



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Evaluación de una fertilización en *Eucalyptus globulus*
Labill. aplicada en la etapa de máxima acumulación
nutritiva, Valdivia, Chile.**

Escuela de Ingeniería Forestal

Patrocinante: Juan E. Schlatter.

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

CHRISTIAN GABRIEL ACOSTA BOPP

VALDIVIA

2008

A mis padres y hermanos, apoyo fundamental en mi vida

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 <i>Eucalyptus globulus</i> , requerimientos y desarrollo.	2
2.2 Potencial nutritivo del suelo y elementos esenciales para el crecimiento de las plantas.	3
2.3 Manejo Intensivo en plantaciones de <i>Eucalyptus spp.</i>	4
2.4 Fertilización y crecimiento en plantaciones del género <i>Eucalyptus</i> .	6
2.5 Madera aserrable de <i>Eucalyptus</i> .	8
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	10
3.1 Antecedentes del área de estudio	10
3.1.1 Ubicación Geográfica.	10
3.1.2 Clima.	10
3.1.3 Topografía y suelos.	10
3.1.4 Uso histórico.	10
3.1.5 Características de la plantación.	11
3.2. Método	11
3.2.1 Tratamientos aplicados a las plantaciones.	11
3.2.2 Diseño experimental.	12
3.2.3 Medición cuantitativa de los rodales.	13
3.2.4 Medición cualitativa de los rodales.	14
3.2.5 Evaluación estadística.	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1 Plantación del año 2002 (5 años al 2007)	17
4.1.1 <i>Área experimental 1.</i>	17
4.1.2 <i>Área experimental 2 y área experimental 3.</i>	25
4.1.3 <i>Tendencia de crecimiento de la altura en área experimental 1, 2 y 3.</i>	27
4.2 Plantación del año 2001 (6 años al 2007)	28
4.2.1 <i>Bloque 1.</i>	28
4.2.2 <i>Bloque 2.</i>	30
4.2.3 <i>Tendencia de crecimiento en las variables DAP, área basal, altura y largo de copa viva para los bloques 1 y 2 de la plantación establecida en el año 2001.</i>	31
4.3 Análisis final	36

5. CONCLUSIONES	38
------------------------	-----------

6. BIBLIOGRAFIA	39
------------------------	-----------

ANEXOS

- 1 Abstract and keywords.
- 2 Formulario captura de datos en terreno para *Eucalyptus globulus* de 5 y 6 años de edad, Predio Los pinos.
- 3 Categorización para la forma.
- 4 Regresiones estimadas para la altura y largo de copa viva, según parcela, *Eucalyptus globulus* de 5 y 6 años de edad, Predio Los Pinos.
- 5 Análisis de varianza para las variables diámetro altura de pecho, área basal, altura y largo de copa viva en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, Predio Los Pinos.

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Requerimientos ecológicos de <i>E. globulus</i> , García et al., (2000)	2
Cuadro 2. Proporción de los elementos nutritivos en los productos utilizados.	11
Cuadro 3. Antecedentes de los rodales de <i>Eucalyptus globulus</i> , predio Los Pinos.	11
Cuadro 4. Número de árboles por clases diamétrica, para la medición de altura total y largo de copa viva, en cada parcela.	14
Cuadro 5. Matriz de doble entrada para la obtención de la calidad en cada árbol.	15
Cuadro 6. Parámetros descriptivos según fertilización, ladera y fertilización x ladera, para el DAP (cm) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	17
Cuadro 7. Parámetros descriptivos según fertilización, ladera y fertilización x ladera para el Área basal (m ² árbol) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	18
Cuadro 8. Parámetros descriptivos según fertilización, ladera y fertilización x ladera, para la altura (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	20
Cuadro 9. Parámetros descriptivos según fertilización, ladera y fertilización x ladera, para el largo de copa (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	22
Cuadro 10. Parámetros descriptivos según tratamiento, ladera y fertilización x ladera, para la calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	23
Cuadro 11. Parámetros descriptivos según tratamiento, para el DAP, área basal, altura y largo de copa viva en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.	25

Cuadro 12.	Parámetros descriptivos según tratamiento para la calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.	26
Cuadro 13.	Parámetros descriptivos según tratamiento para la densidad (árboles ha ⁻¹) en <i>Eucalyptus globulus</i> , plantación del año 2002 (5 años al 2007), predio Los Pinos.	28
Cuadro 14.	Parámetros descriptivos según tratamiento para el DAP, área basal, altura y largo de copa viva en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 1, predio Los Pinos.	28
Cuadro 15.	Parámetros descriptivos según tratamiento para la calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 1, predio Los Pinos.	29
Cuadro 16.	Parámetros descriptivos según tratamiento para el DAP, área basal, altura y largo de copa viva en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.	30
Cuadro 17.	Parámetros descriptivos según tratamiento para la calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.	31
Cuadro 18.	Parámetros descriptivos según tratamiento para la densidad (árboles ha ⁻¹), plantación del año 2001 (6 años al 2007).	35
Cuadro 19.	Parámetros (promedios) descriptivos para el DAP, área basal, altura, largo de copa y densidad, en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 y 6 años de edad, predio Los Pinos.	36
Cuadro 20.	Calidad de los árboles en <i>Eucalyptus glogulus</i> de 5 y 6 años de edad, predio Los Pinos.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Manejo intensivo de plantaciones (según Fox, 2000).	4
Figura 2.	Distribución de las parcelas experimentales en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 y 6 años de edad (2007), predio Los Pinos. (modificado de Fresard, 2004.)	13
Figura 3.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el DAP (cm) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	18
Figura 4.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el área basal (m ²) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	19
Figura 5.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento (a), posición en la ladera (b) y interacción entre fertilización y ladera (c) para la altura (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	21
Figura 6.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el largo de copa (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	22
Figura 7.	Valores medianos según interacción entre fertilización y posición en la ladera, para la calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	24
Figura 8.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el largo de copa (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, área experimental 2 (a) y 3 (b), predio Los Pinos.	25
Figura 9.	Tendencia de crecimiento según tratamiento para la altura (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 5 años de edad, para área experimental 1 (a) y áreas experimentales 2 y 3 (b), predio Los Pinos.	27
Figura 10.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el DAP (cm) (a) y altura (m) (b) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 1, predio Los Pinos.	29
Figura 11.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el DAP (cm) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.	30

Figura 12.	Tendencia de crecimiento según tratamiento para el DAP (cm) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, para el bloque 1 (a) y bloque 2 (b), predio Los Pinos.	31
Figura 13.	Tendencia de crecimiento según tratamiento para el área basal ($m^2 ha^{-1}$) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, para el bloque 1 (a) y bloque 2 (b), predio Los Pinos.	32
Figura 14.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el área basal (m^2 árbol) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 1 y bloque 2, predio Los Pinos.	33
Figura 15.	Tendencia de crecimiento según tratamiento para la altura (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, para el bloque 1 (a) y bloque 2 (b), predio Los Pinos.	33
Figura 16.	Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para la altura (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 1 y bloque 2, predio Los Pinos.	34
Figura 17.	Tendencia de crecimiento según tratamiento para el largo de copa (m) en <i>Eucalyptus globulus</i> de 6 años de edad, bloque 1 (a) y bloque 2 (b), predio Los Pinos.	34

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento evalúa el efecto de una fertilización, aplicada a la edad de 1 y 2 años en *Eucalyptus globulus* Labill, transcurrido un periodo de 4 años. En base a las actuales características de la plantación se plantea una alternativa de manejo, que en un comienzo fue con fines pulpables.

El área de estudio se ubicó en el predio Los Pinos, a 15 km al noreste de la ciudad de Valdivia considerando dos plantaciones, una de 5 y otra de 6 años de edad. El muestreo se realizó en mayo y junio del 2007, utilizando 39 parcelas circulares de 125 m². En estas se midió el diámetro a la altura del pecho y se determinó la sanidad y forma de todos los árboles. Para la medición de la altura total y el largo de la copa viva se realizó una submuestra (clase diamétrica), donde se seleccionaron los individuos.

La plantación de 5 años de edad, fue dividida en 3 áreas experimentales de similares características de relieve. En el área experimental 1, la fertilización presentó efectos significativos en el crecimiento al compararlo con los testigos. En esta área experimental se manifestó el efecto fertilización más tardíamente que en las otras dos, las que ya habían acusado respuesta significativa 2 años atrás (Fresard, 2004). En las otras dos áreas experimentales, el crecimiento no fue significativo sobre el testigo en esta oportunidad, aún cuando se midieron diferencias, en general a favor de la fertilización.

La plantación de 6 años fue dividida en 2 bloques, determinándose menor respuesta a la fertilización que en la plantación de 5 años, pero con diferencias identificables comparándolas con el testigo. Uno de los bloques, influenciado por la forma cóncava de la ladera, presentó diferencias significativas en la altura y el diámetro a la altura del pecho. El otro bloque, presentó un crecimiento menor, encontrándose solo diferencias significativas en el diámetro a la altura del pecho.

En todo el ensayo, el tratamiento aplicado afectó la calidad de los árboles. El área fertilizada obtuvo un 30,8% de árboles de calidad 1 (buena forma y sanidad) superado por el 40,5% del área sin fertilizar. Aún así, las diferencias no fueron estadísticamente significativas y el número de árboles de buena calidad es suficiente en el caso de existir la intención de proyectar el bosque hacia una producción de mayor valor.

La particularidad de los rodales jóvenes (5 y 6 años): alto número de árboles de buena calidad (mayor a 450 árboles ha⁻¹), alta densidad actual (mayor a 1.300 árboles ha⁻¹) y buen crecimiento, son características que proponen analizar la opción de un manejo alternativo de una producción mixta de madera aserrable y pulpable, y no sólo pulpable. Un objetivo de este tipo es poco común en nuestro país y sería de interés experimentar con esta alternativa, que promete una mejor rentabilidad.

Palabras claves: *Eucalyptus globulus*, fertilización, crecimiento, silvicultura.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales, tanto en Chile como en el extranjero, han experimentado la aplicación de una silvicultura cada vez más intensiva, con el fin de obtener una mayor rentabilidad. *Eucalyptus globulus* (= eucalipto) es una de las especies que se prefiere en Chile, por su buena adaptación climática y las favorables características de su madera, pero debe ser cultivada adecuadamente para obtener éxito.

La silvicultura intensiva se refiere al empleo de toda la tecnología posible, dentro de un margen económico aceptable, para establecer las plantaciones y elevar su rentabilidad. Se seleccionan plantas de alta calidad genética, se prepara el suelo, se aplican fertilizantes y se efectúa control químico de malezas.

El eucalipto cuando es cultivado presenta una elevada demanda por nutrientes, especialmente en la etapa de acumulación nutritiva previo al cierre de copas. Por este motivo, cuando la oferta nutritiva del suelo no puede cubrir la demanda se recurre a la fertilización. La fertilización tiene el objetivo de aumentar la disponibilidad de nutrientes para suplir insuficiencias en la oferta, dando así ventajas a las plantas, evitando depresiones en el crecimiento.

En Chile se está aplicando fertilizantes al establecimiento en las plantaciones en general, y a las de eucaliptos en particular. Sin embargo, las mayores deficiencias nutritiva se presentan en general en los años siguientes, cuando el árbol forma su copa y acumula elementos nutritivos, antes del cierre de copas y durante éste.

En el presente estudio se evalúa el efecto de una fertilización, aplicada en rodales de uno y dos años de edad de *Eucalyptus globulus* Labill., y pretende aportar una experiencia más en esta línea de investigación. Los resultados serán útiles en el momento de seleccionar opciones de manejo. Es así que el objetivo general del presente trabajo de titulación es evaluar el efecto de medidas de fertilización en plantaciones de eucalipto, 4 años después de su aplicación, durante la etapa de máxima acumulación de biomasa.

Los objetivos específicos son:

- Analizar el efecto de la fertilización en los crecimientos del DAP, área basal, altura, largo de copa y densidad (sobrevivencia).
- Determinar el incremento entre dos fechas de medición e identificar las diferencias con árboles no fertilizados, en la etapa de acumulación nutritiva.
- Proponer, de acuerdo con su actual desarrollo, futuras opciones de manejo para las situaciones analizadas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 *Eucalyptus globulus*, requerimientos y desarrollo.

Eucalyptus globulus Labill., es una de las especies de eucaliptos mejor conocidas a nivel mundial. Se encuentra clasificada en el género *Eucalyptus*, clase Angiospermas, subclase Dicotiledóneas y familia de las Mirtáceas. En su calidad de ser una de las primeras especies de árboles introducida de Australia a otros países, se ha convertido en una de las especies de eucaliptos más extensamente plantada en el mundo (Skolmen y Ledig, 1990).

Es un árbol siempreverde que puede alcanzar hasta 60 m de altura, con la corteza blanquecina que se desprende en tiras en los ejemplares adultos. Presenta copa piramidal alta; en condiciones óptimas de sitio puede alcanzar un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 120 a 210 cm (Skolmen y Ledig, 1990). En cuanto a los requerimientos ecológicos, en el cuadro 1 se presenta en forma resumida dichos aspectos.

