



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Efecto de una fertilización sobre el plan leñoso de
*Eucalyptus nitens***

Patrocinante: Sr. Juan Díaz- vaz O.

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

MAX EDUARDO MUTSCHLER RIQUELME

VALDIVIA
2005

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Juan Diaz-vaz O.	_____
Informante:	Sr. Victor Gerding S.	_____
Informante:	Sr. Aldo Rolleri E.	_____

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

Sr. Juan Diaz-vaz O.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página	
1	INTRODUCCIÓN	1
2	MARCO TEÓRICO	2
2.1	Antecedentes generales de la especie <i>E. nitens</i>	2
2.1.1	Distribución natural	2
2.1.2	Descripción de la especie	2
2.2	Variación en la anatomía de la madera	3
2.2.1	Variación de los vasos en sentido radial	3
2.2.2	Efecto de la fertilización en la madera	4
3	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	5
3.1	Procedimiento experimental	6
3.1.1	Preparación de las muestras	7
3.1.2	Análisis microscópico de los vasos	7
3.1.3	Determinación de la densidad	8
3.2	Análisis estadístico	8
3.2.1	Análisis de los vasos y densidad básica a través de los anillos	8
3.2.2	Análisis de los vasos dentro del anillo	10
4	RESULTADOS	11
4.1	Densidad de vasos	11
4.2	Diámetro de los vasos	11
4.3	Porcentaje del área cubierta por vasos	12
4.4	Densidad básica de la madera	13
4.5	Diámetro y número de vasos dentro del anillo	14
5	DISCUSIÓN	16
5.1	Distribución de los vasos en dirección médula a corteza	16
5.2	Variación de la densidad básica	17
5.3	Distribución del diámetro y número de vasos dentro del anillo	17
6	CONCLUSIONES	19
7	BIBLIOGRAFÍA	20
	ANEXOS	
1	Abstract and keywords	
2	Parámetros descriptivos, comparaciones múltiples y análisis de varianza del número, diámetro y área de los vasos además de la densidad básica a través de los anillos en dirección hacia la corteza	
3	Resultados del análisis de varianza, gráficos y rangos múltiples en la distribución del diámetro y número de los vasos dentro del anillo	

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Tratamientos de fertilización	6
Cuadro 2. Diámetro de los árboles (cm) por tratamiento	6
Cuadro 3. Antecedentes generales de la especie <i>E. nitens</i>	9

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Vasos en parte de la sección transversal del listón, luego de realizado los cortes con micrótopo	7
Figura 2. Secuencia de imágenes traslapadas en sentido radial, que conforman un anillo de crecimiento	8
Figura 3. Número promedio de vasos en individuos fertilizados y testigos, a través de los anillos en dirección hacia la corteza. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).	11
Figura 4. Diámetro promedio de los vasos en individuos fertilizados y testigos, a través de los anillos en dirección hacia la corteza. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).	12
Figura 5. Área de vasos en individuos fertilizados y testigos, a través de los anillos en dirección hacia la corteza. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).	13
Figura 6. Densidad básica en individuos fertilizados y testigos, a través de los anillos en dirección hacia la corteza. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).	14
Figura 7. Diámetro y número de vasos, según la posición relativa en el anillo, al considerar el total de anillos en individuos fertilizados y testigos. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).	15

RESUMEN EJECUTIVO

A fin de evaluar el efecto de la fertilización en la estructura del plan leñoso de individuos juveniles de *Eucalyptus nitens*, se determinó la distribución de los vasos y la densidad básica en dirección médula a corteza. Para el estudio se consideró un tratamiento testigo y otro fertilizado en una plantación a los 7 años de establecida en un suelo rojo arcilloso en la comuna de Fresia, X Región.

En cada tratamiento se analizaron 4 árboles, de acuerdo a tres clases de tamaño, considerando el diámetro medio cuadrático (DMC), donde se seleccionaron dos árboles y ± 1 desviación estándar donde se seleccionó un árbol por desviación. Las muestras (rodela) fueron removidas desde el fuste a una altura de 2 metros. Para evaluar el efecto de la fertilización en la distribución de los vasos y la densidad básica se realizaron análisis de varianza simple y factorial de dos factores a fin de establecer diferencias en la estructura anatómica de la madera.

Los resultados indican que la fertilización no afecta el número de vasos- mm^{-2} , a diferencia del diámetro de los vasos, que aumenta en los distintos anillos en dirección hacia la corteza, fluctuando el diámetro promedio entre 84 y 152 μm , y entre 89 y 135 μm en individuos fertilizados y testigos respectivamente. Como consecuencia de ello los individuos fertilizados presentaron una mayor área cubierta por vasos (8,1 %) en cada anillo en comparación a individuos testigos (6,4 %). Los parámetros descriptivos de los vasos presentaron una mayor variabilidad por efecto de la fertilización, aumentando la heterogeneidad del plan leñoso en cuanto a vasos se refiere. La fertilización no afectó la densidad básica de la madera ($0,42 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Se sugiere una interacción entre la precipitación y el efecto del fertilizante sobre la densidad de la madera.

La tendencia en la distribución de los vasos y la densidad básica a través de los anillos producto del crecimiento no se vio influenciada por los efectos de la fertilización.

Dentro del anillo se determinó una disminución en el diámetro y número de vasos al comienzo de la madera temprana, producto de lo cual el área libre de vasos aumenta en anillos de individuos fertilizados.

El método utilizado resultó ser adecuado en la medición de las características de los vasos, de fácil manejo y de buena resolución, por lo que puede ser utilizado para el estudio de las características de los vasos en otras especies.

Palabras Clave: Fertilización, *Eucalyptus nitens*, distribución y área de vasos, densidad básica, anillos.

1. INTRODUCCIÓN

La fertilización tiene por objetivo suplir la carencia de algún nutriente, facilitando su disponibilidad. Producto de esto, los árboles podrían aumentar su crecimiento, sin embargo poco se sabe de los efectos de las fertilizaciones sobre las propiedades de la madera. Idealmente estas características debieran ser influenciadas positivamente. Por otro lado es necesario determinar la relación entre la respuesta de los individuos al crecimiento, ante la adición de fertilizantes, y los cambios en las características de su plan leñoso, aislando aquellos inherentes a los cambios propios de la edad.

Son escasos los estudios acerca de los efectos de las fertilizaciones en las propiedades de la madera y sobre todo para la especie *Eucalyptus nitens* Maiden. La mayor parte de ellos está referida a los cambios de densidad que pueda afectar a la madera, como principal propiedad, influenciando su utilización y conversión. Sin embargo, no es claro el efecto de la fertilización en la densidad de la madera, mientras algunos estudios señalan diferencias de densidad ante la aplicación de distintas dosis de fertilizantes, otros no determinan cambios significativos en ella.

Con respecto a otras propiedades de la madera, la información se hace más escasa. Sin embargo, los estudios disponibles de especies del género *Eucalyptus* reportan cambios en el largo de las fibras y disminuciones en el ancho de anillos producto de las fertilizaciones.

Por lo anteriormente expuesto, resalta una serie de preguntas sobre los efectos de la fertilización en el plan leñoso de la madera de *Eucalyptus nitens*, y por ello interrogantes relacionadas con las propiedades de la madera y el grado en que éstas se ven influidas.

El siguiente estudio tiene por objetivo determinar las posibles diferencias en la estructura del plan leñoso de individuos juveniles de *Eucalyptus nitens*, por efecto de una fertilización¹. Para el logro de este objetivo general se consideraron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar, mediante un análisis microscópico, la distribución del número, diámetro y área de los vasos en sentido médula a corteza, dentro y a través de los anillos, a fin de establecer posibles diferencias entre individuos fertilizados de aquellos sin fertilizar.
- Determinar posibles variaciones en la densidad básica de la madera a través de los anillos en sentido médula a corteza, entre individuos fertilizados y sin fertilizar.

¹ Proyecto Fondecyt 1010174. "Manejo nutritivo de *Eucalyptus nitens* hasta la etapa de culminación cuantitativa del incremento corriente anual, en un suelo rojo arcilloso de la X Región." Proyecto DID-5-200024 de la Universidad Austral de Chile.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes generales de la especie *E. nitens*

2.1.1 Distribución natural

Eucalyptus nitens es una especie de rápido crecimiento propia de las zonas montañosas del sudeste australiano, específicamente en los estados de Nueva Gales del Sur y Victoria, entre los 35^o y 38^o de latitud sur y en un rango altitudinal de 800 a 1.500 m s.n.m. Conocido también como *Shining gum*, suele encontrarse en forma natural asociado a otras especies de *Eucalyptus* incluyendo *E. regnans*, *E. delegatensis*, *E. globulus*, *E. fastigata* y *E. obliqua* (INFOR 1986).

La especie se desarrolla en un clima templado de altura con precipitaciones que varían entre 750 y 1.500 mm distribuidos a lo largo del año pero con un máximo invernal. Las temperaturas fluctúan entre 21 y 26^o C en verano y -5 y 10,5^o C en invierno; al igual que las precipitaciones, éstas decrecen de norte a sur (Faesch, 1995).

En su zona de origen, *E. nitens* se desarrolla bien en variados tipos de suelo, especialmente en aquellos que presentan horizontes arcillosos profundos (INFOR 1986).

2.1.2 Descripción de la especie

En su estado adulto los individuos superan los 60 m de altura y su diámetro puede alcanzar los 100 cm (Lama, 1976). Una característica importante de la especie es su resistencia a las heladas pudiendo soportar temperaturas de hasta -12^oC sin morir (Prado, 1989).

Su madera seca es casi blanca, de textura fina y grano normalmente recto. La densidad básica promedio para muestras obtenidas en Chile es de 495 kg·m⁻³, mientras que en Australia varía de 645 a 720 kg·m⁻³. Esta considerable baja en la densidad se atribuye a la gran velocidad de crecimiento (INFOR, 1986).

