.130	1.115	1.151

Desvest	0.023	0.036	0.032	0.039	0.032	0.029	0.030	0.029	0.030	0.028	0.034	0.092	0.029	0.016
C. V. (%)	1.954	3.150	2.826	3.436	2.801	2.589	2.678	2.564	2.634	2.483	2.987	8.154	2.582	1.424

Anexo No. 18. Densidad en verde en función de la altura en *E. grandis* 10 años

Nº árbol	Base	1,30m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m	24m	26m
76	1.132	1.011	1.001	0.987	0.996	0.970	1.007	1.043	1.001	1.016	1.046	1.043	1.083	1.070	
77	1.097	0.996	0.996	0.983	1.005	1.015	0.986	0.994	1.018	0.982	1.074	1.030	1.050	1.064	
78	1.111	1.056	1.036	1.004	1.034	1.024	1.030	0.998	1.009	1.003	1.031	1.036	1.093	1.068	
79	1.092	1.018	1.000	0.975	0.989	0.973	0.994	0.988	1.015	1.057	1.018	1.032	1.053	1.019	
80	1.124	1.023	1.039	0.995	0.976	1.013	0.946	0.954	0.990	0.952	0.968	1.000	1.041	1.014	
81	1.123	1.062	1.122	1.081	1.025	1.018	1.009	0.985	1.003	0.980	0.996	1.023	1.035	1.023	1.043
82	1.104	1.014	1.012	0.997	0.994	1.049	1.014	1.008	0.999	1.016	1.016	1.045	1.050	1.049	
83	1.115	1.025	1.014	1.001		1.036	0.999	1.039	1.033	1.006	1.014	1.038	1.095		
84	1.150	1.086	1.072	1.037	0.988	1.005	1.000	1.007	1.017	1.044	1.046	1.030	1.052		
85	1.121	1.050	1.041	1.024	1.041	1.026	1.019	1.021	1.038	1.023	1.071	1.069			
86	1.151	1.073	1.026	0.991	0.985	0.992	0.989	0.966	1.015	1.004	1.038	1.045	1.061	1.078	
87	1.130	1.028	1.024	1.006	0.988	0.974	1.024	1.007	1.040	1.042	1.050	1.104			
88	1.155	1.056	1.068	1.046	1.063	1.037	1.035	1.054	1.046	1.076	1.093	1.050	1.088		
89	1.162	1.039	1.015	0.942	0.968	0.942	0.956	0.948	1.016	0.982	0.998	1.031	1.027	1.050	
90	1.131	1.088	1.052	0.988	0.994	0.997	0.975	1.020	1.013	1.033	1.072	1.073	1.081		
91	1.163	1.089	1.075	1.015	0.984	1.003	1.021	0.997	1.032	1.045	1.055	1.048	1.064	1.080	1.112
92	1.079	0.967	0.967	0.954	0.942	0.962	0.954	1.012	0.993	1.012	1.008	0.987	1.047	1.034	
93	1.185	1.164	1.125	1.136	1.111	1.121	1.133	1.133	1.125	1.130	1.134	1.129	1.120	1.117	
94	1.095	1.023	1.016	0.981	1.000	1.011	1.007	1.027	1.052	1.035	1.050	1.054	1.029		
95	1.132	1.053	1.042	1.017	1.026	1.000	0.990	1.020	0.994	1.000	1.038	1.052	1.038		
96	1.156	1.118	1.062	1.012	1.035	1.015	1.028	1.049	1.036	1.063	1.078	1.074	1.071	1.087	1.058
97	1.075	1.038	1.022	0.974	0.961	0.955	0.963	0.975	0.978	0.981	1.030	0.998	1.046		
98	1.137	1.075	1.067	1.031	1.023	0.992	1.026	1.043	1.055	1.035	1.060	1.042	1.077		
99	1.093	1.068	1.050	0.997	1.015	1.020	1.015	1.044	1.038	1.043	1.078	1.045	1.054	1.048	
100	1.100	0.983	1.008	0.962	0.964	0.944	1.017	0.995	1.028	1.019	1.039	1.050	1.086		
Media	1.125	1.048	1.038	1.005	1.004	1.004	1.006	1.013	1.023	1.023	1.044	1.045	1.063	1.057	1.071

Desvest	0.029	0.043	0.037	0.040	0.037	0.038	0.037	0.038	0.029	0.037	0.035	0.030	0.024	0.029	0.037
C. V. (%)	2.550	4.105	3.582	4.019	3.634	3.770	3.637	3.778	2.869	3.620	3.389	2.889	2.283	2.749	3.416

Anexo No. 19. Cuadro resumen densidad media ponderada en función de especie y edad

			DMP básica	DMP verde
<i>E. dunnii</i>	12 años	Media	0.508	1.011
		Desv.est	0.037	0.055
		C.V. (%)	7.285	5.466
	10 años	Media	0.473	1.015
		Desv.est	0.028	0.026
		C.V. (%)	5.896	2.543
<i>E. grandis</i>	12 años	Media	0.405	0.913
		Desv.est	0.028	0.029
		C.V. (%)	6.944	3.202
	10 años	Media	0.400	0.915
		Desv.est	0.032	0.039
		C.V. (%)	7.960	4.259