Cuadro 1. Requerimientos ecológicos de *E. globulus*, según (García *et al.*, 2000).

Variables	Valores
Precipitación media anual (mm)	>600
Temperatura media anual (°C)	11,4 a 18,0
Temperatura mínima (°C)	-6
Profundidad suelos	Moderada a profunda
Drenaje Suelos	Bueno a moderado
Meses secos	0 - 5
Humedad relativa anual (%)	> 70
Heladas Anuales	5 - 30
Textura del suelo	Limosos a franco-arcillosos
Reacción del suelo (pH)	5 - 7

En Australia *Eucalyptus globulus* se distribuye en forma natural en la costa sureste de Tasmania, pero también crece en pequeños bolsones de la costa oeste, en ciertas islas en el estrecho de Bass al norte de Tasmania y en el Cabo Otway y el Promontorio de Wilson al sur de Victoria, en Australia (Skolmen y Ledig, 1990).

En Chile es una de las especies forestales de mayor importancia económica, situación que obedece principalmente a su rápido crecimiento y a la calidad de su madera, especialmente para la fabricación de pulpa.

La mayor parte de las plantaciones con eucaliptos se ha realizado en terrenos de aptitud forestal, incluyendo aquellos que se encuentran desgastados y erosionados producto de su prolongado uso en agricultura. Por la alta rentabilidad de su cultivo, también se han forestado algunos suelos de aptitud agrícola en la Depresión Intermedia (Santelices, 2005).

En Chile *Eucalyptus globulus* es una especie que tiene la capacidad de adaptarse a un rango relativamente amplio de sitios. No obstante, existen extensas superficies

que exhiben restricciones que limitan su desarrollo. Particularmente las zonas con incidencia de heladas, sumado a la baja tolerancia al frío de la especie, han limitado la expansión de sus plantaciones hacia el sur y la precordillera andina. Incluso en la Depresión Intermedia se han producido cuantiosas pérdidas de plantaciones, en zonas afectadas por heladas, como consecuencia de la gran susceptibilidad de esta especie al frío (INFOR, 2000).

2.2 Potencial nutritivo del suelo y elementos esenciales para el crecimiento de las plantas.

Las características físicas del suelo, como la textura, densidad y la profundidad son muy importantes en el éxito del desarrollo de los cultivos forestales, ya que influyen en el desarrollo radicular de las plantas.

Las características químicas y microbiológicas del suelo determinan el estado nutricional de los árboles, ya que influyen parte importante de los elementos minerales que necesitan. La materia orgánica influye positivamente en la estructura del suelo favoreciendo que éste sea suelto y poroso. La materia orgánica contiene importantes cantidades de nitrógeno, el cual necesita mineralizarse para ser liberado, debiéndose fundamentalmente a un proceso biológico, llevado a cabo por bacterias (Lugo, 1986).

El pH del suelo influye en la disponibilidad de la mayor parte de los nutrientes, en las propiedades físicas y en la vida microbiana. *Eucalyptus globulus* tolera suelos muy ácidos, con relaciones C/N elevadas (mineralización lenta) y niveles de nutrientes muy bajos (Lugo, 1986).

A continuación, se detallarán las funciones generales de los elementos nutritivos de mayor interés para el presente estudio (Binkley, 1993; Gerding *et al.*, 1996; Lugo, 1986).

- **Nitrógeno (N):** es el motor de crecimiento de la planta, siendo absorbido desde el suelo en forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). En la planta se combina con componentes de carbohidratos producidos por la fotosíntesis para formar compuestos orgánicos de importancia general (aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos). De este modo, es el constituyente esencial de las proteínas y está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y es un factor decisivo en el rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también para la elaboración de otros compuestos. Su requerimiento máximo es en la época de mayor desarrollo foliar y es un elemento móvil en la planta. Se estima que las masas forestales absorben por hectárea, anualmente, de 30-55 kg de nitrógeno, retornando al suelo el 80% de esta cantidad por la caída de las hojas, quedando el 20% restante en la madera.

- **Fósforo (P):** Está relacionado con el almacenamiento y la transferencia de energía, por lo que es esencial en la fotosíntesis y en otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo

de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. Su requerimiento máximo es en la etapa juvenil para el desarrollo de raíces y posteriormente en la fase generativa. Es un elemento móvil en la planta. Los árboles absorben de 4-12 kg⁻¹ por año de fósforo, retornando el 80% con la caída de las hojas.

- **Potasio (K):** Cumple una función iónica en general, activa más de 60 enzimas. Por ello juega un rol fundamental en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El potasio mejora el régimen hídrico de la planta (regula la apertura y cierre de estomas) y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Además, las plantas con adecuadas concentraciones de potasio sufren menos de enfermedades. Es un elemento móvil en la planta. Los árboles pueden absorber entre 6 y 30 kg⁻¹ por año de potasio, retornando un 50% con las hojas caídas.

- **Boro (B):** Su rol esencial radica en el desarrollo y crecimiento de las nuevas células meristemáticas (influye en la formación de RNA), influye en la formación de flores y frutos, así como también en el proceso de polinización. Otras de las funciones son la traslocación de azúcares, regulación de sustancias de crecimiento, función iónica en general (deshidratación-turgencia), resistencia a las heladas, división de aminoácidos y proteínas, y regulación del metabolismo de los carbohidratos. Es un elemento poco móvil en la planta.

2.3 Manejo Intensivo en plantaciones de *Eucalyptus spp.*

El manejo intensivo de las plantaciones forestales considera el cultivo de éstas desde un inicio, especialmente durante la etapa de establecimiento. Según Fox (2000), un manejo intensivo de plantaciones considera cinco factores: densidad, control de malezas, fertilización, genética y calidad del suelo.



Figura 1. Manejo intensivo de plantaciones (según Fox, 2000).

- **Densidad:** se refiere principalmente en el establecimiento, con lo cual se produce un efecto directo sobre la productividad del sitio. Al aumentar la densidad se aumenta igualmente la producción, hasta un cierto límite (antes de la competencia intraespecífica). También se considera el raleo, como una redistribución de recursos en un número reducido de individuos seleccionados bajo un cierto criterio.

- *Control de maleza*: los recursos de un sitio (suelo) son limitados, por lo cual la competencia tanto intra como interespecífica son variables a manejar y controlar. Un control de maleza en los primeros años de la plantación libera directamente recursos como luz, agua y nutrientes a las especies deseada u objetivo de la plantación.
- *Fertilización*: comúnmente la demanda de recursos nutritivos, sobre todo en las fases iniciales de crecimiento, supera largamente la oferta que puede entregar el suelo. Por tanto, se hace necesario un aporte de nutrientes directo, normalmente acompañado de un control de malezas.
- *Genética*: la inversión en genética ha demostrado interesantes retornos. Individuos procedentes de material genético mejorado, muestran mayores tasas de crecimiento, mejores y homogéneas características de crecimiento, y resistencia a plagas y enfermedades.
- *Calidad del suelo*: afecta directamente la tasa de crecimiento de la plantación. Un suelo fértil permite un mayor crecimiento de una plantación.

Como se observa en la figura 1, la combinación de estos factores afecta la productividad de una plantación en un sitio determinado. La combinación entre preparación del suelo, control de malezas y adición de fertilizantes ha dado como resultado una mejor supervivencia e incrementos adicionales en el crecimiento inicial de *Eucalyptus delegatensis* y *E. globulus* (Lyon, 1990). La preparación del suelo se potencia con la fertilización. Sin embargo, una apropiada preparación del suelo requiere conocer previamente las limitaciones existentes en un sitio determinado (Toro, 1995).

Las mayores demandas nutricionales ocurren en la primera fase de crecimiento, desde el establecimiento hasta el cierre de copas, donde predomina la formación de follaje y tejidos jóvenes. Aún así, el manejo nutricional debe continuar durante toda la rotación. En este contexto, la silvicultura intensiva exige considerar tanto el uso de material genético mejorado, como también técnicas de establecimiento, intervenciones oportunas (podas y raleos), cosecha y uso de residuos, que permitan conservar o mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo (Aparicio *et al.*, 2001).

Por otra parte, la presencia de síntomas de deficiencias nutricionales en plantaciones forestales hace necesaria la intensificación de la fertilización fundada en una base experimental sólida que permita un análisis con resultados ciertos y una proyección en el tiempo (Aparicio *et al.*, 2001). La alta tasa de crecimiento y las cortas rotaciones de la mayoría de las plantaciones de eucaliptos comerciales son el resultado de una captación muy alta de nutrientes del suelo.

En comparación con los suelos agrícolas cultivados, los suelos forestales generalmente presentan bajos niveles de fósforo disponible. Los bosques de eucaliptos crecen relativamente bien en suelos con baja oferta de fósforo, donde la vegetación nativa se mantiene con bajas tasas de productividad. Además del fósforo,

existen evidencias en plantaciones de *Eucalyptus spp.* y *Pinus radiata* que indican limitaciones nutritivas de boro, en contraste con los bosques naturales de eucaliptos en Australia. Esto se explica ya que una gran extensión de suelos presenta agotamiento de nutrientes debido al uso agrícola extractivo que se le dio a éstos (Judd *et al.*, 1996 citado por Pozo, 2005).

2.4 Fertilización y crecimiento en plantaciones del género *Eucalyptus*.

La fertilización es una de las técnicas más eficientes para aumentar la supervivencia y acelerar el crecimiento, tanto de la planta en vivero como de las masas de los eucaliptos una vez establecidos en el campo (Ruiz *et al.*, 2001).

Los beneficios que una fertilización puede generar son muchos, al agregar los nutrientes que se encuentran ausentes o en baja concentración en el suelo. En los inicios de una plantación es necesario un adecuado abastecimiento de nutrientes, ya que es en esta época donde se desarrollan las raíces, ramas y follaje, tejidos de alta demanda nutritiva. En la primera etapa, los elementos nutritivos necesarios para el normal desarrollo de la plantación se obtienen únicamente desde las reservas del suelo, hasta el cierre de copas, donde comienza el reciclaje (Schlatter *et al.*, 2006).

La respuesta de los árboles a los fertilizantes depende de la edad, estado de desarrollo y competencia que presente la plantación. En el período hasta el cierre de copas, la demanda nutritiva aumenta y la aplicación de fertilizantes es más eficiente. En cambio, las aplicaciones realizadas solo al momento de la plantación no son suficientes para responder a la demanda de nutrientes durante toda la rotación (Oliva *et al.*, 1995).

La fertilización va a contribuir en que el árbol mantenga una copa vigorosa y no pierda las hojas en la zona baja de ésta por deficiencias nutricionales, ya que al no existir los elementos necesarios, el árbol recicla los elementos nutritivos hacia las zonas de crecimiento activo, en decir, la copa alta para luego botar las hojas más antiguas (Will, 1985).

En Chile se han realizado numerosas experiencias aplicando fertilizaciones al momento de la plantación. Ya en la década de los años ochenta, la aplicación de fertilizantes en el establecimiento fue una actividad incorporada en la mayoría de las empresas forestales, debido a los efectos positivos en cuanto al aumento en el porcentaje de sobrevivencia y crecimiento, actividad que se mantiene actualmente (Lyon, 1990).

La aplicación de nutrientes, vía fertilización durante los tres primeros años, ha tenido como resultado respuestas significativas en eucalipto, tanto en altura, como también en área basal, volumen del tronco, área foliar y biomasa aérea (Lupi *et al.*, 2005).

Es recomendable que una fertilización sea acompañada de un control de las malezas, para evitar la competencia por agua y nutrientes, así como tener acceso a un volumen de suelo mayor para la exploración del sistema radicular del cultivo. Con

este control se logra aumentar la oferta de agua disponible, como también, de nutrientes del suelo (Toro, 1995).

La bibliografía ofrece experiencias de fertilización realizadas en distintas partes del mundo. En Australia, investigaciones hechas en ensayos de *E. nitens* y *E. delegatensis*, muestran incrementos en altura a la edad de 4 años con fertilización de N y P, no observándose respuestas al tratamiento sólo con fósforo. Se han registrado respuestas satisfactorias en crecimiento, a la aplicación de N y P, para varias especies de eucaliptos en plantaciones jóvenes en Victoria, Australia (Cornejo, 1982).

En España, fertilizaciones hechas con NPK (150 kg^{-1}) sobre rebrotes de *E. globulus*, muestran efectos positivos, pero estos efectos dependen del tipo de suelo (Ruiz *et al.*, 2001). En suelos arenosos se produjo un aumento en el crecimiento volumétrico bajo cierta cantidad de nitrógeno aplicado y en suelos metamórficos el mismo efecto se consigue con cierta cantidad de nitrógeno y otra de potasio, lo cual sugiere una respuesta muy dependiente de los niveles nutritivos de los suelos. También se produjo una escasa respuesta a la aplicación de fósforo, aún cuando en ambos suelos éste elemento se presenta con baja disponibilidad, lo que podría llevar a pensar que este nutriente es limitante (Ruiz *et al.*, 2001).