En cuanto a sus usos, estos pueden ir desde tableros hasta madera estructural, e inclusive madera aserrada, con técnicas adecuadas que minimicen los problemas de contracción, colapso o grietas (Lama, 1976; INFOR, 1986). Con respecto a su utilización como material pulpable, la información es variada. Mientras la mayor parte de los estudios clasifican a *E. nitens* como una especie de alto rendimiento y con óptimas características para la obtención de pulpa (INFOR, 1986; Faesch, 1995), otros observan limitaciones en cuanto a su uso como material pulpable dada su baja densidad (Leiva, 2000). Lo que sí está claro es que las cualidades que presente un individuo van a depender de varios factores, a saber: la procedencia, el sitio y las labores silviculturales practicadas.

2.2 Variación en la anatomía de la madera

Las características de las variaciones anatómicas de la madera van a depender de la influencia medioambiental, del factor genético, además de la silvicultura aplicada en el crecimiento de la planta. Wilkes (1988) asigna una mayor incidencia del genotipo con respecto a las variaciones anatómicas de la madera de *Eucalyptus sp.* El mismo autor señala que estas diferencias, entre árboles vecinos de una misma edad, pueden exceder el 25 y 50% para las variables largo de fibras y densidad básica, respectivamente. Hudson *et al.* (1998) señalan que la morfología de los vasos está influida por el ambiente, ya que al aumentar la aridez el diámetro y el largo de los vasos disminuye, sin embargo su número se ve incrementado.

A pesar del gran número de factores que pueden afectar las características anatómicas de la madera, es posible apreciar ciertas tendencias con respecto a la estructura de los elementos anatómicos en el fuste, principalmente en sentido radial. Esto guarda relación con el surgimiento de tecnologías computacionales y análisis de imágenes microscópicas, como requisito para mediciones más eficientes de estructuras celulares a través de una secuencia de anillos de crecimiento (Spiecker *et al.*, 2000).

2.2.1 Variación de los vasos en sentido radial

En sentido médula a corteza, distintos estudios señalan una variación en la morfología y distribución de los vasos para distintas especies de *Eucalyptus sp.* Wilkes (1988) señala, para la especie *E. regnans*, una disminución de alrededor del 50% en la frecuencia de los vasos, con 20 vasos·mm⁻² en los anillos próximos a la médula, a 10 vasos·mm⁻² cerca de la corteza. En cambio, el diámetro de los vasos tiende a aumentar con vasos de entre 50 y 100 micrómetros cerca de la médula, hasta vasos de 150 micrómetros próximos a la corteza.

Hudson *et al.* (1998) determinaron a una altura de 5% de la altura total en individuos de 7 años de *E. nitens*, una cobertura de vasos de 8% en un transepto desde médula a corteza, de 2,12 mm de ancho. Con respecto al área individual de los vasos ésta cambia desde 500 μm² cerca de la médula hasta alrededor de 35.000 μm² cerca de la corteza tanto para individuos de *E. nitens* como de *E. globulus*.

La variación del diámetro y número de vasos es diferente en los distintos segmentos de madera temprana, madera intermedia y madera tardía que conforman el anillo. Según Hudson *et al.* (1998) hay pocos y pequeños vasos en la madera temprana, un número elevado de vasos grandes en la madera intermedia, para luego disminuir nuevamente en número y tamaño de madera intermedia a madera tardía. El elevado número de vasos grandes en la madera intermedia se ha explicado como resultado del aumento en la demanda de agua en el verano. Por su parte Williams (1994) determinó un número menor de vasos en madera tardía de *Eucalyptus nitens*, *E. globulus* y *E. regnans*.

Distintos estudios señalan la existencia de un área libre de vasos, al comienzo de la madera temprana en *Eucalyptus nitens* (Hudson *et al.*, 1998).

2.2.2 Efecto de la fertilización en la madera

La aplicación de fertilizantes, en sitios deficitarios, estimula el crecimiento al aumentar la disponibilidad general de nutrientes, desarrollándose el tamaño de la copa y por ende la superficie fotosintetizante. Los cambios en las propiedades de la madera como resultado de la fertilización, que inducen a un crecimiento rápido, son similares a aquellos que ocurren como resultado de un aumento en la tasa de crecimiento asociado a otras prácticas. Ahora bien, la fertilización al igual que el raleo aplicado en rodales jóvenes, resulta en un centro juvenil más amplio, producto del aumento en el ancho de anillos y la extensión del periodo juvenil (Haygreen y Bowyer, 1982).

Las propiedades de la madera adquieren mayor uniformidad una vez ocurrida la fertilización. Haygreen y Bowyer (1982) señalan que la fertilización causa gran uniformidad en la densidad, dentro de cada anillo de crecimiento, y que la proporción de volumen utilizado por los vasos aumenta levemente, producto del aumento en diámetro de los mismos. Binkley (1993) señala que la fertilización produce una disminución en la proporción de madera tardía, y por ende una disminución en la densidad. DeBell *et al.* (2001) concluyeron que dosis distintas de fertilizante no afectaron la densidad de la madera. Wilkins (1990) determinó, para muestras obtenidas a 1,3 m de altura en individuos de 11 años de la especie *E. grandis*, que la densidad básica promedio no se ve afectada al comparar individuos fertilizados y sin fertilizar.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Las muestras de madera se obtuvieron a partir de una plantación de *Eucalyptus nitens* establecida el año 1996, en el predio Pichimaule, ubicado a los 41°01'S y 73°27'O a 1,2 km de la localidad de Tegualda, comuna de Fresia, provincia de Llanquihue, Décima Región de Los Lagos, con una altitud de 200 m s.n.m.

El clima del sector corresponde al de costa occidental con influencia mediterránea de acuerdo a la clasificación de Köppen (Donoso, 1992). Según Schlatter *et al.* (1995) se producen entre 20 y 30 heladas anuales y 150 a 200 días libres de heladas en un año, con una temperatura media anual de 11,4 °C (Novoa y Villaseca, 1989) y temperatura mínima anual de - 6°C y precipitaciones anuales desde 1.600 a 2.000 mm.

El suelo donde se llevó a cabo el estudio pertenece a la serie Crucero (CIREN, 2001), que se presenta en la Depresión Intermedia entre los 150 y 200 m s.n.m., en terrazas remanentes de ligera a moderada ondulación. Son suelos originados por cenizas volcánicas depositadas sobre sedimentos fluvioglaciales. Su textura en superficie es franco limosa y en profundidad arcillo limosa. Son de color pardo muy oscuro y varían a pardo amarillento oscuro en profundidad. Presentan características físicas homogéneas, buena profundidad, con buena estructura y drenaje interno moderado a lento. Presenta un buen arraigamiento, pero con poca presencia de raíces gruesas en profundidad, por efecto del régimen de agua independiente de las características físicas y químicas del suelo (Moldenhauer, 2003). El suelo anteriormente tuvo un uso agrícola y de ganadería en pradera natural.

Particularidades de las plantaciones disponibles para los ensayos:

Preparación del terreno. En marzo de 1996 se había llevado a cabo un control químico de malezas en toda la superficie, además de un subsolado a 50 cm de profundidad en las líneas de plantación.

Plantación. En junio de 1996 se establecieron las plantas de *E. nitens*, producidas de semillas provenientes de Macalyster (Victoria Central, Australia), con una densidad de 1.666 plantas/ha.

Tratamientos de fertilización. En junio de 1996 se aplicaron productos fosforados de baja solubilidad preplantación, junto con la preparación del suelo. Una segunda aplicación en octubre consideró fertilizantes de alta solubilidad posplantación. En 1997, la fertilización se determinó en función del crecimiento observado en la plantación (cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización.

Aplicación preplantación junio 1996	Fertilización posplantación(1) octubre 1996	Fertilización posplantación(2) septiembre 1997	Tratamiento
Roca fosfórica Carolina del Norte 53 kg ha ⁻¹ de P (6,1 ha)	135 g-planta ⁻¹ de NPK(20:25:5) + micronutrientes	48 kg ha ⁻¹ P, 45 N, 10 K, B, Cu y Zn	Fertilizado
Control (8,6 ha)	Sin fertilizar	Sin fertilizar	Testigo

(1): El fertilizante se incorporó en dos bandas de 40 cm de largo y 5 cm de profundidad, a 5-10 cm de las plantas. Como fuente de N se usó urea, de P superfosfato triple y de K sulfato de potasio. Zn y Cu como sulfatos; B, boronatrocalcita.

(2): La fertilización se realizó al voleo, en fajas junto a las hileras de árboles. N, urea; P, superfosfato triple (según oferta del suelo); K, muriato de potasio. 48 kg Boronatrocalcita, 5 kg de sulfato de Cu y 5 kg de sulfato de Zn.

3.1 Procedimiento experimental

Por cada tratamiento, especificado en el cuadro 1, se seleccionaron 4 árboles de acuerdo a tres clases de tamaño, considerando el diámetro medio cuadrático (DMC), donde se seleccionaron dos árboles, y ± 1 desviación estándar, donde se seleccionó un árbol por desviación (cuadro 2). Si bien el DMC en ambos tratamientos fue similar a los 7 años de edad, con la fertilización se logró un rodal más homogéneo y cuya masa principal de árboles se encontraba concentrada en diámetros mayores que en el testigo. La biomasa aérea, sin embargo, en el tratamiento fertilizado fue superior sólo en 5% respecto al testigo. Las muestras (rodela) habían sido removidas desde el fuste a una altura de 2 m, en mayo del 2003. Ambos rodales presentaban una densidad de 1.500 árboles ha⁻¹.