Un estudio orientado a la formación de un modelo de silvicultura para la producción de madera aserrable de *E. globulus*, situado al norte de Galicia (España), presentó en promedio para una rodal de 6 años un crecimiento en altura de 14 m y un DAP de 10,9 cm, sin tratamiento de fertilización (Nutto y Touza, 2006).

En Portugal, se han realizado numerosos ensayos de fertilización en plantaciones jóvenes de *E. globulus* en suelos de baja disponibilidad de fósforo. Uno de ellos aplicó fertilización de 23 kg ha^{-1} de N, 30 kg ha^{-1} de P y 19 kg ha^{-1} de K al momento de la plantación con adiciones de N de 23 y 41 kg/ha a los 1 y 4 años respectivamente. Estos tratamientos dieron como resultado diferencias en altura entre el tratamiento control y los fertilizados, las cuales disminuyeron hacia los 4 años siendo las diferencias en diámetro relativamente constantes, con incrementos en volumen a los 5 años de un 33%, sobre el testigo (Pereira *et al.*, 1996 citado por Pozo, 2005).

Ensayos realizados en las provincias de Concepción y Bio-Bio, indican respuestas favorables al aplicar fertilizantes en los tres primeros años de edad en plantaciones de *E. globulus*. Estos ensayos se realizaron en las zonas húmedas templadas costeras de la provincia de Concepción y húmedas de la Cordillera de los Andes de la provincia de Bío-Bío. El mejor resultado en el área costera de Concepción se obtuvo con urea, y en la zona Andina con una mezcla de nitrógeno, fósforo, potasio y boro. El efecto positivo del fertilizante se identificó en el crecimiento diamétrico a la altura del pecho y en la altura total del árbol, como también en la sobrevivencia de las plantas (Calderón, 1991).

Al quinto año, en la zona costera sur de la provincia de Concepción, el mejor tratamiento aplicado fue de 56 kg ha⁻¹ de urea aplicado 3 meses. Después de la plantación con repeticiones de la misma dosis a los 14, 23 y 26 meses, este tratamiento presentó una altura total de 14,04 m y el testigo alcanzó a 10,8 m. En el DAP el crecimiento fue de 12,7 cm para el tratamiento aplicado y 9,9 cm para el testigo (Calderón, 1991).

En la X Región, un monitoreo nutritivo en plantaciones de *E. nitens*, desde el establecimiento al cierre de copas (cuarto año), utilizó P de baja solubilidad (Bifox) en el establecimiento. En posplantación, como fuente de nitrógeno durante el primer y segundo año se usó urea y al cuarto Supernitro, como fuente de P se utilizó superfosfato triple y de K sulfato de potasio. Los microelementos aplicados fueron zinc y cobre como sulfatos y boro como boronatrocalcita. Los resultados indicaron que el aumento de la biomasa causado por la fertilización produjo un efecto de dilución. Aun así, en el tercio superior de la copa de los árboles fertilizados se determinó una mayor cantidad de macroelementos en el follaje que en los árboles sin fertilización (Aparicio *et al.*, 2001). También se detectó a los cuarto años un aumento significativo en la masa foliar de *E. nitens* con la aplicación de N y P, aunque sin diferencias en el crecimiento respecto al control, lo cual señalaría un “consumo de lujo” (Aparicio *et al.*, 2001), sin efectos productivo.

Un trabajo realizado en la provincia de Osorno, sobre suelos rojo arcillosos midió el crecimiento de rodales de 8 años de edad sin tratamiento de fertilización. En promedio para la serie de suelo Cudico con una densidad de 1.388 árboles ha⁻¹ registró un área basal de 16,7 m² ha⁻¹ y la serie Crucero, con una densidad de 1.445 árboles ha⁻¹ registro un área basal de 18,3 m² ha⁻¹ (Geldres y Schlatter, 2004).

2.5 Madera aserrable de Eucalyptus.

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Chile ocupan aproximadamente 340 mil hectárea principalmente orientadas a la producción de madera para la obtención de celulosa (INFOR, 2007). Los modelos de crecimiento para el manejo de estas plantaciones emplean parámetros medios de la masa forestal, que permiten optimizar de forma sencilla y eficiente el objetivo de conseguir un elevado volumen de madera.

Sin embargo, en los últimos años se está produciendo en el ámbito mundial un rápido desarrollo de nuevas industrias en el aprovechamiento de la madera aserrable de eucaliptos que requieren disponer de madera de calidad. Una estrategia para disponer de este tipo de madera en rotaciones cortos, sería establecer un manejo forestal donde los árboles con características sobresalientes en términos de crecimiento y calidad sean seleccionados a edades tempranas, sucesivamente podados y sus posibilidades de crecimiento optimizarlas mediante el raleo del resto de los árboles. Esta estrategia requiere focalizar el objetivo hacia los árboles individuales y disponer de modelos de manejo mucho más flexibles en cuanto a su aplicación práctica.

Las características más relevantes de los árboles con influencias en la calidad de la madera destinada a la industria del aserrío o chapa decorativa son el diámetro de las trozas y su nudosidad (Gerrand et al., 1997; Hawley y Smith, 1972, citado por Nutto y Touza, 2006). Con la realización de raleos se logra un aumento considerable en el diámetro pero para lograr una madera libre de nudosidad es imprescindible la realización de podas a los árboles remanentes. Diversos autores (Muñoz *et al.*, 2005; Nutto y Touza, 2006; Prado y Barros, 1989) recomiendan la poda artificial de los eucaliptos cuando se desea producir madera de calidad. Asimismo, la poda de ramas muertas en eucaliptos no produce resultados adecuados porque las ramas no se desprenden completamente, sino que dejan un resto de la base que suele ser envuelto por la corteza y absorbido durante el posterior crecimiento diametral del árbol. Es por esta razón que para asegurar la calidad de la troza basal, la primera poda debe producirse a una edad temprana.

El efecto de la variación de la densidad o número de árboles en una plantación de *E. globulus* de 4 años, mostró diferencias significativas sobre el crecimiento en DAP. En un tratamiento con una densidad inicial menor a los 1.200 árboles ha⁻¹ mostró un crecimiento superior y significativamente distinto que los tratamientos de 1.300 a 1.600 árboles ha⁻¹ (Ferrere *et al.*, 2005).

El espaciamiento se relaciona con el manejo debido a que afecta el grado de competencia entre árboles; la tasa de crecimiento; el cierre del dosel; el desarrollo y la longevidad de las ramas, y el volumen total producido (Prado y Barros, 1989). En rodales donde se realiza una fertilización temprana es recomendable realizar un raleo en los primeros años. Según Nutto y Touza (2006), en rodales fertilizados con densidades sobre los 1.000 árboles ha⁻¹ la competencia entre árboles se inicia a edades entre 3-4 años. Dado que la competencia reduce el crecimiento diametral es importante realizar un raleo a edades tempranas donde el potencial de este crecimiento es máximo.

En un trabajo realizado por Pinilla Suárez y Ulloa (2001) sobre espaciamiento y raleo con eucaliptos, a los 12 años se registro valores de 31,3 cm de diámetro en parcelas con una densidad de 625 árboles ha⁻¹ (con 2 raleos), en tanto que con la misma densidad inicial sin raleos, se obtuvo un crecimiento de 21,6 cm demostrando que con la intervenciones (raleo) se puede aumentar considerablemente el crecimiento del diámetro.

La altura media también puede ser modificada significativamente por tres factores: intensidad, inicio y periodicidad de los raleos. El solo hecho de ralear, proceso en el cual se extraen los árboles de menor altura, ya produce un aumento considerable en la altura media del rodal, pero además de eso se produce una mejor respuesta cuando el raleo es temprano y más intenso (Prado y Barros, 1989).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Antecedentes del área de estudio

3.1.1 Ubicación Geográfica

El estudio se realizó en el predio Los Pinos (39°14' y 73°10') que se encuentra en colinas de la ribera sur del río Cayumapu a 15 km al norte de la ciudad de Valdivia, bordeando el camino que une la ciudad con la carretera 5 sur y forma parte de la propiedad de la Facultad de Ciencias Forestales de la UACH.

3.1.2 Clima

El clima de la zona corresponde al denominado templado lluvioso con influencia mediterránea, con una temperatura media anual que bordea los 12° C y precipitaciones que superan los 2.000 mm/año, concentrándose principalmente en el periodo comprendido entre mayo y agosto (Fuenzalida, 1971).

3.1.3 Topografía y suelos

El predio está formado por colinas que se extienden desde los 10 a los 190 m s.n.m con una topografía ondulada a quebrada. El suelo corresponde a un rojo arcilloso (serie Los Ulmos), derivado de sedimentos eólicos antiguos depositados sobre el complejo metamórfico costero. Es un suelo moderadamente profundo a profundo, presentando texturas medias a finas con estructura granular en la superficie y bloques subangulares en el subsuelo, con un buen arraigamiento (CIREN, 1978).

3.1.4 Uso histórico

La vegetación originaria del predio corresponde por sus características al tipo forestal siempreverde cuyas especies más abundantes son *Aextoxicon punctatum* (olivillo), *Nothofagus dombeyi* (coigüe) y *Laurelia philippiana* (tepa), además de especies arbustivas que conforman el sotobosque, destacándose *Aristotelia chilensis* (maqui), *Ugni molinae* (murta) y *Chusquea quila* (quila).

La vegetación nativa originaria del predio fue altamente degradada, luego se traspasó a ganadería extensiva y finalmente fue reemplazada por plantaciones forestales de especies exóticas de rápido crecimiento, principalmente *Pinus radiata*. Estas se establecieron entre los años 1945–1956 y el sitio de estudio fue cosechado en 1973 aproximadamente, siendo reforestado con la misma especie de pino en 1975 y luego cosechado en el año 2000. En los bordes de las quebradas aledañas se presentan renovales de bosque nativo sin manejo (Fresard, 2004). En los años 2001 y 2002 se plantó *Eucalyptus globulus* constituyendo las plantaciones actuales.

3.1.5 Características de las plantaciones.

Las plantaciones se establecieron a fines de octubre del 2001 (plantación de 6 años) y fines de septiembre del 2002 (plantación de 5 años). En ambas plantaciones se realizó un control de malezas post plantación, 4 meses después del establecimiento, con una mezcla que contenía los siguientes principios activos: *Haloxifop-metil*, *Clopiralid* y *Simazina*. Además, dichos rodales fueron fertilizados al establecimiento con un producto soluble, para la plantación del año 2001 se aplicó el producto F1 y para la plantación de año 2002 se aplicó el producto F2, cuya dosis fue 250 kg ha⁻¹ en ambas plantaciones (cuadro 2). El método utilizado para aplicar el fertilizante fue en dos hoyos a 15 cm del tallo.

Cuadro 2. Proporción de los elementos nutritivos en los productos utilizados.

Producto	Nutriente (%)							Tipo de N
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	B	CaO	
F1	15,0	22,0	8,0	2,9	2,0	1,5	s.i.	100 amoniacal
F2	15,0	22,0	8,0	2,9	2,0	1,5	4,0	78 amoniacal, 22 nítrico

s.i. = sin información

El presente estudio involucra plantaciones de *E. globulus* de 5 y 6 años de edad, que al momento de establecer los tratamientos presentaban las siguientes características (cuadro 3):

Cuadro 3. Antecedentes de los rodales de *Eucalyptus globulus*, al momento de aplicar los tratamientos.

Característica	Plantación de 5 años de edad	Plantación de 6 años de edad
Año de plantación	2002	2001
Fertilización (años)	1	2
Superficie (ha)	5,2	1,72
Densidad (árboles ha ⁻¹)	1.666	1.666
Espaciamento (m)	3 x 2	3 x 2

3.2 Método

La metodología mediante la cual se realizó el presente estudio se apoya en la utilizada por Fresard (2004), donde se evaluó este mismo ensayo de fertilización a la edad de 2 y 3 años.

3.2.1 Tratamiento aplicado a las plantaciones

La fertilización se realizó en octubre de 2003 cuando los rodales tenían 1 y 2 años de edad, con el producto F2 (cuadro 2), cuya particularidad radicó en el tipo de nitrógeno utilizado, que en este caso incluyó 22% de N nítrico. Las dosis de fertilizante fueron de 730 kg ha⁻¹ para la plantación de 1 año de edad, aplicado en bandas continuas de 30 cm de ancho en la línea de la plantación y 1.000 kg ha⁻¹

para la plantación de 2 años de edad aplicado al voleo en toda la superficie del rodal. En ambas plantaciones se dejaron rodales testigos sin fertilizar.

3.2.2 *Diseño experimental*

El diseño experimental para la plantación de 5 años está conformado por 3 áreas experimentales (figura 2):

- *Área experimental 1:* Ubicada en una ladera; para evitar el factor de la pendiente esta área se dividió en 3 bloques: ladera media, media a alta y alta, considerando como límite de muestreo la cumbre de la ladera. Cada bloque se muestreó mediante dos parcelas por tratamiento (fertilizado y no fertilizado).

A modo de simplificar la representación en la figura, se utilizó la siguiente nomenclatura para distinguir la estratificación realizada: B1 (ladera alta), B2 (ladera media a alta), B3 (ladera media).