Cuadro 2. Diámetro de los árboles (cm) por tratamiento

Clase diamétrica	fertilizado	testigo
DMC	19,4	19,4
DMC	18,6	18,5
DMC + 1 S	23,3	22,1
DMC - 1 S	15,3	14,7
Promedio	19,2	18,7

3.1.1 Preparación de las muestras

De cada una de las rodelas seleccionadas, se obtuvo un listón libre de nudos u otros defectos, en sentido transversal desde médula a corteza, de aproximadamente 1 cm de ancho, un largo igual al radio de la sección seleccionada en la rodela y de 1 cm de alto.

Para la preparación de las muestras, se realizaron cortes con micrótopo en los listones, de entre 10 y 30 μm de espesor, hasta que los vasos fuesen claramente visibles y sus paredes no presentaran deformaciones (figura 1).

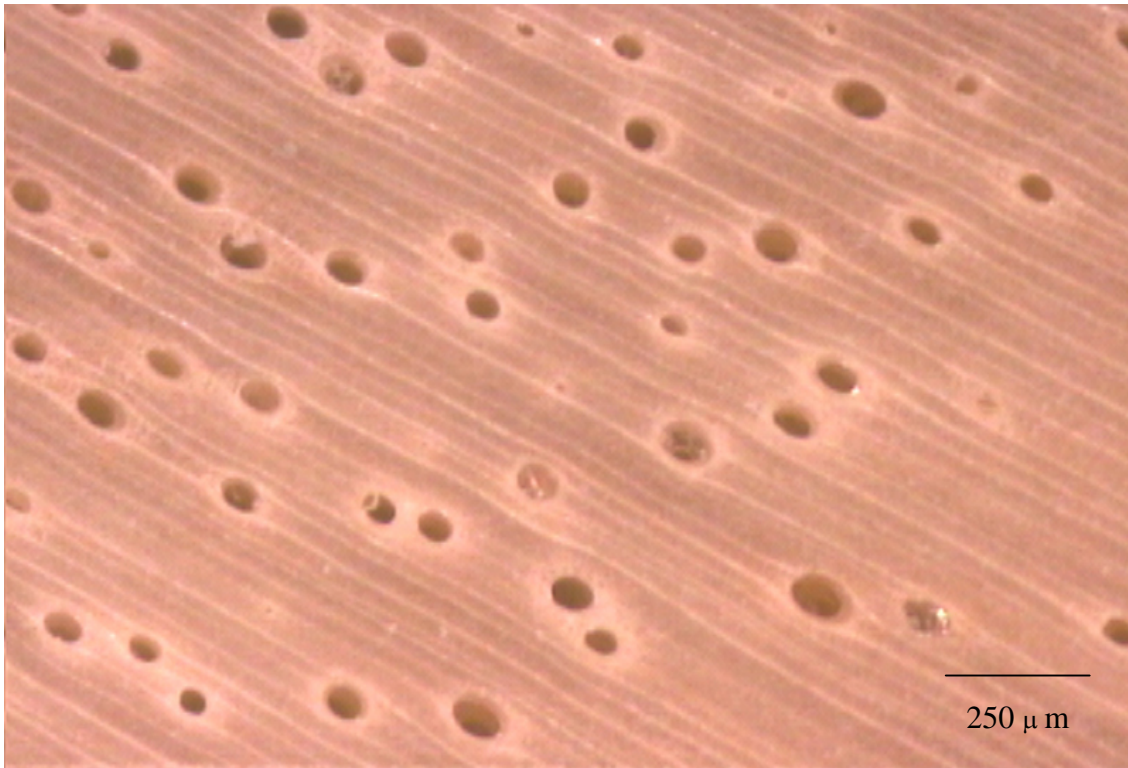


Figura 1. Vasos en parte de la sección transversal del listón, luego de realizado los cortes con micrótopo

3.1.2 Análisis microscópico de los vasos

Mediante una cámara de video conectada a una lupa se fotografiaron los listones en forma consecutiva, orientados desde corteza a médula. A través del programa SigmaScan Pro 5.0 se anexaron las imágenes, a fin de obtener la secuencia completa para cada anillo (figura 2), cubriendo una superficie de 2,12 mm de ancho y un largo igual al ancho total del anillo.

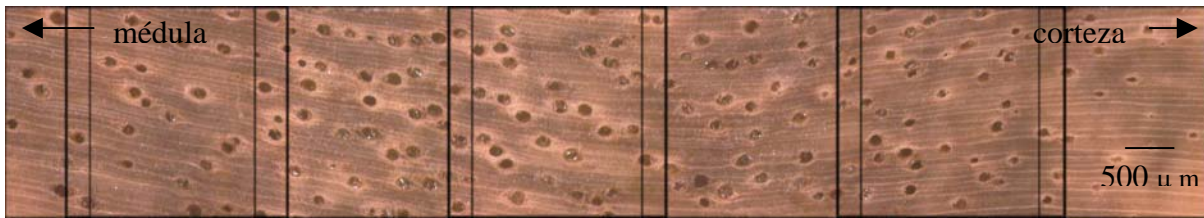


Figura 2. Secuencia de imágenes traslapadas en sentido radial, que conforman un anillo de crecimiento

Luego de obtenida la imagen completa del anillo, se procedió a identificar y medir los vasos, en sentido médula a corteza, para todos los anillos en cada uno de los individuos (listón).

Las mediciones a los vasos también se realizaron utilizando el programa SigmaScan Pro 5.0 y las variables determinadas fueron, el diámetro de los vasos, el número de vasos por unidad de superficie, el área de los vasos y la posición de los vasos, con el fin de conocer la distribución de éstos en cada anillo.

Los datos se importaron a Microsoft Excel para facilitar el procesamiento y posterior confección de cuadros y figuras.

3.1.2 *Determinación de la densidad*

Una vez obtenidas las mediciones de los vasos, se dividieron los listones en probetas, que correspondían a cada anillo de crecimiento, con lo que se obtuvo cuatro repeticiones por anillo para cada tratamiento. Para determinar la densidad básica se utilizó el método de desplazamiento de agua, según Arquímedes.

3.2 **Análisis estadístico**

3.2.1 *Análisis de los vasos y densidad básica a través de los anillos*

Previo al diseño factorial se confeccionó un listado con la información del diseño. Los procedimientos estadísticos se obtuvieron a partir de Steel y Torrie (1985).

Tratamientos: 2 (con y sin fertilización)

Árboles por tratamiento: 4 (DMCx2, DMC+1S, DMC-1S)

Rodelas por árbol: 1 (2 m de altura)

Listones por rodela: 1 (radial de médula a corteza)

Anillos por listón: 6 (desde 2 a 7 años de edad; años 1998 a 2003)

Parcelas por anillo: 1 (2,12 mm x ancho de anillo)

VARIABLES: densidad de vasos, diámetro de vasos, área de vasos, ubicación de los vasos, densidad básica por anillo

El ensayo se evaluó a través de un diseño factorial de 2 x 6 (tratamiento x anillo) con 4 repeticiones (árboles). Se aprecia en el cuadro 3, un menor número de repeticiones a los 2 años de edad (anillo 1998) en individuos testigos debido a que uno de los individuos presentaba sólo 5 anillos de crecimiento a 2 m de altura.

Cuadro 3. Número de repeticiones del diseño factorial

Años de edad (Anillo)	fertilizado	testigo
2 (1998)	4	3
3 (1999)	4	4
4 (2000)	4	4
5 (2001)	4	4
6 (2002)	4	4
7 (2003)	4	4

$$\text{Modelo: } y = \mu + F + A + F \times A + e$$

Donde:

y = Variable respuesta: Diámetro, área, número de vasos y densidad básica

μ = Efecto medio del ensayo.

F = Efecto de la fertilización.

A = Efecto del anillo.

F x A = Interacción fertilización x anillo.

e = Error.

El análisis de varianza para el modelo planteado se realizó mediante el programa *Statgraphics*; previamente se comprobaron los dos supuestos básicos:

- Los tratamientos tienen que distribuirse normales, lo cual se comprobó con Chi-cuadrado para normalidad al 95% de confianza.
- Las varianzas (homogeneidad de varianzas) entre los tratamientos deben ser iguales. Se analizó con la prueba de Barlett, al 95% de confianza.

Si al menos un supuesto no se cumplió, se probaron las transformaciones a logaritmo y raíz cuadrada, seleccionando aquella transformación que presentó

mejores valores de ajustes (tanto para normalidad y homogeneidad de varianzas). Tanto la variable diámetro y área de los vasos requirieron ser transformadas a raíz cuadrada y arco seno de la raíz cuadrada respectivamente.

Para analizar las diferencias a través de los anillos y entre tratamientos se realizó comparaciones múltiples mediante Duncan al 95% de confianza.

Se realizó un análisis descriptivo a través del número de observaciones, valores mínimos, medios, máximos, y coeficiente de variación en porcentaje, para las variables en estudio, además de un análisis de varianza simple para determinar diferencias en el ancho de anillo entre individuos fertilizados y testigos (anexo 2).

3.2.2 Análisis de los vasos dentro del anillo

Para el análisis de los vasos dentro del anillo se realizaron análisis de varianza simple, donde se comparó el diámetro y número de vasos por milímetro cuadrado a partir de la posición en el anillo de individuos testigos y fertilizados, además de comparaciones múltiples (Duncan al 95% de confianza) para evaluar las diferencias de los vasos dentro del anillo de crecimiento. Se realizó un análisis descriptivo al igual que a través de los anillos (Anexo 3). Las posiciones en el anillo en sentido radial correspondieron al 5% y cada 10 puntos hasta el 95% (10 posiciones). Para los árboles fertilizados se contó con 24 repeticiones y para los testigos con 23. El modelo de análisis de varianza fue el siguiente:

$$\text{Modelo: } y = \mu + F \text{ o } A + e$$

Donde:

y = Variable respuesta: Diámetro y número de vasos (%).