- *Área experimental 2:* Construida con un diseño de parcelas al azar, con 4 parcelas por tratamiento (fertilización).
- *Área experimental 3:* Se consideró como un caso especial debido a la forma cóncava de la ladera, la que se muestreó con tres parcelas (con fertilización). Para su evaluación se utilizó, como base comparativa, el área experimental 2 (testigo).

En la plantación de 6 años, en el proceso de datos de la primera evaluación de Fresard (2004), se observó que el efecto de la fertilización se enmascaraba debido a factores externos al tratamiento tales como: tipo de maleza existente, de suelo y topográficos, reflejados principalmente en el crecimiento de los árboles. Por esta razón, la plantación se dividió en 2 bloques. Cada bloque fue muestreados con 8 parcelas al azar, 4 en cada tratamiento (fertilizado y testigo).

La totalidad del muestreo se realizó con parcelas circulares de 125 m², conteniendo un número de 20 árboles cada una, aproximadamente. Se utilizaron los mismos centros de parcela que utilizó Fresard (2004).

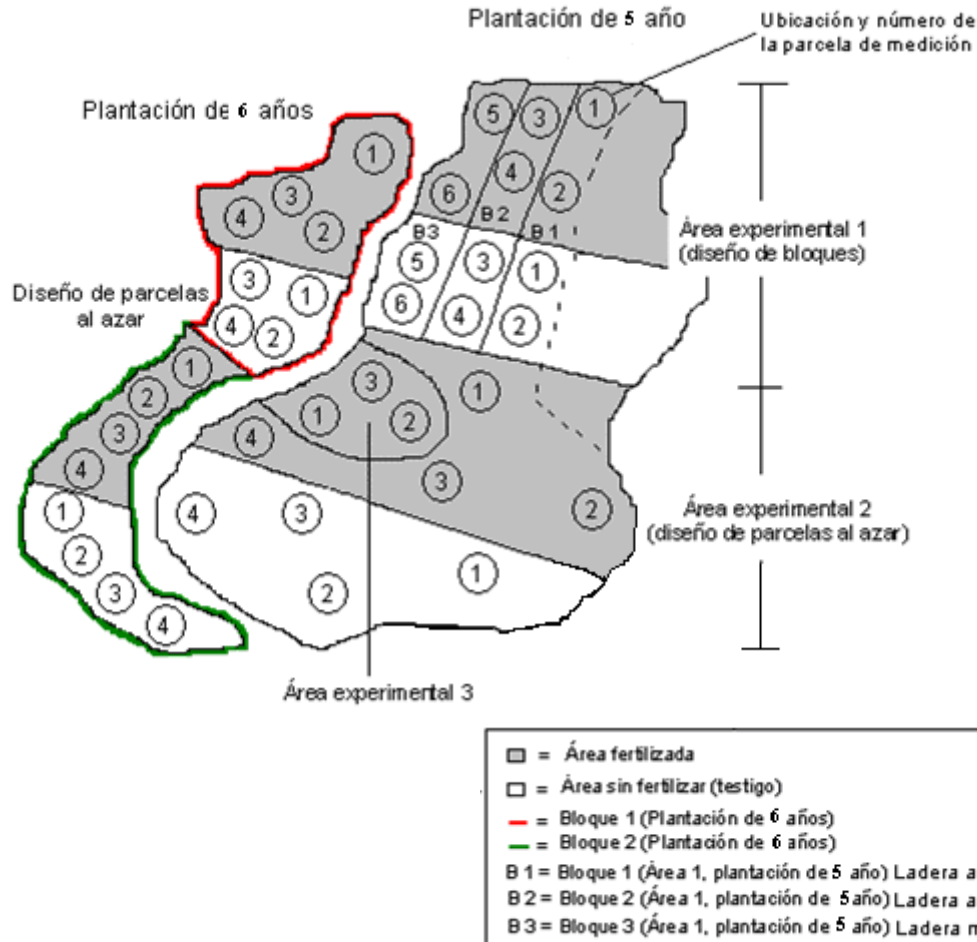


Figura 2. Distribución de las parcelas experimentales en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 5 y 6 años de edad (2007), predio Los Pinos. (modificado de Fresard, 2004.)

3.2.3 Medición cuantitativa de los rodales

Los rodales fueron medidos en Mayo y principios de Junio del 2007; las variables cuantitativas en terreno fueron las siguientes (anexo 2):

- *Diámetro a la altura del pecho (DAP)*: Esta variable también permite comparar el desarrollo de los individuos en respuesta a los distintos tratamientos. Se cuantificó en centímetros con una forcípula en todos los árboles de cada parcela.
- *Altura Total (HT)*: Representa una variable importante para realizar comparaciones en cuanto al desarrollo de los individuos como respuesta a los distintos tratamientos. Se midió con un Hipsómetro (Suunto) en metros, y los árboles a medir se seleccionaron por clase diamétrica en cada parcela, como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Número de árboles por clases diamétrica, para la medición de altura total y largo de copa viva, en cada parcela.

Clase diamétrica (cm)	Nº de Árboles
6 - 9	1
9 - 12	2
12 - 15	2
15 - 18	2
> 18	1

- *Largo de Copa viva (LC, con follaje vivo)*: Esta variable acusó efecto de la fertilización en la evaluación efectuada por Fresard (2004). Por esto último se incluyó nuevamente para el presente trabajo. Se midió con un Hipsómetro (Suunto) en metros, en los mismos árboles utilizados para la medición de la altura total (Cuadro 4).
- *Densidad*: Número de árboles por hectárea.

3.2.4 Medición cualitativa de los rodales.

En éste tipo de medición se evaluó la calidad de todos los árboles, entendiéndose ésta como la evaluación cualitativa de los individuos muestreados, y refleja directamente los efectos que posee la fertilización sobre ellos. Ésta evaluación se llevó a cabo mediante la medición de las siguientes variables:

- *Sanidad*: La calificación de la sanidad se realizó en todos los árboles dentro de la parcela designando un número de acuerdo al estado sanitario en que se encontraba cada árbol:

- 1= Superior (árbol sin ningún signo ni síntoma de hongos o insectos tanto en el fuste como en las hojas).
- 2= Medio (árbol con algún signo o síntoma, que no supere el 25% del total del árbol, causado por hongos o insectos tanto en el fuste como en las hojas).
- 3= Inferior (árbol con signos o síntomas de daños que sobrepasen el 50% del total del árbol, causados por hongos o insectos tanto en el fuste como en las hojas; también se calificó dentro de esta categoría a los árboles que se encontraron quebrados ya que tienen un alto potencial de ser atacados por plagas y enfermedades).

- *Forma*: Se refiere a la desviación que presenta el fuste respecto al eje central (anexo 3). Además se observó que no tuviera una bifurcación del ápice. La calificación de la forma se realizó en todos los árboles dentro de la parcela designando un número de acuerdo a las 2 variables mencionadas en cada árbol:

- 1= Superior (fuste recto y sin bifurcaciones).
- 2= Medio (fuste con una curvatura leve o una bifurcación sobre los 3 m).
- 3= Inferior (curvatura fuerte que impide proyectarse hasta el ápice a través del fuste o bifurcaciones bajos los 3 m).

Para la obtención de la calidad se utilizó una matriz de doble entrada, donde las variables de sanidad y forma entregaron una calidad final para cada árbol muestreado.

Cuadro 5. Matriz de doble entrada para la obtención de la calidad en cada árbol.

Calidad		Sanidad		
		1	2	3
Forma	1	1	2	3
	2	2	2	3
	3	3	3	3

3.2.5 Evaluación estadística.

Los datos de cada uno de los rodales se analizaron estadísticamente con el objeto de distinguir el efecto de la fertilización y además para comparar entre dos condiciones microtopográficas diferentes dentro del rodal.

Como la medición de la altura total y largo de copa viva se realizó por clase diamétrica (cuadro 4), para cada una de las 39 parcelas se estimaron 2 funciones lineales, una para estimar la altura en función del DAP y otra para estimar el largo de copa viva en función de la altura total (anexo 4).

Se utilizaron 2 modelos estadísticos diferentes, para el análisis estadístico de los datos asociados al área experimental I (plantación que actualmente tiene 5 años) se utilizó varianza (ANOVA), diseño factorial de 2 factores, el primer factor es la fertilización (con 2 niveles: no y si) y el segundo factor es la ladera (con 3 niveles: alta, media alta y media). Este permite comparar si tres o más tratamientos poseen igual media o promedio. El modelo estadístico esta dado por la siguiente expresión:

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

donde:

y_{ijk} = Es la variable dependiente: DAP, Área basal, Altura y largo de copa.

μ = Es el efecto medio del ensayo.

τ_i = Es el efecto del i -ésimo nivel del factor A (fertilización).

β_j = Es el efecto del j -ésimo nivel del factor B (ladera).

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

e_{ijk} = Es el error.

El segundo modelo estadístico se aplicó en el área experimental II y III (plantación de 5 años) y en los boques 1 y 2 (plantación de 6 años). Para estos casos se utilizó la prueba "t" de Student, que permite comparar si dos tratamientos tienen igual promedio. Los supuestos de normalidad se comprobaron para cada tratamiento (test

Chi cuadrado) y homogeneidad de varianza entre tratamiento (test de Bartlett) al 95% de confianza. Para formar grupos homogéneos de tratamientos se utilizó el test de Duncan al 95% de confianza. El modelo estadístico esta dado por:

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

donde:

y_{ij} = Es la variable dependiente: DAP, Área basal, Altura, largo de copa, sanidad, forma, calidad, densidad.

μ = Es el efecto medio del ensayo.

τ_i = Es el efecto del *i*-ésimo Tratamiento

e_{ij} = Es el error.

Las variables discretas: sanidad, forma, calidad y densidad, fueron evaluadas a través del test W de Mann-Whitney, que permite comparar las medianas cuando existen dos tratamientos. Para el caso de tres o más tratamientos se utilizó el test de Kruskal-Wallis. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS 5.0.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Plantación del año 2002 (5 años al 2007)

4.1.1 Área experimental 1

• Crecimiento en DAP

El análisis de varianza (anexo 4) al crecimiento en DAP (cm), detectó diferencias significativas para el tratamiento aplicado (fertilización) (figura 3).

Cuadro 6. Parámetros descriptivos según fertilización, ladera y fertilización x ladera, para el DAP (cm) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

Fertilización	Sign.	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	C.V. %
No	**	118	4,5	10,9	21,0	27,0
Si		121	5,5	12,0	22,0	23,8
Ladera						
Alta	ns	80	5,0	11,2	22,0	26,5
alta media		76	5,0	11,8	21,0	24,9
Media		83	4,5	11,3	18,2	25,7
Fertilización x Ladera						
no x alta	ns	37	5,0	10,1	15,5	24,0
si x alta		43	6,0	12,1	22,0	25,7
no x alta media	ns	38	5,0	11,1	21,0	28,5
si x alta media		38	6,0	12,0	16,0	21,2
si x media	ns	43	4,5	10,8	17,0	26,3
si x media		40	5,5	11,8	18,2	24,6

ns: No significativo al 95% de confianza ($p>0,05$)

** : Significativo al 99% de confianza ($p<0,01$)

El crecimiento del DAP fue homogéneo para el promedio de los árboles en la ladera (fertilizados y sin fertilizar), donde el mayor crecimiento se registró en la ladera alta media con 11,8 cm. Este crecimiento es superior que el de un trabajo de Nutto y Touza (2006), donde una plantación de 6 años de la misma especie y sin tratamiento de fertilización registro un crecimiento del DAP de 10,9 cm.

No se encontraron diferencias significativas en la interacción entre la fertilización y la posición en la ladera.

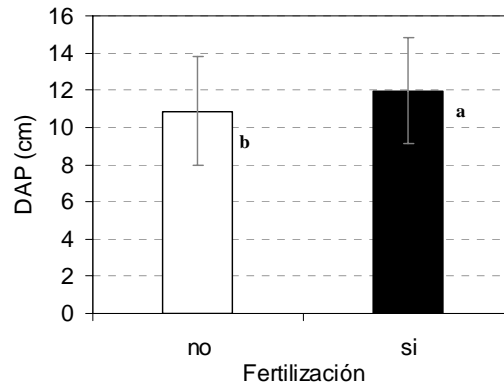


Figura 3. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el DAP (cm) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

El crecimiento del DAP en las 3 áreas experimentales de la plantación de 5 años, es más bajo que el registrado por Calderón (1991) de 12,7 cm, pero hay que tener presente que el tratamiento aplicado en ese ensayo en la provincia de Concepción, fue más intensivo (4 repeticiones de fertilización) y la región del Bio-Bio presenta sitios con mejores rangos de crecimiento (Prado y Barros, 1989).

• Crecimiento en área basal.

El análisis de varianza (anexo 4) para el crecimiento en área basal (m^2 árbol), indica que existen diferencias significativas para el factor fertilización (figura 4). Los promedios por ladera para el total de los árboles (área fertilizada y sin fertilizar), no presentaron diferencias significativas. No existe interacción entre la fertilización y la posición de la ladera (cuadro 7).