μ = Efecto medio del ensayo.

F = Efecto de la fertilización.

A = Efecto del anillo.

e = Error.

4. RESULTADOS

4.1 Número de vasos por milímetro cuadrado

No se encontró una diferencia significativa ($p > 0,05$) en el número de vasos·mm⁻² entre individuos fertilizados y testigos. El rango observado fue de 4 a 8 vasos·mm⁻². En los primeros anillos (figura 3) el número de vasos tiende a disminuir ($p < 0,01$), tanto en individuos fertilizados como en testigos, hasta mantenerse constante a partir de los 4 años de edad. El número de vasos mostró una mayor variabilidad con la fertilización (anexo 2, cuadros 4 y 5).

No se determinó una interacción ($p > 0,05$) entre la fertilización y la edad sobre el número de vasos·mm⁻².

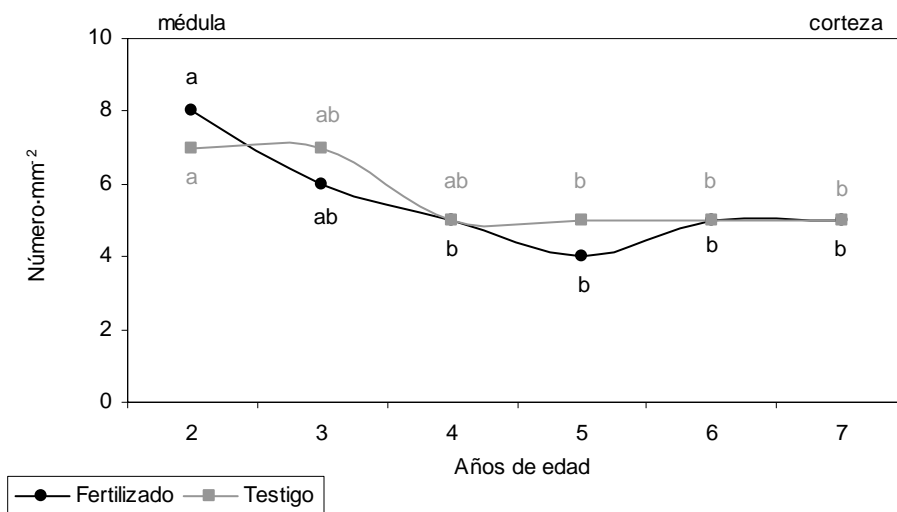


Figura 3. Número promedio de vasos en individuos fertilizados y testigos, a través de los anillos, en dirección hacia la corteza. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).

4.2 Diámetro de los vasos.

El diámetro promedio de los vasos fluctuó entre 84 y 152 μm , y entre 89 y 135 μm en individuos fertilizados y testigos respectivamente. Los vasos de individuos fertilizados presentaron un diámetro promedio mayor ($p < 0,01$) en 3,5% (4 μm) con respecto a los testigos (anexo 2, cuadros 1 y 2), a pesar de ello se pueden encontrar diferencias de hasta 20% (30 μm) en diámetro (4 años) al comparar anillos individuales (figura 4). Esta mínima diferencia en el diámetro promedio se asocia con el mayor número de vasos presente en el primer anillo (2 años) (figura 3), siendo éste el único anillo donde el diámetro de los vasos de individuos fertilizados es menor al de testigos.

El diámetro de los vasos tiende a aumentar ($p < 0,01$) a través de los primeros anillos tanto en individuos fertilizados como testigos, para luego permanecer constante a partir de los 5 años de edad (figura 4). El diámetro de los vasos presenta una mayor variabilidad con la fertilización siendo el coeficiente de variación de 34,1% en los fertilizados y 28,2% en los testigos (anexo 2, cuadros 7 y 8).

Se encontró una interacción ($p < 0,01$) entre la fertilización y la edad sobre el diámetro de los vasos. Esta interacción se produce solo en el primer anillo de crecimiento (2 años) donde el diámetro de los vasos de individuos testigos es mayor al de individuos fertilizados (figura 4), sin embargo producto del aumento en número y disminución en diámetro que experimentan los vasos al acercarse a la médula, podrían producirse distorsiones debido a la dificultad en la marcación de los vasos. A esto hay que sumarle el menor número de repeticiones presente a los 2 años de edad (anillo 1998) en individuos testigos.

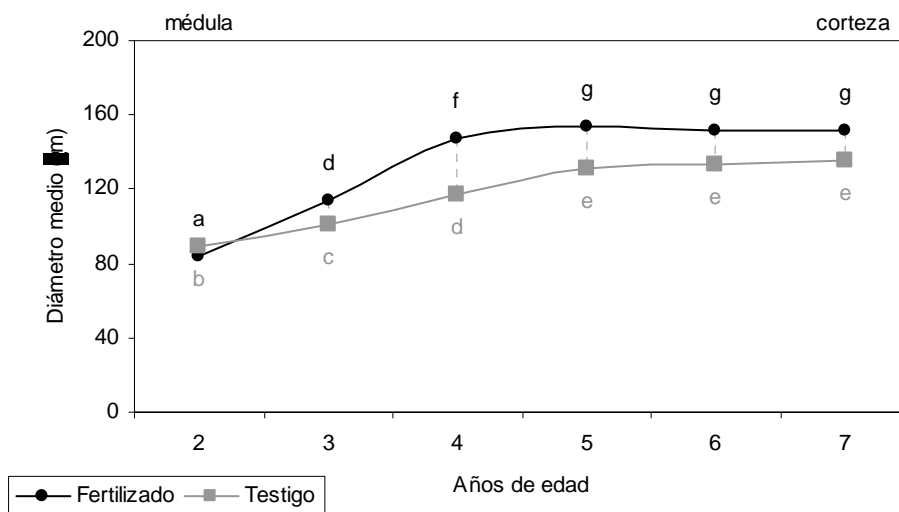


Figura 4. Diámetro promedio de los vasos en individuos fertilizados y testigos, a través de los anillos, en dirección hacia la corteza. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).

4.3 Porcentaje del área de los vasos

En el testigo, el área de los vasos fluctuó entre 4,6 y 7,5%, mientras que con la fertilización se alcanzaron valores de 4,9 a 9,6%. Los individuos fertilizados presentaron un área de vasos mayor ($p < 0,01$), siendo el promedio del área de vasos superior en 1,7 puntos porcentuales con respecto a los individuos testigos (anexo 2, cuadros 10 y 11).

El área de los vasos tendió a aumentar ($p < 0,01$) a través de la edad tanto en individuos fertilizados como en testigos (figura 5), con lo cual se puede considerar que estas diferencias en el área de los vasos en dirección hacia la corteza son

producto de la respuesta de los individuos al crecimiento. El área de vasos mostró una mayor variabilidad por efecto de la fertilización.

No se encontró una interacción entre la fertilización y la edad en la distribución del área de los vasos ($p>0,05$).

Se aprecia en la figura 5, que ambos tratamientos muestran una tendencia parecida y el área de los vasos fue siempre mayor en los individuos fertilizados.

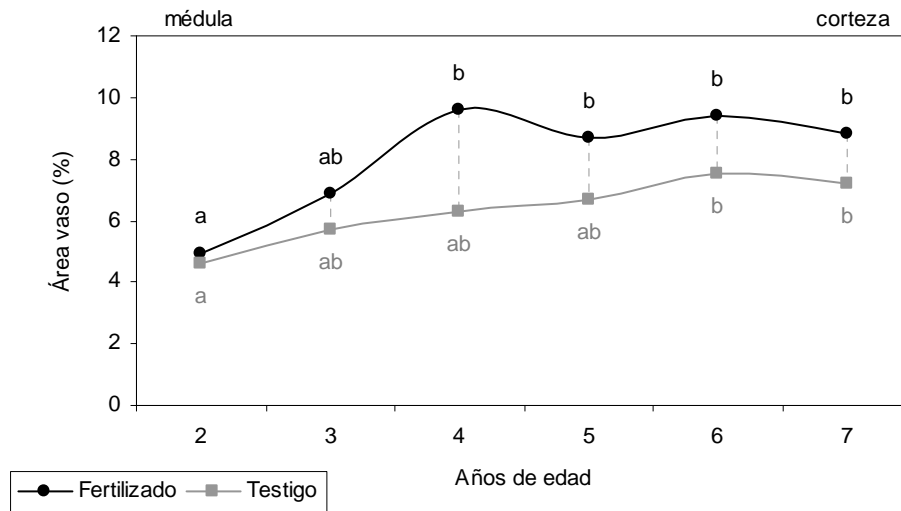


Figura 5. Área de vasos en individuos fertilizados y testigos, a través de los anillos, en dirección hacia la corteza. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p<0,05$).

4.4 Densidad básica de la madera

La densidad básica fluctuó entre 0,37 y 0,50 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. No se detectó una diferencia ($p>0,05$) en la densidad básica entre individuos fertilizados y testigos (figura 6). A pesar de ello se observa una mayor diferencia de la densidad básica al comparar los primeros anillos, siendo mayor a los 3 años de edad (anillo 1999).

La densidad básica tiende a disminuir ($p<0,01$) a través de la edad tanto en individuos fertilizados como en testigos (figura 6), hasta permanecer relativamente constante a partir del quinto año de edad (anillo 2001). La densidad básica presenta una variación levemente mayor en individuos testigos (anexo 2, cuadros 13 y 14)

No hubo interacción ($p>0,05$) entre la fertilización y la edad para la densidad básica.

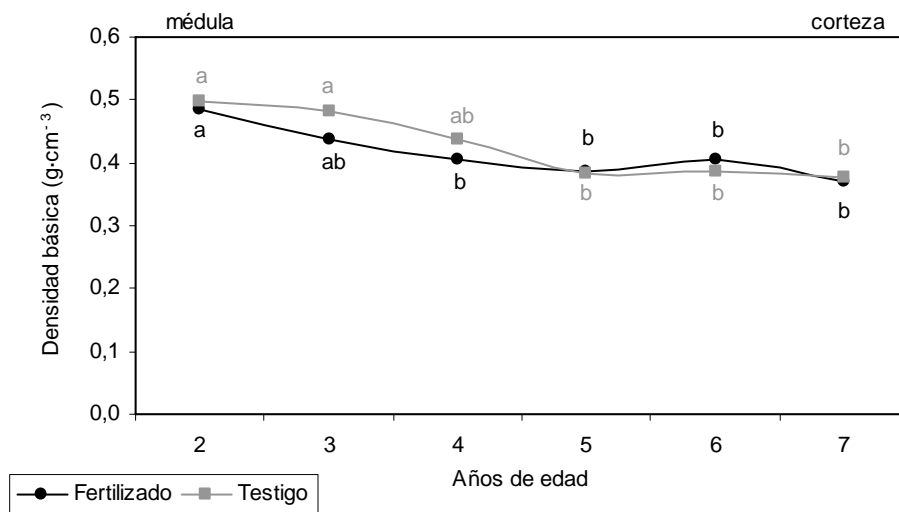


Figura 6. Densidad básica en individuos fertilizados y testigos, a través de los anillos, en dirección hacia la corteza. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).

4.5 Diámetro y número de vasos dentro del anillo

Los vasos de individuos fertilizados y testigos presentaron una tendencia de variación similar en la distribución de su diámetro y número dentro del anillo (figura 7). En general, al inicio de cada anillo y hasta el 35% se presentó una zona caracterizada por el aumento ($p < 0,05$) paulatino en el número y diámetro de los vasos (madera temprana); desde la posición 35% y hasta el 75% se presentó una zona con un número elevado de vasos con grandes diámetros (madera intermedia), para al término del anillo disminuir nuevamente en número y tamaño (madera tardía).

El diámetro promedio en individuos fertilizados fluctuó entre 70 y 131 μm y en testigos entre 93 y 120 μm , siendo mayor la variación intraincremental en los primeros. A pesar de ello, los vasos de individuos fertilizados presentan un menor diámetro ($p < 0,05$) al inicio del anillo, específicamente en la posición 5 y 15 %, siendo mayor en las posiciones restantes, respecto a los vasos de individuos testigos. El número de vasos promedio fluctuó entre 1 y 7 vasos· mm^{-2} en individuos fertilizados y entre 3 y 6 vasos· mm^{-2} en testigos, siendo mayor la variación intraincremental en fertilizados. A excepción del anillo del año 1998 (anexo 4, figura 1), el número de los vasos también es menor ($p < 0,05$) al inicio de los anillos de individuos fertilizados, posición 5 y 15 %, no encontrándose una diferencia ($p > 0,05$) en las posiciones restantes con respecto a los anillos de individuos testigos (anexo 3, cuadro 9).

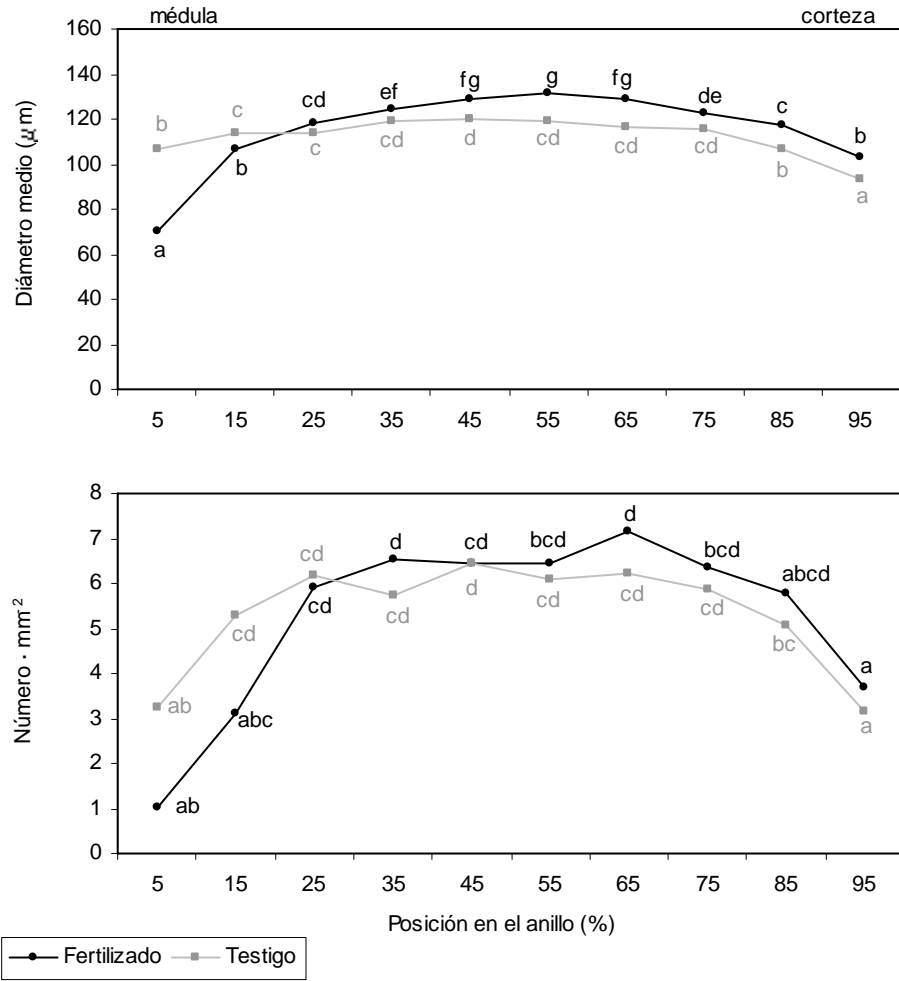


Figura 7. Diámetro y número de vasos, según la posición relativa en el anillo, al considerar el total de anillos en individuos fertilizados y testigos. Letras coincidentes dentro y entre individuos indican diferencia no significativa ($p < 0,05$).

5. DISCUSIÓN

5.1 Distribución de los vasos en dirección médula a corteza

A partir de la variación de las distintas características de los vasos, se confirma el hecho, tanto en individuos fertilizados como testigos, que al ir avanzando hacia la corteza los vasos disminuyeron en número, pero aumentaron su diámetro, conforme van utilizando una mayor superficie. Esto ocurre como respuesta al crecimiento con el aumento de la edad en la etapa juvenil observada. Esta tendencia en la disminución del número de vasos·mm⁻² y el consiguiente aumento en diámetro, es similar a aquella observada en individuos de *E. regnans* (Wilkes 1988), *E. nitens* (Hudson *et al.*, 1998) y *E. globulus* (Hudson *et al.*, 1998; Leal *et al.*, 2003).

No se constataron diferencias en el número de vasos·mm⁻² por efecto de la fertilización. Los vasos de individuos fertilizados presentaron un diámetro mayor al de los individuos testigos, igualmente el porcentaje del área cubierta por vasos también resultó mayor en aquellos individuos fertilizados (figura 5). Andrade *et al.* (1994) también determinaron un aumento en el diámetro de vasos de individuos de *E. grandis* por efecto de la fertilización. El aumento en diámetro que experimentaron los vasos, se explica por el consiguiente aumento en la demanda de nutrientes, debido al mayor desarrollo que experimenta la biomasa foliar al verse afectada por la fertilización (Aparicio, 2001). Los resultados del promedio del área total de vasos (Anexo 2) son similares a aquellos observados por Hudson *et al.* (1998), en individuos de 7 años de edad de *E. nitens*. Los parámetros descriptivos, número, diámetro y área de vasos, presentaron una mayor variabilidad por efecto de la fertilización (Anexo 2), aumentando la heterogeneidad del plan leñoso.

El porcentaje del área cubierta por vasos aumentó paulatinamente a través de los anillos de individuos testigos hasta un máximo a los 6 años de edad (anillo 2002), para luego disminuir levemente (figura 5). En los anillos de individuos fertilizados, el área de los vasos aumentó en forma sostenida hasta un máximo a los 4 años de edad (anillo 2000), para luego en los anillos siguientes permanecer más o menos constante. Esta diferencia en la distribución del área de los vasos, se podría asociar a que el cierre de copas se produce con anterioridad en aquellos rodales fertilizados, estableciéndose previamente la máxima demanda por nutrientes. Una tendencia similar sucedió con el ancho de anillo de individuos fertilizados, alcanzándose un mayor ancho y una posterior disminución con anterioridad que en individuos testigos (anexo 2, cuadros 1, 2 y 3).

Cabe mencionar, que no fue posible establecer una relación entre los parámetros descriptivos de los vasos y el diámetro que presentan los individuos a 2 m de altura (cuadro 2), debido a que las rodela no eran concéntricas, siendo el largo de los listones distinto al radio de los individuos (el largo del listón corresponde al radio de la sección seleccionada en la rodela).

El método utilizado en la medición de las características de los vasos resultó adecuado, dado que las variaciones que experimentaron los vasos en el presente estudio no hacen más que confirmar reportes anteriores sobre la anatomía de los vasos en distintas especies de *Eucalyptus sp.* (Andrade *et al.*, 1994; Hudson *et al.*, 1998; Leal *et al.*, 2003; Wilkes 1988).

5.2 Variación de la densidad básica

La densidad básica fue menor en los primeros anillos, tanto en individuos fertilizados como testigos. DeBell *et al.* (2001) determinaron en árboles de 15 años de *E. saligna*, que la densidad básica se mantiene constante o disminuye levemente en los primeros años, para después aumentar con la distancia desde la médula. Wilkins (1990) concluye que la menor densidad inicial de la madera es más pronunciada al ir aumentando en altura.