Cuadro 7. Parámetros descriptivos según fertilización, ladera y fertilización x ladera para el Área basal (m^2 árbol) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

Fertilización	Sign.	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	C.V. %
No	**	118	0,0016	0,0100	0,0347	53,2
Si		121	0,0024	0,0119	0,0381	45,9
Ladera						
Alta	ns	80	0,0020	0,0105	0,0381	53,7
alta media		76	0,0020	0,0117	0,0347	48,1
Media		83	0,0016	0,0107	0,0261	47,7
Fertilización x Ladera						
no x alta	ns	37	0,0020	0,0085	0,0189	46,5
si x alta		43	0,0028	0,0123	0,0381	51,5
no x alta media	ns	38	0,0020	0,0117	0,0347	56,6
si x alta media		38	0,0028	0,0118	0,0202	38,9
no x media	ns	43	0,0016	0,0099	0,0228	48,5
si x media		40	0,0024	0,0116	0,0261	46,0

ns: No significativo al 95% de confianza ($p > 0,05$)

** : Significativo al 99% de confianza ($p < 0,01$)

Para el tratamiento aplicado se obtuvo un área basal medio de 0,0119 m² árbol, con una densidad de 1.600 árboles ha⁻¹ equivalente a un área basal total de 19,04 m² ha⁻¹, influenciado por la alta densidad. El testigo presentó un área basal total de 15,2 m² ha⁻¹ demostrando que la fertilización sí afectó en esta variable. Aún cuando el área basal es función del DAP, existe una relación entre ésta y el espaciamiento (densidad). Normalmente se obtiene una mayor área basal en rodales densos especialmente en sitios pobres (Prado y Barros, 1989).

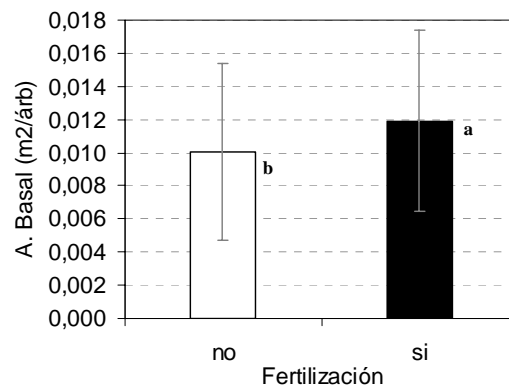


Figura 4. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el área basal (m² árbol) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

A la edad de 5 años, el área basal acumula un mayor crecimiento que una plantación de *E. globulus* de 8 años de edad en la provincia de Osorno, que registra 16,7 y 18,3 m² ha⁻¹ sobre suelos rojo arcillosos pero sin técnicas adecuadas al establecimiento (Geldres y Schlatter, 2004). Esto demuestra que con la intensificación de la silvicultura aumentan las tasas de crecimiento (Thiers *et al.*, 2007).

• Crecimiento en altura

Según el análisis estadístico (anexo 4), el tratamiento aplicado (fertilización) con un crecimiento de 13,02 m presentó diferencias significativas comparado con el testigo con 12,06 m (figura 5a), pese a ésto, existen trabajos con registros de mayor crecimientos como el de Calderón (1991) con una altura de 14,04 m y el de Nutto y Touza (2006) con una altura de 14 m, pero ambos trabajos a una edad de 6 años.

Para el total de árboles por ladera (fertilizados y sin fertilizar), también se encontraron diferencias significativas (figura 5b).

Cuadro 8. Parámetros descriptivos según fertilización, ladera y fertilización x ladera, para la altura (m) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

Fertilización	Sign.	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	CV %
No		118	7,43	12,06	18,35	16,2
Si	**	121	8,50	13,02	20,23	13,1
Ladera						
alta	**	80	7,43	12,05	20,23	18,3
alta media		76	7,50	12,77	18,35	14,4
media		83	8,42	12,82	16,50	11,6
Fertilización x Ladera						
no x alta		37	7,43	11,07	16,00	16,2
si x alta	*	43	8,50	12,90	20,23	16,9
no x media		43	8,42	12,53	16,50	12,5
si x media	ns	40	10,43	13,14	16,20	10,3
si x alta media		38	9,80	13,03	15,49	10,9
no x alta media	ns	38	7,50	12,50	18,35	17,4

*: Significativo al 95% de confianza ($p > 0,05$)

** : Significativo al 99% de confianza ($p < 0,01$)

El crecimiento de la altura en la posición en la ladera, presentó la misma tendencia de los resultados del trabajo de Fresard (2004) tanto en el área fertilizada como en los testigos. El bloque 3 (ladera media) fue el más favorable en cuanto a la altura total de los individuos evaluados (13,14 m), seguido por el bloque 2 (13,03 m) y finalmente el bloque 1 (12,90 m). Los resultados del testigo presentaron la misma tendencia del área fertilizada con la mayor altura en la ladera media y la menor en ladera alta (figura 5c). Esta tendencia lleva a pensar que el crecimiento está influenciado por la topografía, ya que es posible que en los lugares más bajos (ladera media) existan suelos que son más profundos y con un mayor contenido de humedad. Un indicador observado en terreno, fue el mayor número de maleza existente en la zona más bajas (ladera media), que con una mayor oferta de agua, se desarrollaron en mayor cantidad (*Aristotelia chilensis*, *Ugni molinae*, *Chusquea quila*, *Rubus ulmifolius*) al compararlo con zona más alta. El contenido de humedad puede ser un factor muy importante y afecta directamente el comportamiento de las plantaciones de eucaliptos. Con el aumento de oferta de agua, aumenta el crecimiento (Harper *et al.*, 1999).

Una interacción entre el tratamiento de fertilización y la posición en la ladera fue identificada (figura 4c). En la ladera alta, los árboles fertilizados presentaron una altura de 12,9 m superando a los testigos con 11,07 m. Esta misma tendencia se observó en la variable DAP pero esta sin ser significativas, donde las mayores diferencias se registraron en la ladera alta (cuadro 6).

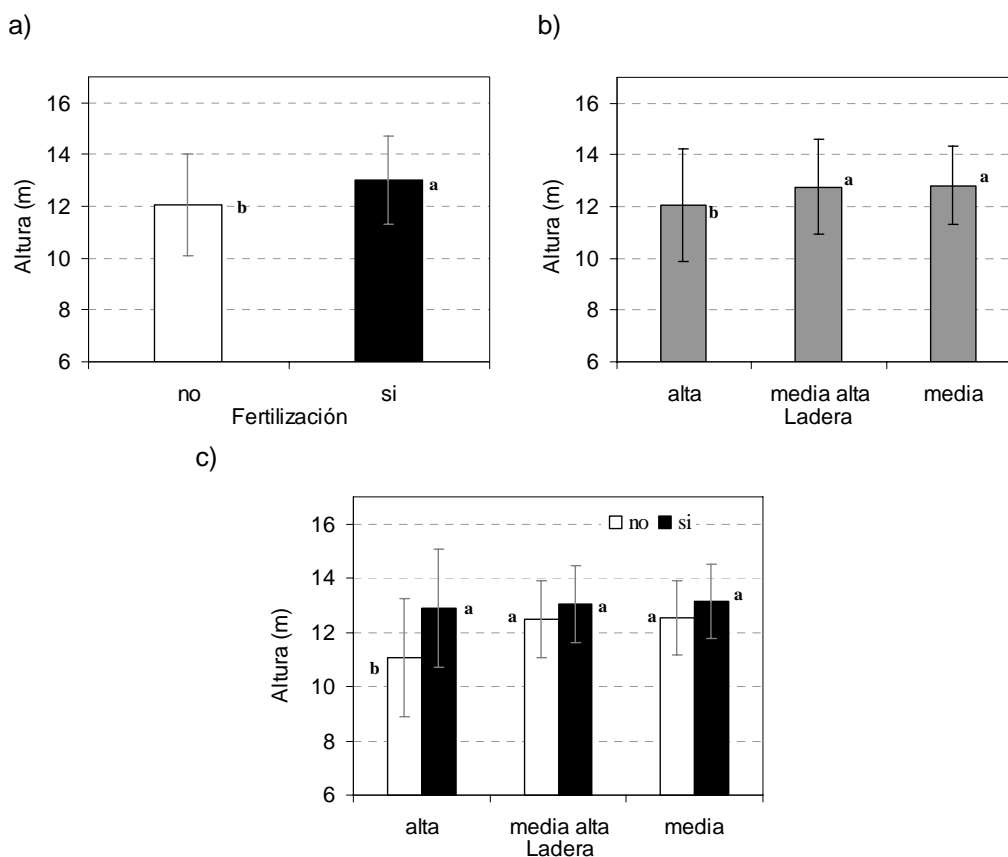


Figura 5. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento (a), posición en la ladera (b) y interacción entre fertilización y ladera (c) para la altura (m) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

• **Largo de copa viva**

La variable largo de copa viva fue afectada positivamente por la fertilización, es decir, hubo un efecto significativo en el crecimiento (figura 6). Para la posición en la ladera y la interacción entre fertilización y posición de la ladera, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (cuadro 9).

Cuadro 9. Parámetros descriptivos según fertilización, ladera y fertilización x ladera, para el largo de copa (m) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

Fertilización	Sign.	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	CV %
no	**	118	2,5	5,5	9,0	23,1
si		121	3,2	6,3	10,5	22,7
Ladera						
alta	ns	80	2,5	5,8	9,2	22,0
alta media		76	3,2	5,8	9,0	21,2
media		83	3,0	6,1	10,5	26,9
Fertilización x Ladera						
no x alta	ns	37	2,5	5,3	7,5	21,9
si x alta		43	4,0	6,2	9,2	20,0
no x alta media	ns	38	3,6	5,6	9,0	23,1
si x alta media		38	3,2	5,9	8,5	19,2
no x media	ns	43	3,0	5,6	8,0	24,3
si x media		40	3,5	6,8	10,5	25,5

ns: No significativo al 95% de confianza ($p > 0,05$)

** : Significativo al 99% de confianza ($p < 0,01$)

Para el largo de copa viva se mantuvo la misma tendencia del crecimiento en altura con relación a la ladera. Los mayores largos de copa estuvieron en la ladera media (posición más baja), relación que se produjo tanto en el área fertilizada como en el testigo, por la misma causa explicada anteriormente en la altura (mejores condiciones de sitio para el crecimiento de los árboles).

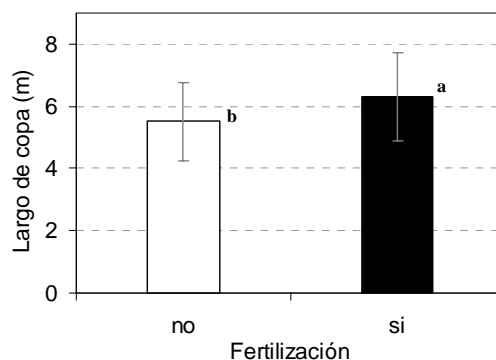


Figura 6. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el largo de copa (m) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

A diferencia de los resultados obtenidos por Fresard (2004), el área experimental 1 presentó diferencias significativas en el crecimiento del DAP, área basal, altura y largo de copa viva al compararlas con los testigos. Estas diferencias que en la evaluación anterior fueron mínimas, se pueden explicar por la corta que se realizó en el año 2005 de un remanente de *Pinus radiata* que se encontraba ubicada en el límite norte de esta área experimental, cuya extracción permitió el ingreso total de la luz solar, aumentando la tasa fotosintética de los individuos de eucaliptos establecidas en el año 2002. La cantidad de luz interceptada por el follaje es importante para el crecimiento de los árboles (Beadle *et al.*, 1995) y, por lo tanto, para la productividad y dinámica de los rodales (Oliver y Larson, 1996). Si agregamos a esto la fertilización realizada, el aumento de las variables de crecimiento ya mencionadas fueron estadísticamente significativas (figura 18a).

• Calidad

La tendencia general que presenta la calidad en esta área experimental, es de un mayor número de árboles de buena calidad (calidad 1) en la posición de ladera alta, sin embargo no se encontraron diferencias significativas al compararlas con el testigo Test W= 1,16 (p=0,28).

Cuadro 10. Parámetros descriptivos según tratamiento, ladera y fertilización x ladera, para la calidad en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

Fertilización	Sign.	N°Obs	Mediana	Prom.	Clase de calidad		
					1	2	3
no	ns	118	2	1,83	28,8%	59,3%	11,9%
si		121	2	1,93	26,4%	54,5%	19,0%
Ladera							
alta	ns	80	2	1,76	40,0%	43,8%	16,3%
media alta		76	2	1,97	19,7%	63,2%	17,1%
media		83	2	1,90	22,9%	63,9%	13,3%
Fertilización x Ladera							
no x alta	*	37	1	1,54	51,4%	43,2%	5,4%
si x alta		43	2	1,95	30,2%	44,2%	25,6%
no x media alta	ns	38	2	2,00	15,8%	68,4%	15,8%
si x media alta		38	2	1,95	23,7%	57,9%	18,4%
no x media	ns	43	2	1,93	20,9%	65,1%	14,0%
si x media		40	2	1,88	25,0%	62,5%	12,5%

ns: No significativo al 95% de confianza (p>0,05)

*: Significativo al 95% de confianza (p>0,05)

Para el total de árboles por ladera (fertilizados y sin fertilizar), no se encontró diferencias significativas Test W=4,91 (p=0,09), pero destaca el buen porcentaje de árboles de calidad 1 de la ladera alta sin fertilizar.

Donde sí se encontró una variación significativa fue en la interacción del tratamiento de fertilización y la posición en la ladera Test W=13,14 (p=0,02). Esta diferencia se presentó en el bloque 1 (ladera alta), donde la buena calidad de los testigos de

51,4% de árboles calidad 1, destacó sobre el 30,2% de los individuos fertilizados (cuadro 10). A diferencia del crecimiento en altura (figura 5), el mayor porcentaje de árboles de mejor calidad se encontraron en la ladera alta y el menor porcentaje se encontraba en la ladera media, tanto en el área fertilizada como en el testigo. Esto se puede explicar por el mayor crecimiento en altura total que presentaron los árboles en los primeros años de crecimiento producto de la fertilización al establecimiento y al primer año, provocando una mayor oscilación de las copas por el viento afectando la forma de los árboles¹. El viento es una de las perturbaciones abióticas más comunes en los bosques y pueden provocar caídas y quiebre de fustes, además de malformaciones y retardo del crecimiento. La oscilación del árbol será función de la altura del árbol, la masa de la copa y el DAP (Cendoya *et al.*, 2004).

Se descarta un problema con el balance nutritivo en la ladera, ya que en la primera evaluación, el estado nutritivo eran adecuados para el desarrollo de los árboles y no se encontraron diferencias en el contenido de elementos nutritivos según la posición relativa en la ladera (Fresard 2004). Otra situación que no se puede descartar es el mayor crecimiento de la maleza en esta zona (ladera media) producto de una mayor humedad del suelo produciéndose una mayor competencia interespecifica que afecta la forma de los árboles afectando su calidad (figura 7).

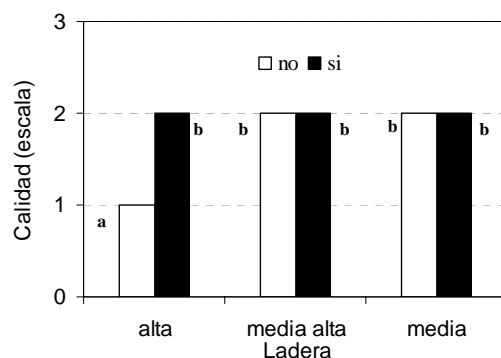


Figura 7. Valores medianos según interacción entre fertilización y posición en la ladera, para la calidad en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

¹ Thiers, O. 2006. Universidad Austral de Chile. Valdivia (apuntes de clases).

4.1.2 Área experimental 2 y área experimental 3.

• Crecimiento en DAP, área basal, altura y largo de copa viva.

Cuadro 11. Parámetros descriptivos según tratamiento, para el DAP, área basal, altura y largo de copa viva en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.

Variable	Sign.	Tratamiento	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	CV %
DAP (cm)	ns	no	73	5,0	11,7	21,0	26,9
		si	82	4,0	11,4	18,5	24,7
		concavidad	62	5,0	12,3	19,5	25,2
Área basal (m ² árbol)	ns	no	73	0,0020	0,0116	0,0347	51,2
		si	82	0,0013	0,0109	0,0270	47,2
		concavidad	62	0,0020	0,0126	0,0300	47,8
Altura (m)	ns	no	73	6,86	12,98	19,00	19,0
		si	82	7,79	13,48	17,00	14,1
		concavidad	62	7,39	13,69	19,71	15,9
Largo copa (m)	**	no	73	2,9	5,6	10,0	26,2
		si	82	4,0	6,9	11,5	22,8
		concavidad	62	3,0	6,5	10,0	25,4

ns: No significativo al 95% de confianza ($p>0,05$)

** : Significativo al 99% de confianza ($p<0,01$)

El análisis de la prueba “t”, indica que existen diferencias significativas para los promedios en el largo de copa, para el área experimental 2 y 3 (figura 8).

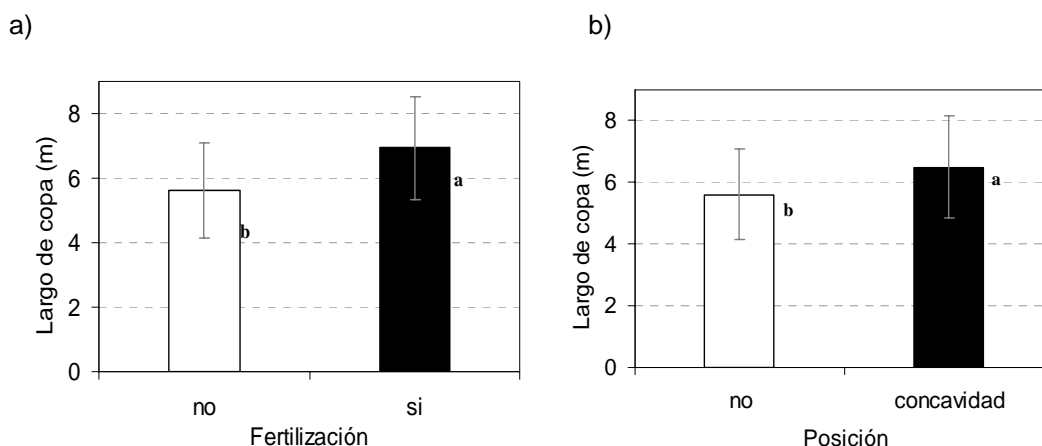


Figura 8. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el largo de copa (m) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 2 (a) y 3 (b), predio Los Pinos.

En el área experimental 2 (fertilizados), el crecimiento de las variables DAP y área basal fue menor que su testigo y el área experimental 1. El área experimental 2 en su primera evaluación a los 3 años presentó importantes ganancias en el crecimiento sobre el testigo y el área experimental 1, el acelerado crecimiento inicial y una alta densidad (1.600 árboles ha⁻¹) pudo producir un cierre de copa anticipado con una fuerte competencia entre los individuos, disminuyendo fuertemente su crecimiento. Según Prado y Barros (1989), una vez establecida la plantación la competencia es

mínima, pero en la medida que los árboles crecen comienzan a ejercer un efecto sobre el medio y en consecuencia, sobre los otros árboles, iniciándose una competencia por los elementos que permiten el crecimiento: luz, agua y nutrientes.

En árboles con una altura superior a 10 m y con una densidad mayor existe una fuerte competencia por lo que las intervenciones silviculturales que pueden aplicarse como parte de un esquema de manejo tienen que ser tomadas oportunamente, para favorecer el crecimiento.

La zona cóncava a pesar de presentar un crecimiento superior en todas las variables sobre el testigo del área experimental 2, sólo presentó diferencias significativas en el largo de copa viva. El buen crecimiento del testigo, producto de una menor densidad pudo prolongar su crecimiento en el tiempo y al contrario la concavidad, presentó un explosivo crecimiento inicial, produciéndose actualmente una fuerte competencia por espacio y nutrientes. Es por esta razón que el crecimiento del testigo superó en el DAP y área basal al crecimiento de los bloques 1 y 2 (fertilizados y testigos) de la plantación de 6 años de edad (cuadro 14 y 16).

El área experimental 3 (concavidad) en comparación con el área experimental 1 y 2, presentó los mayores crecimientos, no siendo una situación sorprendente, ya que el lugar donde se sitúa esta área (forma y contorno cóncavo en la ladera), favorece el crecimiento de los árboles. Según Schlatter *et al.*, 2003 las características topográficas de un lugar juegan un papel importante en la productividad de un sitio, en lugares con laderas de forma cóncava el agua de drenaje se desacelera y se concentra. Como se sabe los eucaliptos reaccionan favorablemente a una mayor oferta de agua y al encontrarse en un sitio donde hay una convergencia de humedad en el suelo esto estimulará su crecimiento, siempre que no se afecte el drenaje.

• Calidad

El test W de Mann-Whitney resultó ser no significativo al 95% de confianza para el área experimental 2 Test W=1714,5 (p=0,09) y área experimental 3 Test W=3675,5 (p=0,08).

Cuadro 12. Parámetros descriptivos según tratamiento para la calidad en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.

Tratamiento	NºObs	Mediana	Prom.	Clase de calidad		
				1	2	3
no	73	2	1,68	46,6%	38,4%	15,1%
si	82	2	1,98	28,0%	46,3%	25,6%
concavidad	62	2	2,08	21,0%	50,0%	29,0%

La calidad no fue beneficiada por el tratamiento aplicado, ya que las 3 áreas fertilizadas de la plantación de 5 años, presentaron porcentajes inferiores de árboles de calidad 1 que los testigos. La explicación a esto, ya fue comentada anteriormente y es por el crecimiento más rápido que experimentó en los primeros años esta plantación lo que afectó la calidad de los individuos.

4.1.3 Tendencia de crecimiento de la altura en área experimental 1, 2 y 3.

A continuación se presenta la tendencia de crecimiento de la altura total para las 3 áreas experimentales de la plantación, establecida en el año 2002. Las mediciones fueron realizadas a los 2 y 5 años de edad y sólo se pudo representar la curva de crecimiento en altura ya que para las demás variables no se registró la información en la primera evaluación.

En la figura 9a, se observa que en el tiempo aumentó la diferencia de la altura entre el área fertilizada y el testigo; en la primera evaluación a los 2 años la diferencia fue de 0,20 m y en la segunda evaluación a los 5 años esta diferencia aumentó hasta 0,96 m. Este aumento de las diferencias es atribuible a la mayor entrada de luz que provocó el corte del remanente de *P. radiata* en el año 2005, explicado anteriormente en la interpretación del largo de la copa viva.

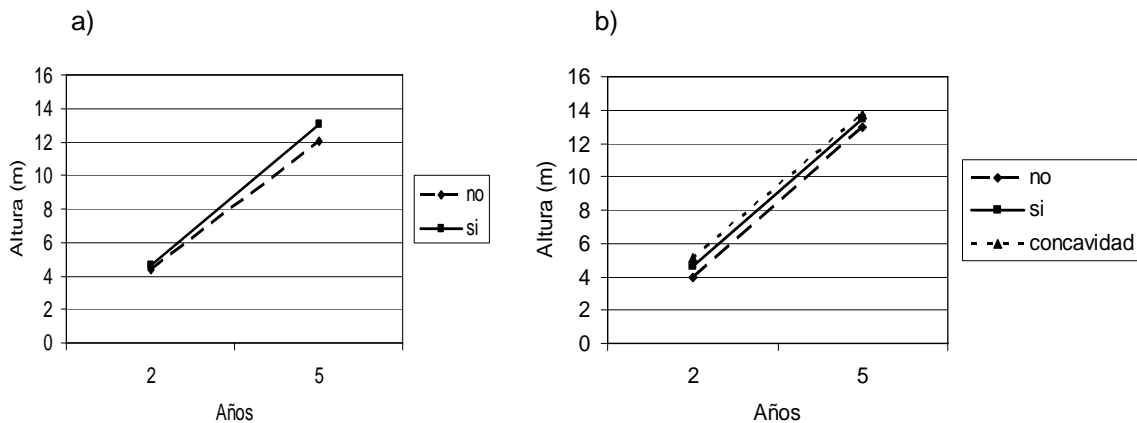


Figura 9. Tendencia de crecimiento según tratamiento para la altura (m) en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, para área experimental 1 (a) y áreas experimentales 2 y 3 (b), predio Los Pinos.

En el área experimental 2 (figura 9b), las diferencias en el crecimiento del tratamiento aplicado y su testigo fueron constantes en el tiempo, presentando una pequeña disminución de 0,60 m a los 2 años hasta 0,50 m a los 5 años de edad.

La concavidad (figura 9b) presentó mejor crecimiento en altura, producto de sus favorables condiciones, pero existe una disminución en el crecimiento entre la concavidad y el testigo de 1,10 m a los 2 años hasta 0,71 m a los 5 años de edad. Esta disminución se explica por la fuerte competencia entre los árboles, producto del buen crecimiento y la alta densidad en la concavidad, lo que impide que el buen crecimiento en ella se manifieste.

• Densidad

La densidad se evaluó en forma conjunta para las 3 áreas experimentales de la plantación del año 2002, no encontrándose diferencias significativas para el área fertilizada comparada con el área sin fertilizar (cuadro 13).

Cuadro 13. Parámetros descriptivos según tratamiento para la densidad (árboles ha⁻¹) en *Eucalyptus globulus*, plantación del año 2002 (5 años al 2007), predio Los Pinos.

Fertilización	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	Mediana	D.Estd.
no	10	1280	1528	1840	1520	10,9
si	10	1440	1624	1760	1600	6,2

El test W de Mann-Whitney para la densidad del rodal de 5 años, resultó no ser significativo al 95% de confianza Test W=70,5 (p=0,12).