Se determinó que la fertilización no afectó la densidad básica, sin embargo la variabilidad disminuyó levemente. Este resultado contrasta con lo determinado para los parámetros descriptivos de los vasos donde aumentó la variabilidad por efecto de la fertilización (Anexo 2). Un estudio en *E. grandis* (Andrade *et al.*, 1994) no detectó cambio significativo en la densidad. Raymond y Muneri (2000) reportan cambios de densidad en *E. globulus* ante la adición de fertilizantes, sin embargo sugieren una relación entre la precipitación y el efecto del fertilizante, al registrar un mayor efecto en la densidad y otras propiedades de la madera en zonas secas, a diferencia de aquellas zonas más húmedas (1000 mm) donde los cambios no son evidentes. Por lo que la abundante precipitación presente en la zona de estudio (1.600 - 2.000 mm) podría influir en la no ocurrencia de cambios en la densidad de la madera.

Al no constatar cambios en la densidad se descarta alguna relación de ésta con el aumento en área que experimentaron los vasos, como consecuencia de la fertilización, sin embargo se infiere una posible relación entre el aumento en área de los vasos y la disminución de la densidad básica por efecto del crecimiento. Wilkes (1988) señala que el aumento en densidad es producto del aumento en grosor de la pared y diámetro que experimentan las fibras en dirección hacia la corteza. Si bien las fibras representan la mayoría del volumen de la madera, la densidad va a depender de la proporción relativa de los variados tipos de células (Dinwoodie, 2000). Es por ello que para establecer alguna relación entre el área de los vasos y la densidad básica, resultaría necesario determinar como varían las características de las otras células.

5.3 Distribución del diámetro y número de vasos dentro del anillo

Los vasos de individuos fertilizados así como los de testigos van disminuyendo en número, así como aumentan su diámetro a través de los anillos en dirección hacia la corteza. Sin embargo, esta distribución dista mucho de aquella que se presenta dentro de cada anillo.

La variación que experimentan los vasos a través del anillo va a depender de si se trata de madera temprana, intermedia o tardía. Hudson *et al.* (1998) observaron una distribución similar a la de este trabajo en cuanto al número y diámetro de los vasos en anillos de individuos de *E. globulus* y *E. nitens*.

Tanto en anillos de individuos fertilizados como testigos, se presentó una zona al comienzo de la madera temprana, caracterizada por la disminución en el número y diámetro de los vasos (Anexo 3, figura 1). Esta zona descrita por Hudson *et al.* (1998) como área libre de vasos, es más marcada en los anillos de individuos fertilizados, donde los vasos presentan un menor número y diámetro con respecto a la misma posición (5 y 15%) que en anillos de individuos testigos. Se representa en la figura 1 (anexo 4), la baja presencia de vasos al inicio de los anillos de individuos fertilizados, destacando la ausencia de vasos (posición 5%) al inicio de los 6 años de edad (anillo 2002). Algo distinto sucede con las posiciones restantes dentro del anillo (25 – 100%), donde los vasos de individuos fertilizados presentan un mayor diámetro. El número de vasos·mm⁻², en cambio, no fue afectado por la fertilización.

6. CONCLUSIONES

Se determinó como respuesta de los individuos al crecimiento, que el diámetro de los vasos aumenta a través de los anillos en dirección hacia la corteza, sin embargo su número disminuye; el aumento en área fue producto de un número de vasos cada vez menor, pero de mayor tamaño individual.

La fertilización no afectó el número de vasos·mm⁻², pero aumentó el diámetro de los vasos. Como consecuencia de ello los individuos fertilizados presentaron una mayor área de vasos en los distintos anillos. Los parámetros descriptivos de los vasos presentaron una mayor variabilidad por efecto de la fertilización, aumentando la heterogeneidad del plan leñoso en cuanto a vasos se refiere.

La densidad básica disminuyó a través de los primeros anillos, en dirección hacia la corteza, tanto en fertilizados como testigos.

La fertilización no afectó la densidad básica. Con lo cual se descarta algún efecto del aumento en área de los vasos y la densidad de la madera, como consecuencia de la fertilización. Se sugiere de acuerdo a lo informado en la bibliografía, una interacción entre la precipitación y el efecto del fertilizante sobre la densidad de la madera.

La variación que experimentaron los vasos a través del anillo por efecto del crecimiento, está asociada a los segmentos de madera temprana, con un aumento paulatino en el número y diámetro de los vasos; intermedia, con un número elevado de vasos con grandes diámetros; y tardía, con una disminución en el número y diámetro de los vasos.

Dentro del anillo se registró una disminución en el diámetro y número de vasos al comienzo de la madera temprana, aumentando el área libre de vasos en anillos de individuos fertilizados.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, A.M.; Vital, B.R.; Barros, N.F.; Lucia, R.M.; Campos, J.C.; Valente, O.F. 1994. Effects of mineral fertilization and lime application on *Eucalyptus* Wood yield and quality. *Revista Arvore*. 18(1): 69-78
- Aparicio, J.L. 2001. Rendimiento y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Tesis Magíster en Ciencias mención Silvicultura. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Fac. Cs. Forestales. 234 p.
- Binkley, D. 1993. Nutrición Forestal. Prácticas de manejo. Ciudad de México, LIMUSA. 340 p.
- Centro de investigación de los Recursos Naturales, Chile (CIREN). 2001. Descripciones de suelos, materiales y símbolos, Estudio Agrológico, X Región. V1, 199 p. (Publicación CIREN)
- DeBell, D.S.; Keyes, C.R.; Gartner, B.L. 2001. Wood density of *Eucalyptus saligna* grown in Hawaiian plantations: effects of silvicultural practices and relation to growth rate. *Australian Forestry*. 64(2): 106-110
- Dinwoodie, J.M. 2000. Timber: Its nature and behaviour. 2 ed. Londres, E & FN Spon. 253 p.
- Donoso, C. 1992. Ecología forestal; el bosque y su medio ambiente. 3 ed. Santiago (Chile), Universitaria. 369 p.
- Faesch, A. 1995. Fertilización al establecimiento de *Eucalyptus nitens* en las series de suelo Collipulli y Victoria. Tesis Ing. For. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 74 p.
- Haygreen, J.G.; Bowyer, J.L. 1982. Forest Products and Wood Science. An Introduction. The Iowa State University Press. 495 p.
- Hudson, I.; Wilson, L.; Van Beveren, K. 1998. Vessel and fibre property variation in *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*: some preliminary results. *IAWA Journal* 19(2): 111-130
- Instituto Forestal (INFOR). 1986. Especies forestales exóticas de interés económico para Chile. Santiago (Chile), INFOR-CORFO. 168 p.
- Lama, G. 1976. Atlas del Eucalipto. Sevilla (España), Inst. Nac. Invest. Agrarias – Inst. Nac. para la conservación de la naturaleza. 630 p.
- Leal, S.; Pereira, H.; Grabner, M.; Wimmer, R. 2003. Clonal and site variation of vessels in 7-year-old *Eucalyptus globulus*. *AIWA Journal* 24(2): 185-195

- Leiva, F. 2000. Efectos de una roca fosfórica y una cal como tratamientos base en una plantación de *Eucalyptus nitens* (Maiden) en un suelo rojo arcilloso de la comuna de Fresia, X Región. Tesis Ing. For. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 82 p.
- Moldenhauer, F.D. 2003. Biomasa de raíces en una plantación de cinco años de *Eucalyptus nitens* en un suelo rojo arcilloso con énfasis en la fertilización fosforada. Tesis Ing. For. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 31 p.
- Novoa, R.; S. Villaseca. 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura. 221 p.
- Prado, J.A. 1989. Selección de especies y procedencias. In: BARROS, S y J. PRADO (eds.). Eucaliptus, principios de silvicultura y manejo. Santiago (Chile), Instituto Forestal. pp.42-56
- Raymond, C.A.; Muneri, A. 2000. Effect of fertilizer on wood properties of *Eucalyptus globulus*. Can. J. For. Res. 30: 136-144
- Schlatter, J. E.; V. Gerding; H. Huber. 1995. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramientas para la planificación forestal. Aplicado a la X Región. Serie Técnica Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 93 p.
- Spiecker, H.; Schinker, M.G.; Hansen, J.; Park, Y.; Ebding, T.; Döll, W. 2000. Cell structure in tree rings: novel methods for preparation and image analysis of large cross sections. IAWA Journal. 21(3): 361-373
- Steel, R. G.; Torrie, J. H. 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. 2 ed. McGraw-Hill. 622 p.
- Wilkes, J. 1988. Variations in wood anatomy within species of Eucalyptus. IAWA Bulletin. 9(1): 13-23
- 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
- Williams, M.D. 1994. Chemimechanical pulps from plantation eucalypts. Appita Journal. 47: 137-142

ANEXOS

Anexo 1
Abstract and keywords

Abstract

In order to evaluate the effect of the fertilization in the structure of the woody plan of juvenile individuals of *Eucalyptus nitens*, it was determined the distribution of the vessels and the basic density in direction pith to bark. For the study it was considered a treatment witness and another fertilized in a plantation to the 7 years of established in an argillaceous red ground in the commune of Fresia, X Region.

In each treatment 4 trees analyzed themselves, according to three classes of size, considering average the diameter quadratic (DMC), where two trees were selected and 1 standard deviation where a tree was selected by deviation. The samples (targets) were removed from the trunk to a height of 2 meters. In order to evaluate as the fertilization affects the distribution of the vessels and the basic density, analyses of variance simple and factorial of two factors were made in order to establish differences in the anatomical structure of the wood.