4.2 Plantación del año 2001 (6 años al 2007)

4.2.1 Bloque 1

- **Crecimiento en DAP, área basal, altura y largo de copa viva.**

El análisis de la prueba “t”, indica que existen diferencias significativas en los promedios del DAP y altura, entre el tratamiento fertilización y los testigos (figura 10).

Cuadro 14. Parámetros descriptivos según tratamiento para el DAP, área basal, altura y largo de copa viva en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 1, predio Los Pinos

Variable	Sign.	Fertilización	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	CV %
DAP (cm)	**	no	80	2.0	10.0	21.5	39,9
		si	85	4.0	11.2	20.5	33,8
Área basal (m ² árbol)	ns	no	80	0.0003	0.0091	0.0364	73,4
		si	85	0.0013	0.0109	0.0331	62,5
Altura (m)	**	no	80	7.82	13.20	20.71	20,6
		si	85	10.92	14.68	19.00	12,6
Largo copa (m)	ns	no	80	2.5	5.4	13.0	32,3
		si	85	2.0	5.3	12.0	35,3

ns: No significativo al 95% de confianza (p>0,05)

** : Significativo al 99% de confianza (p<0,01)

La evaluación actual, detectó diferencias significativas en el crecimiento en altura, registrando el crecimiento más destacado de todo el ensayo y el único que superó el crecimiento del ensayo de Calderón (1991) con una altura de 14,7 m (cuadro 14). Este buen crecimiento, también se observó en el testigo de este bloque que con un crecimiento de 13,2 m superó el crecimiento del área fertilizada del bloque 2 (cuadro 16). Esto demuestra la influencia que ejerce la topografía en el crecimiento.

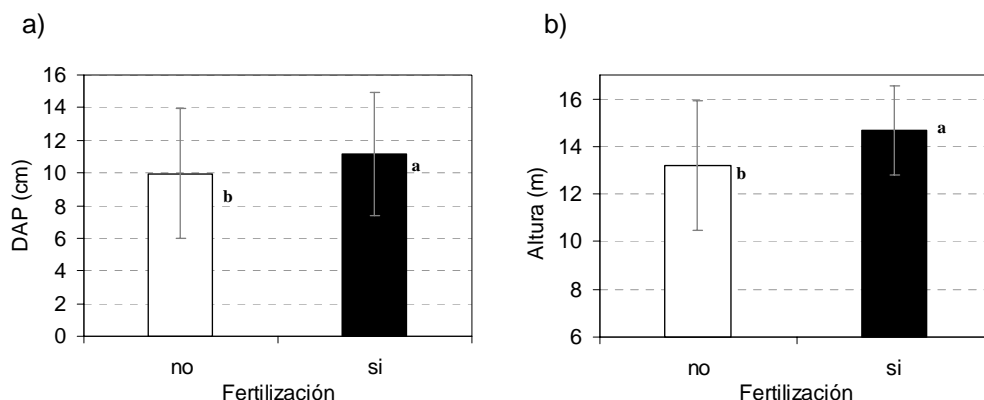


Figura 10. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el DAP (cm) (a) y altura (m) (b) en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 1, predio Los Pinos.

El crecimiento del DAP en el bloque 1, presenta diferencias significativas comparada con el testigo (figura 10a), pero su crecimiento fue menor que las áreas fertilizadas de la plantación de 5 años. Este menor crecimiento se puede explicar, por la mayor densidad que presenta la plantación de 6 años con $1.720 \text{ árboles ha}^{-1}$ y su menor respuesta al tratamiento aplicado (fertilización al establecimiento y año dos).

El bloque 1 en su evaluación a los 3 años, no mostró efectos significativos en las variables de crecimiento analizadas, ya que las diferencias fueron enmascaradas por el buen crecimiento que presentó el testigo, debido a las condiciones favorables para el crecimiento que ejerce la forma cóncava de la ladera, en donde se sitúa esta área de estudio (Fresard, 2004).

• Calidad

La calidad no fue afectada significativamente por la fertilización y el porcentaje de árboles de calidad 1 fue superior en 11% para el área sin fertilizar que el área fertilizada. El test W de Mann-Whitney resultó ser no significativo al 95% de confianza $W=3578,5$ ($p=0,53$) (cuadro 15).

Cuadro 15. Parámetros descriptivos según tratamiento para la calidad en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 1, predio Los Pinos.

Fertilización	NºObs	Mediana	Prom.	Clase de calidad		
				1	2	3
no	80	2	1,76	46,3%	31,3%	22,5%
si	85	2	1,81	35,3%	48,2%	16,5%

4.2.2 Bloque 2

• Crecimiento en DAP, área basal, altura y largo de copa viva.

En la variable DAP, el análisis de la prueba “t”, indica que existen diferencias significativas entre los promedios del área sin fertilizar y el área fertilizada (figura 11).

Cuadro 16. Parámetros descriptivos según tratamiento para el DAP, área basal, altura y largo de copa viva en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.

Variable	Sign.	Fertilización	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	CV %
DAP (cm)	*	no	76	2,5	10,0	19,0	39,2
		si	83	4,0	11,1	17,5	29,5
Área basal (m ² árbol)	ns	no	76	0,0005	0,0090	0,0284	68,5
		si	83	0,0013	0,0106	0,0241	54,9
Altura (m)	ns	no	76	4,87	12,27	19,49	27,8
		si	83	6,51	13,10	19,49	24,5
Largo copa (m)	ns	no	76	2,5	6,3	10,5	30,9
		si	83	2,5	6,7	12,0	34,5

ns: No significativo al 95% de confianza ($p>0,05$)

*: Significativo al 95% de confianza ($p>0,05$)

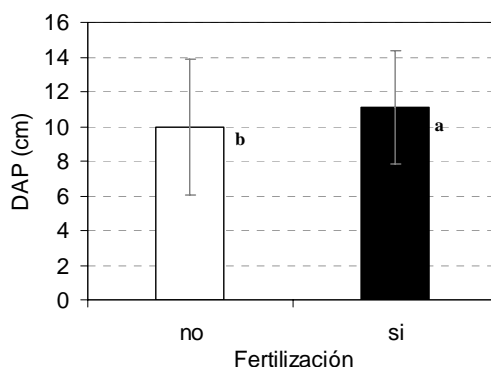


Figura 11. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el DAP (cm) en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.

El largo de copa viva (6,7 m) fue la única variable que sobrepasó en crecimiento del bloque 1, pero sin registrar diferencias significativas con el testigo, ya que este último presentó un crecimiento igualmente destacado (6,3 m) que superó en varias áreas el crecimiento de los árboles fertilizados. El mayor crecimiento de esta variable en el bloque 2 (fertilizados y testigos), se pudo producir por el menor crecimiento que tuvieron las demás variables. El retraso relativo del cierre de copa permitió una mayor entrada de luz a las partes bajas de la copa, produciéndose una menor caída de hojas de las ramas más bajas.

El bloque 2, registró los menores crecimiento de todo el ensayo, no obstante lo anterior, este bloque igual presenta un buen potencial de crecimiento. Esto se confirma observando la figura 13b, donde el área basal presenta diferencias

importantes comparado con el testigo. El crecimiento de esta variable llegó hasta los 18,3 m²/ha igualando el mejor registro del trabajo de Geldres y Schlatter (2004).

• **Calidad**

El bloque 2, fue la única área en todo el ensayo donde el porcentaje de árboles calidad 1 fue superior en el área fertilizada (43,4%) comparada con el testigo (39,5%). Al contrario de lo explicado en las anteriores situaciones, el crecimiento más lento de este bloque y su menor exposición al viento favoreció la calidad de los individuos. El test W de Mann-Whitney resultó ser no significativo al 95% de confianza Test W=2933 (p=0,40) (cuadro 17).

Cuadro 17. Parámetros descriptivos según tratamiento para la calidad en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.

Fertilización	NºObs	Mediana	Prom.	Clase de calidad		
				1	2	3
no	76	2	1,76	39,5%	44,7%	15,8%
si	83	2	1,66	43,4%	47,0%	9,6%

4.2.3 Tendencia de crecimiento en las variables DAP, área basal, altura y largo de copa viva para los bloques 1 y 2 de la plantación establecida en el año 2001.

Las mediciones fueron realizadas a los 3 y 6 años de edad y mostrarán la tendencia del crecimiento y sus diferencias en el tiempo entre el tratamiento aplicado y los testigos.

• **Tendencia de crecimiento en el DAP.**

Como se observa en la figura 11, hay una clara tendencia de aumento del DAP en el tiempo para las plantaciones fertilizadas y los testigos.

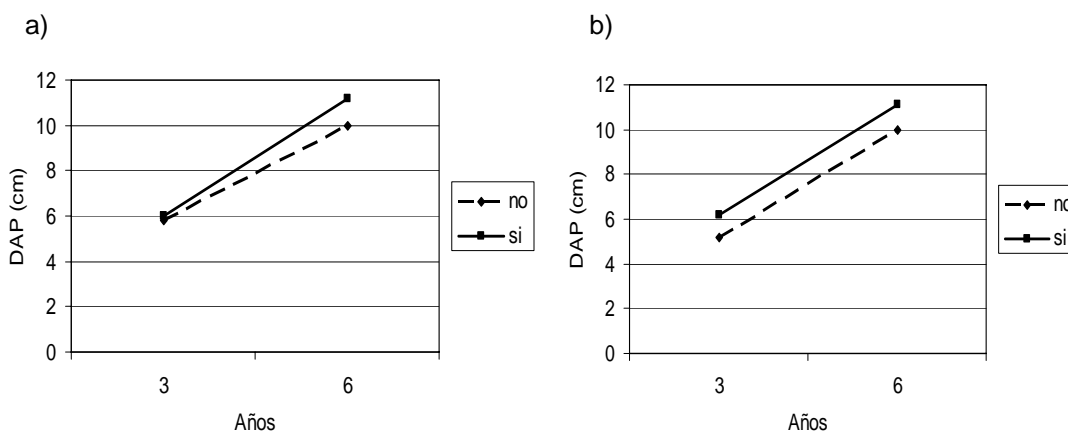


Figura 12. Tendencia de crecimiento según tratamiento para el DAP (cm) en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, para el bloque 1 (a) y bloque 2 (b), predio Los Pinos.

En el bloque 1 (figura 12a), se observa que las diferencias del DAP aumentaron en el tiempo de 0,2 cm a los 3 años hasta 1,2 cm a los 6 años, en cambio en el bloque 2 (figura 12b), las diferencias se mantuvieron constantes en el tiempo, ya que sólo aumentó de 1 cm a los 3 años hasta 1,1 cm a los 6 años de edad.

Al comparar el crecimiento en DAP entre las plantaciones del 2001 y 2002 tanto en testigos como fertilizados, el crecimiento de la plantación de 5 años es mayor. Estas diferencias en el crecimiento del DAP puede esta influenciado por la alta densidad en la plantación de 6 años ($1.720 \text{ árboles ha}^{-1}$) en comparación con la plantación de 5 años ($1.600 \text{ árboles ha}^{-1}$). Ya que existe una relación directa entre espaciamiento y desarrollo diamétrico. A menor densidad mayor es el diámetro. Esta relación está afectada por la edad, la especie y la calidad del sitio (Prado y Barros, 1989). También los tratamiento de control de malezas y fertilización fueron aplicados a una edad más temprana en la plantación más joven, lo que también podría ser una causa de las diferencias.

• **Tendencia de crecimiento en el área basal.**

Como se observa en la figura 13, hay una clara tendencia de aumento del área basal en el tiempo para la plantación fertilizada y el testigo, esta situación es normal ya que el área basal esta muy influenciada por el DAP el cual mostró la misma tendencia en el tiempo.

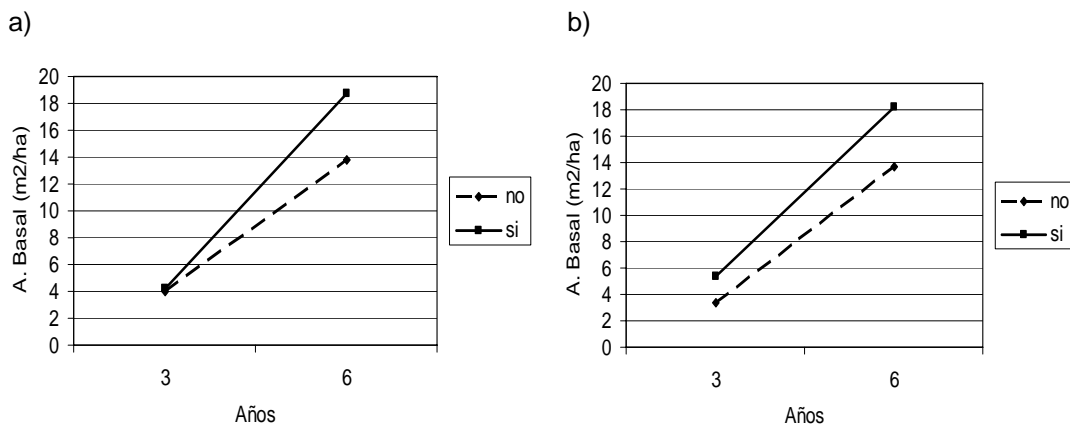


Figura 13. Tendencia de crecimiento según tratamiento para el área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, para el bloque 1 (a) y bloque 2 (b), predio Los Pinos.