The results indicate that the fertilization does not affect the number of vessels- mm^{-2} , contrary to the diameter of the vessels that increases in the different ring in direction towards the bark. As a result of it the fertilized individuals present a greater area covered by vessels in each ring in comparison to individual witnesses. The descriptive parameters of the vessels presented a greater variability by effect of the fertilization, increasing the heterogeneity of the woody plan as far as vessels one talks about. The fertilization did not affect the basic density of the wood. An interaction between the precipitation and the effect of the fertilizer is suggested on the density of the wood.

The tendency in the distribution of the vessels and the basic density through the rings product of the growth was not influenced by the effects of the fertilization.

Within the ring a diminution in the diameter and number of glasses of the early wood was determined in the beginning, product of which the free area of vessels increases in ring of fertilized individuals.

The used method turned out to be adapted in the measurement of the characteristics of the vessels, of easy handling and good resolution, reason why it can be used for the study of the characteristics of the vessels in other species.

Key words: Fertilization, *Eucalyptus nitens*, distribution and area of vessels, basic density, rings.

Anexo 2

Parámetros descriptivos, comparaciones múltiples y análisis de varianza del número, diámetro y área de los vasos además de la densidad básica a través de los anillos en dirección hacia la corteza

Cuadro 1. Ancho de anillo, parámetros descriptivos de los vasos y densidad básica por anillo en individuos fertilizados (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Ancho (mm) (CV%)	Nº vasos·mm ⁻²	Area vasos (%)	Diámetro medio (µm)	Densidad básica (g·cm ⁻³)
2 (1998)	18,8 (38,3)	9	4,9	84,0	0,48
3 (1999)	20,8 (16,3)	6	6,9	114,4	0,44
4 (2000)	13,8 (9,4)	5	9,6	146,9	0,41
5 (2001)	10,2 (14,7)	4	8,7	154,2	0,39
6 (2002)	7,9 (35,4)	5	9,4	151,3	0,41
7 (2003)	6,0 (31,7)	5	8,8	151,9	0,37
Total	Σ = 77 (24,3)	χ = 6	χ = 8,1	χ = 118	χ = 0,42

Cuadro 2. Ancho de anillo, parámetros descriptivos de los vasos y densidad básica por anillo en individuos testigos (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Ancho (mm) (CV%)	Nº vasos·mm ⁻²	Area vasos (%)	Diámetro medio (µm)	Densidad básica (g·cm ⁻³)
2 (1998)	12,7 (65,4)	8	4,6	89,2	0,50
3 (1999)	13,7 (30,7)	7	5,7	100,8	0,48
4 (2000)	20,2 (20,3)	6	6,3	116,9	0,44
5 (2001)	14,3 (21,7)	5	6,7	131,4	0,38
6 (2002)	9,0 (50,0)	5	7,5	133,2	0,38
7 (2003)	7,6 (6,6)	5	7,2	135,0	0,38
Total	Σ = 77 (32,4)	χ = 6	χ = 6,4	χ = 113,9	χ = 0,43

Cuadro 3. Resultados análisis de varianza al comparar ancho de anillo promedio entre individuos testigos y fertilizados

Años de edad (Anillo)	Diferencia en el ancho anillo	F calculado
2 (1998)	ns	1,10
3 (1999)	*	6,83
4 (2000)	*	8,96
5 (2001)	ns	5,61
6 (2002)	ns	0,15
7 (2003)	ns	2,59

ns: no significativa (p>0,005),

*: significativa (p<0,05)

Cuadro 4. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del número de vasos-mm⁻² en anillos de individuos fertilizados (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Frecuencia	Mínimo	Promedio vasos-mm ⁻²	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
2 (1998)	4	5	8	11	34,8	a
3 (1999)	4	5	6	8	16,0	ab
4 (2000)	4	5	5	6	10,8	b
5 (2001)	4	4	5	5	13,0	b
6 (2002)	4	4	5	6	21,8	b
7 (2003)	4	4	5	6	20,9	b
Total	24	4	6	11	30,8	

Cuadro 5. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del número de vasos-mm⁻² en anillos de individuos testigos (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Frecuencia	Mínimo	Promedio vasos-mm ⁻²	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
2 (1998)	3	6	7	8	10,7	a
3 (1999)	4	5	7	9	25,3	ab
4 (2000)	4	4	6	8	26,4	ab
5 (2001)	4	3	5	6	25,3	b
6 (2002)	4	4	5	7	24,1	b
7 (2003)	4	4	5	6	20,1	b
Total	23	3	6	9	26,4	

Cuadro 6. Análisis de varianza, para el número de vasos-mm⁻²

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Efecto principal					
Fertilización	1	0,0442147	0,0442147	0,02	0,8766 ns
Anillo	5	52,7941	10,5588	5,85	0,005*
Interacción					
Fertilización x Anillo	5	1,23023	0,246046	0,14	0,9828 ns
Residual	35	63,2102	1,806		
Total corregido	46	119,489			

Ns: No significativo al 95% de confianza P-valor>0.05

*: significativo al 99% de confianza P-valor<0.01

Cuadro 7. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del diámetro de vasos (μm) en anillos de individuos fertilizados (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Frecuencia	Mínimo	Diámetro medio (μm)	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
2 (1998)	1402	11,3	84,0	159,1	26,4	a
3 (1999)	1124	25,3	114,4	194,8	23,6	d
4 (2000)	632	35,2	146,9	252,5	22,5	f
5 (2001)	385	40,3	154,2	247,5	22,8	g
6 (2002)	341	38,9	151,4	232,2	22,5	g
7 (2003)	238	48,9	151,9	208,2	20,8	g
Total	4122	11,3	118	252,5	34,1	

Cuadro 8. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del diámetro de vasos (μm) en anillos de individuos testigos (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Frecuencia	Mínimo	Diámetro medio (μm)	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
2 (1998)	614	33,9	89,2	129,9	19,0	b
3 (1999)	818	29,0	100,8	176,4	23,8	c
4 (2000)	961	35,2	116,9	201,8	27,0	d
5 (2001)	557	33,4	131,4	205,6	22,6	e
6 (2002)	360	33,9	133,2	211,1	23,2	e
7 (2003)	306	38,0	135,0	196,0	24,4	e
Total	3616	29,0	113,9	211,1	28,2	

Cuadro 9. Análisis de varianza, para el $\sqrt{\text{diámetro de vasos}}$

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Efecto principal					
Fertilización	1	679,31	679,31	365,41	0,0000*
Anillo	5	7549,64	1509,93	812,22	0,0000*
Interacción					
Fertilización x Anillo	5	601,94	120,39	64,76	0,0000*
Residual	7726	14362,70	1,86		
Total corregido	7737	23723,90			

*: Altamente significativo al 99% de confianza P-valor<0.01

Cuadro 10. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del área de vasos (%) en anillos de individuos fertilizados (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Frecuencia	Mínimo	Promedio área vasos (%)	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
2 (1998)	4	4,0	4,9	6,4	23,2	a
3 (1999)	4	4,4	6,9	8,5	28,0	ab
4 (2000)	4	6,7	9,6	13,7	30,9	b
5 (2001)	4	6,9	8,7	12,7	31,5	b
6 (2002)	4	8,4	9,4	10,3	8,1	b
7 (2003)	4	6,5	8,8	10,2	18,3	b
Total	24	4,0	8,1	13,7	30,5	

Cuadro 11. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del área de vasos (%) en anillos de individuos testigos (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Frecuencia	Mínimo	Promedio área vasos (%)	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
2 (1998)	3	4,0	4,6	5,4	16,5	a
3 (1999)	4	4,1	5,7	7,5	24,4	ab
4 (2000)	4	4,5	6,3	7,5	21,2	ab
5 (2001)	4	5,7	6,7	8,2	16,5	ab
6 (2002)	4	5,4	7,5	10,4	28,3	b
7 (2003)	4	6,6	7,2	7,6	6,0	b
Total	23	4,0	6,4	10,4	23,3	

Cuadro 12. Análisis de varianza, para el arco seno $\sqrt{(\text{área vaso en } \%)}$

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Efecto principal					
Fertilización	1	0,012056	0,012056	11,81	0,002*
Anillo	5	0,028698	0,005740	5,62	0,001*
Interacción					
Fertilización x Anillo	5	0,002709	0,000542	0,53	0,751ns
Residual	35	0,035727	0,001021		
Total corregido	46	0,079692			

Ns: No significativo al 95% de confianza P-valor>0.05

*: significativo al 99% de confianza P-valor<0.01

Cuadro 13. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples de la densidad básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) en anillos de individuos fertilizados (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Frecuencia	Mínimo	Promedio densidad básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
2 (1998)	4	0,45	0,48	0,52	6,9	a
3 (1999)	4	0,39	0,44	0,46	7,4	ab
4 (2000)	4	0,36	0,41	0,47	10,8	b
5 (2001)	4	0,34	0,39	0,44	10,4	b
6 (2002)	4	0,34	0,41	0,47	13,9	b
7 (2003)	4	0,30	0,37	0,44	17,6	b
Total	24	0,30	0,42	0,52	13,5	

Cuadro 14. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples de la densidad básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) en anillos de individuos testigos (4 árboles)

Años de edad (Anillo)	Frecuencia	Mínimo	Promedio densidad básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
2 (1998)	3	0,45	0,50	0,55	9,9	a
3 (1999)	4	0,38	0,48	0,54	15,1	a
4 (2000)	4	0,41	0,44	0,47	6,2	ab
5 (2001)	4	0,33	0,38	0,40	8,9	b
6 (2002)	4	0,35	0,38	0,43	8,5	b
7 (2003)	4	0,34	0,38	0,41	9,5	b
Total	23	0,33	0,42	0,55	14,7	

Cuadro 15. Análisis de varianza, para la densidad básica

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Efecto principal (Factor)					
Fertilización	1	1673,89	1673,89	0,81	0,3753ns
Anillo	5	78067,4	15613,5	7,52	0,0001*
Interacción					
Fertilización x Anillo	5	5726,5	1145,3	0,55	0,7359ns
Residual	35	72644,8	2075,57		
Total corregido	46	157944			

Ns: No significativo al 95% de confianza P-valor>0.05

*: significativo al 99% de confianza P-valor<0.01

Anexo 3

Resultados del análisis de varianza, gráficos y rangos múltiples en la distribución del diámetro y número de los vasos dentro del anillo

Cuadro 1. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del diámetro de vasos (μm) por ubicación dentro del anillo en individuos fertilizados

Posición en el anillo (%)	Frecuencia	Mínimo	Diámetro medio (μm)	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
5	282	15,4	70,5	223,9	49,1	a
15	370	4,3	107,1	235,5	34,7	b
25	497	31,1	117,9	219,4	32,4	cd
35	502	29,3	124,7	247,5	32,5	ef
45	467	36,0	128,8	237,6	31,7	fg
55	426	11,3	131,2	225,2	29,9	g
65	480	34,2	128,5	212,9	28,9	fg
75	430	49,1	122,9	212,5	26,6	de
85	391	4,3	117,1	212,3	27,8	c
95	277	4,3	103,1	221,7	32,4	b
Total	4122	4,3	117,8	247,5	34,0	

Cuadro 2. Análisis de varianza para el diámetro de vasos en individuos fertilizados, según la posición en el anillo

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Entre grupos	9	960543	106727	77,43	0,0000*
Intra grupos	4113	5669290	1378,38		
Total corregido	4122	6629830			

*: significativo al 95% de confianza P-valor>0.05

Cuadro 3. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del diámetro de vasos (μm) por ubicación dentro del anillo en individuos testigos

Posición en el anillo (%)	Frecuencia	Mínimo	Diámetro medio (μm)	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
5	234	29,9	106,6	201,8	30,4	b
15	363	36,5	113,8	201,3	28,8	c
25	422	33,1	114,0	199,4	29,9	c
35	405	35,2	118,8	196,0	28,8	cd
45	422	38,2	120,4	205,6	29,3	d
55	405	41,2	119,0	211,1	26,8	cd
65	424	41,2	116,6	199,2	25,0	cd
75	390	34,2	115,4	179,3	23,1	cd
85	337	8,5	107,0	191,4	25,6	b
95	215	33,9	93,3	170,4	29,0	a
Total	3617	8,5	113,9	211,1	28,2	

Cuadro 4. Análisis de varianza para el diámetro de vasos en individuos testigos, según la posición en el anillo

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Entre grupos	9	162294	18032,6	18,17	0,0000*
Intra grupos	3607	3580540	992,663		
Total corregido	3616	3742830			

*: significativo al 95% de confianza P-valor>0.05

Cuadro 5. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del número de vasos-mm² por ubicación dentro del anillo en individuos fertilizados

Posición en el anillo (%)	Frecuencia	Mínimo	Promedio vasos-mm ²	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
5	14	1	5	24	133,1	ab
15	20	1	5	13	68,5	abc
25	24	3	7	15	41,8	cd
35	24	1	7	16	39,5	d
45	24	4	7	12	30,1	cd
55	24	1	6	15	38,8	bcd
65	24	3	7	15	38,6	d
75	24	3	6	11	27,4	bcd
85	24	3	6	10	27,7	abcd
95	22	2	4	7	41,6	a
Total	224	1	6	24	48,2	

Cuadro 6. Análisis de varianza para el número de vasos-mm² en individuos fertilizados, según la posición en el anillo

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Entre grupos	9	205,441	22,8268	2,87	0,0032*
Intra grupos	214	1699,56	4,11998		
Total corregido	223	1905			

*: significativo al 95% de confianza P-valor>0.05

Cuadro 7. Parámetros descriptivos y comparaciones múltiples del número de vasos-mm² por ubicación dentro del anillo en individuos testigos.

Posición en el anillo (%)	Frecuencia	Mínimo	Promedio vasos-mm ²	Máximo	Coefficiente Variación (%)	Grupos
5	20	1	4	9	57,4	ab
15	23	3	5	10	39,8	cd
25	23	2	6	11	41,7	cd
35	23	1	6	13	44,2	cd
45	23	3	7	17	43,1	d
55	23	4	6	11	32,4	cd
65	23	4	7	13	36,0	cd
75	23	1	6	11	35,3	cd
85	23	2	5	9	37,0	bc
95	23	1	3	8	58,2	a
Total	227	1	6	17	44,9	

Cuadro 8. Análisis de varianza para el número de vasos-mm² en individuos testigos, según la posición en el anillo

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P-Valor
Entre grupos	9	265,543	29,5048	5,35	0,0000*
Intra grupos	217	1197,79	5,51978		
Total corregido	226	1463,33			

*: significativo al 95% de confianza P-valor>0.05

Cuadro 9. Resultados análisis de varianza al comparar diámetro y número de vasos a partir de la posición en el anillo, al considerar el promedio de todos los anillos en individuos testigos y fertilizados

Posición en el anillo	Diferencia en el diámetro de vasos	F calculado	Diferencia en el N° vasos-mm ²	F calculado
5	*	146,02	*	14,40
15	*	6,72	*	9,60
25	ns	2,69	ns	0,13
35	*	5,34	ns	1,37
45	*	10,62	ns	0,00
55	*	24,05	ns	0,17
65	*	28,30	ns	1,19
75	*	13,03	ns	0,64
85	*	20,25	ns	1,52
95	*	12,14	ns	0,81

Ns: no significativa ($p > 0,005$), *: significativa ($p < 0,05$)

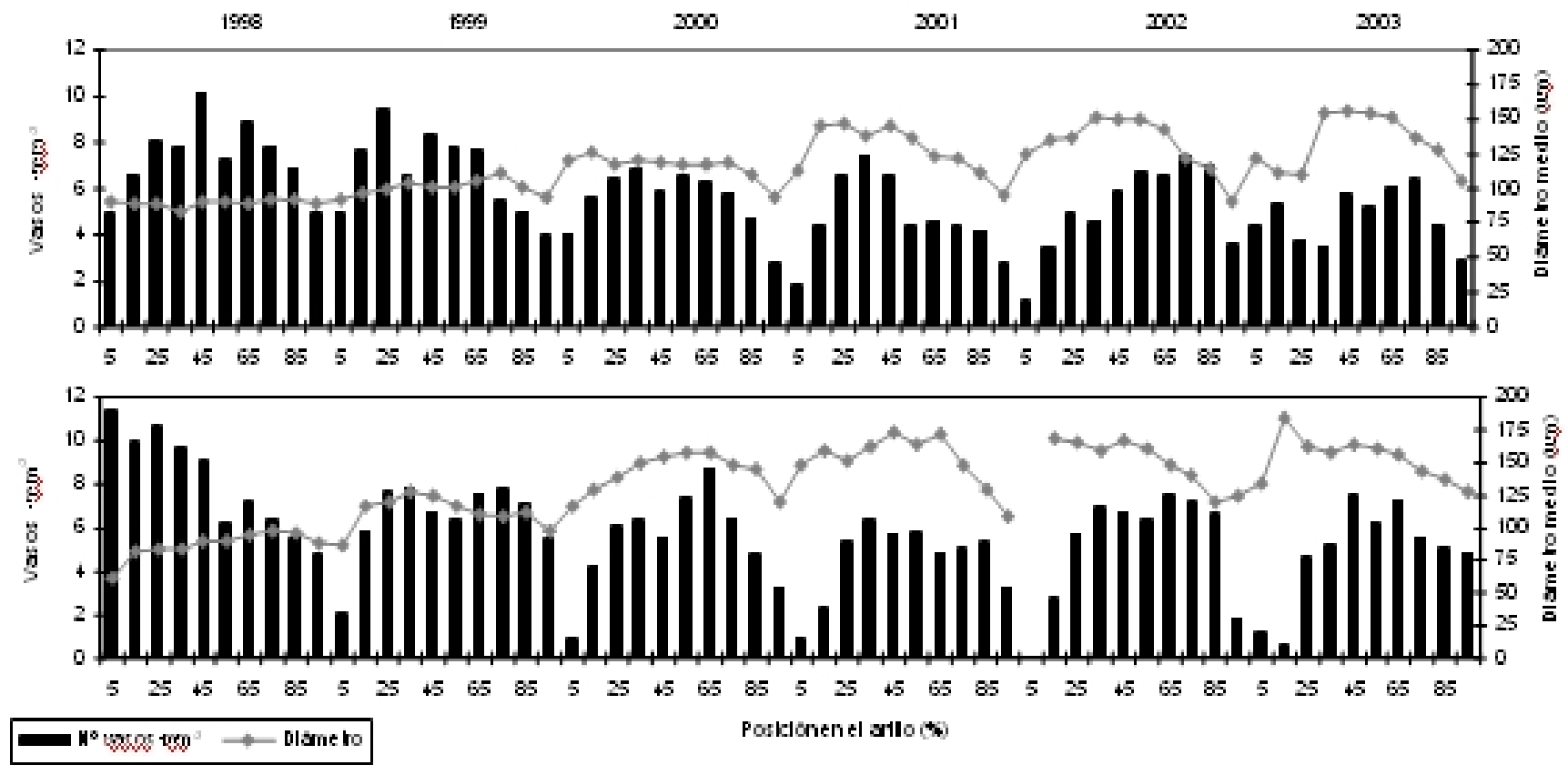


Figura 1. Distribución del diámetro promedio y número de vasos dentro de los distintos anillos en individuos testigos (arriba) y fertilizado (abajo)