El bloque 1 (figura 13a), en su primera evaluación presentó una diferencia de $0,4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ entre los árboles fertilizados y los testigos, pero esta diferencia aumentó hasta $4,1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en la segunda evaluación. Para el bloque 2 (figura 13b), la diferencia a los 3 años fue de $2,0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ aumentando hasta $3,8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en la evaluación a los 6 años.

La plantación de 6 años, presentó un área basal de $18,6 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ superado por la plantación de 5 años con $18,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, aun cuando la plantación de mayor edad

presenta una densidad de 1.720 árboles ha⁻¹ y la plantación de 5 años 1.600 árboles ha⁻¹.

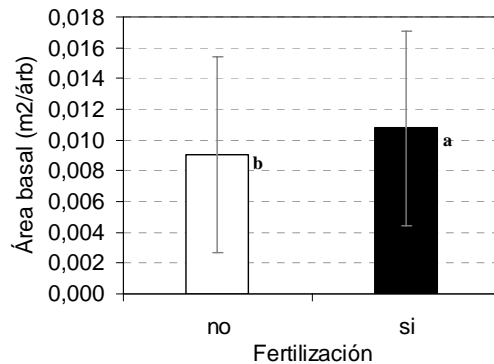


Figura 14. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para el área basal (m² árbol) en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 1 y bloque 2, predio Los Pinos.

El promedio de los 2 bloques fertilizados (plantación de 6 años) fue mayor que el de los testigos, con diferencias estadísticamente significativas (figura 14). Este resultado es importante, ya que el área basal es la variable que mejor expresa el crecimiento de volumen comercial y en la figura 13 se observa claramente que la fertilización fue efectiva en esta variable dasométrica.

• **Tendencia de crecimiento de la altura.**

La tendencia de crecimiento de la altura tuvo un comportamiento diferente entre los dos bloques, las diferencias en el crecimiento del bloque 1 (figura 15a) fue de 0,2 m a los 3 años, aumentando hasta 1,5 m a los 6 años entre el tratamiento aplicado y el testigo. Para el bloque 2 (figura 15b) las diferencias en el crecimiento a los 3 años fue de 1,4 m disminuyendo a 0,83 m a los 6 años de edad.

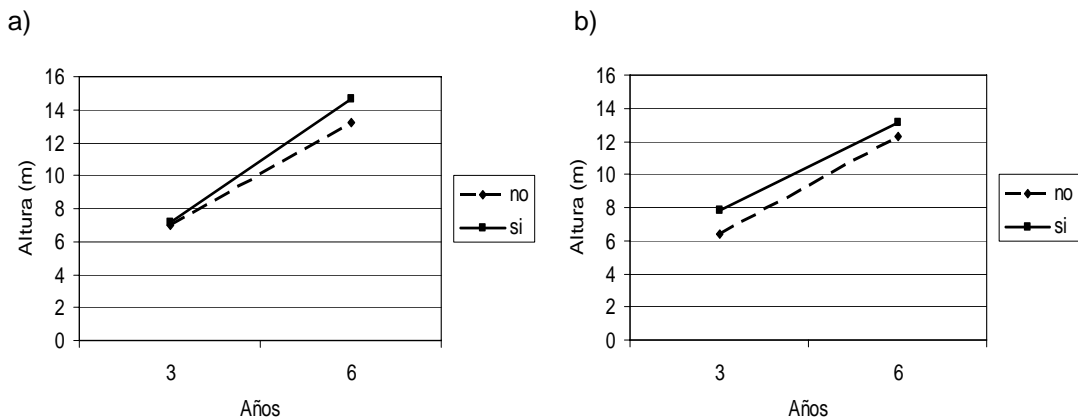


Figura 15. Tendencia de crecimiento según tratamiento para la altura (m) en *Eucalyptus glogulus* de 6 años de edad, para el bloque 1 (a) y bloque 2 (b), predio Los Pinos.

El crecimiento en altura promedio para los dos bloques fertilizados fue de 13,9 m y al compararlos con el testigo con 12,75 m, se encontraron diferencias significativas

(figura 16), siendo afectado positivamente por el tratamiento aplicado. Esto refuerza lo observado en el área basal, que con la altura son fundamentales en la función de volumen.

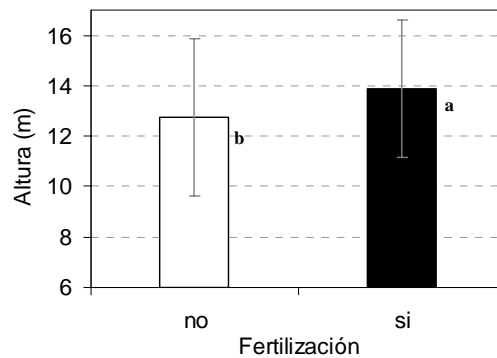


Figura 16. Valores promedios y desviación estándar según tratamiento para la altura (m) en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 1 y bloque 2, predio Los Pinos.

• **Tendencia en el largo de copa viva.**

Las diferencias en el largo de copa viva para el bloque 1 (figura 17a), fue de 0,2 m a los 3 años disminuyendo a 0,1 m a los 6 años entre el área fertilizada y el testigo. Para el bloque 2 (figura 17b) las diferencias disminuyeron de 1,5 m a los 3 años hasta 0,4 m a los 6 años de edad.

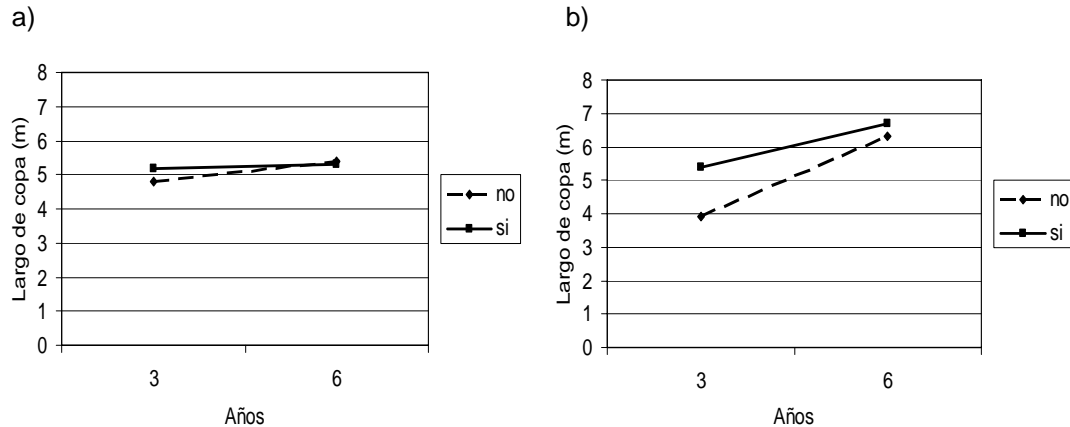


Figura 17. Tendencia de crecimiento según tratamiento para el largo de copa (m) en *Eucalyptus globulus* de 6 años de edad, bloque 1 (a) y bloque 2 (b), predio Los Pinos.

La situación del bloque 1 (figura 17a) se contrapone con lo visto en el crecimiento en altura (figura 15a), ya que este bloque presentó un fuerte aumento del crecimiento en altura luego de la evaluación a los 3 años, no así en la copa viva. El fuerte aumento de la altura después de los 3 años, pudo causar una alta demanda de nutrientes produciéndose defoliaciones de la copa baja. Este comportamiento ya se ha observado en reiteradas ocasiones en la región donde dicho comportamiento podría responder a desequilibrios nutricionales (Fresard, 2004). Es decir, el efecto de la fertilización no duró más de 1-2 años. Sin embargo, este bloque también fue el de

mayor densidad, lo que es un factor importante a considerar. Esto invita a preguntarse ¿Cómo habría sido la reacción de los árboles si se hubiera raleado?

En los primeros años, se produce un crecimiento acelerado, con crecimiento vigoroso y acumulación creciente de biomasa, principalmente por expansión de copa y las raíces. Al final culmina el crecimiento y se cierran las copas de los árboles. Esta culminación es a edades distintas, dependiendo de la especie y la intensidad de cultivo. Se caracteriza por la menor entrada de luz al suelo y por la caída masiva de hojas o acículas de las ramas más bajas, incluso en mayor cantidad que las que el árbol pueda producir en su copa alta, por falta de luz y por la fuerte competencia entre los árboles (Schlatter *et al.*, 2006).

El bloque 2 (figura 17b), muestra una tendencia más normal en el crecimiento y muy relacionado con el crecimiento en altura (figura 15b) ya que a medida que aumentó la altura también aumentó el largo de copa viva de los árboles. Sin embargo, las diferencias entre tratamientos se estrechan, a medida que la competencia entre árboles es mayor.

• Densidad

La densidad se evaluó en forma conjunta para los 2 bloques de la plantación del año 2001. El test de Mann-Whitney para la densidad de la plantación de 6 años, resultó ser no significativo al 95% de confianza Test $W=47$ ($p=0,12$) (cuadro 18).

Cuadro 18. Parámetros descriptivos según tratamiento para la densidad (árboles ha^{-1}), plantación del año 2001 (6 años al 2007).

Fertilización	NºObs	Mín.	Prom.	Máx.	Mediana	CV %
No	8	1360	1560	1760	1520	9,1
Si	8	1440	1680	1760	1720	6,7

En general el comportamiento de la densidad fue el mismo en las plantaciones del año 2001 y 2002. A pesar de encontrarse diferencias importantes entre el número máximo y mínimos de árboles, estas no fueron de importancia, ya que el número mínimo de árboles supera los 1.250 árboles ha^{-1} .

4.3 Análisis final.

En ambos rodales (5-6 años), a modo de tendencia general, se obtuvieron mayores crecimientos en DAP, área basal y altura total como resultado de la fertilización. La fertilización causó un efecto positivo, pero no fue siempre consistente, porque en algunos casos no tuvo influencia importante. La ausencia de un resultado estadísticamente significativo, en algunos bloques, relacionados con el crecimiento en diámetro y área basal se atribuye al efecto de la densidad, muy alta para la edad, causando esto una alta competencia intraespecífica. Otra razón de la poca consistencia es el diseño del ensayo, el cual, no permitió obtener con mayor precisión el efecto de los tratamientos aplicados ya que la topografía pudo enmascarar en algunos casos los resultados. Otro punto relevante lo constituye la variable calidad, que de acuerdo con los resultados estaría influenciada negativamente por la fertilización, independiente del rodal analizado.

En resumen, existe una tendencia de haber logrado un efecto positivo del tratamiento en el área basal y volumen. Las características propias del ensayo así como el diseño experimental sin embargo no permitieron obtener una respuesta más clara y consistente.

Los resultados obtenidos se sintetizan en el cuadro 19, donde se presentan los promedios (de las 39 parcelas del ensayo) para las variables de crecimiento de las plantaciones de 5 y 6 años de edad. A través de este cuadro se propone analizar la opción de un objetivo de producción alternativo, mixto, de madera aserrable y pulpable.

Cuadro 19. Parámetros (promedios) descriptivos para el DAP, área basal, altura, largo de copa y densidad, en *Eucalyptus globulus* de 5 y 6 años de edad, predio Los Pinos.

Fertilización	DAP (cm)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Altura (m)	L. copa (m)	Densidad (árboles ha ⁻¹)
no	10,65	15,69	12,62	5,70	1.520
si	11,52	19,12	13,59	6,34	1.660

Como se observa en el cuadro 19, esta plantación presenta una alta densidad. La pregunta que se puede formular a base de estos resultados es, de acuerdo con Ferrere *et al.* (2005), si en la plantación debiera haber reducido el número de plantas al momento de su plantación (1.000-1.200 árboles ha⁻¹). O, por otra parte haber controlado la densidad a través de raleos oportunos (Nutto y Touza, 2006).

Una densidad muy alta afecta el crecimiento (Prado y Barros, 1989), por eso es necesario raleo oportunamente, aun más si se ha invertido en fertilización. El estudio muestra que al fertilizar en suelos rojo arcillosos cercanos a Valdivia, después de los 2 años de edad, se permite lograr una copa de mayor follaje y por este intermedio obtener un mayor crecimiento volumétrico, como efecto de una mayor área basal y mayor altura. Sin embargo, esta ventaja puede disminuir si la densidad no es controlada a tiempo, debido a la alta competencia que se presenta entre los árboles, afectando esto el tamaño de copa.

La fertilización puede también ser aplicada en una mejor oportunidad, ya que si es muy temprano se afecta la calidad de los árboles. En cambio en el rodal de más edad, fertilizado justa antes del cierre de copas, ese efecto fue considerablemente menor. Aún así, como se observa en el cuadro 20 existe 498 árboles ha⁻¹ de calidad 1 en la plantación tratada.

Cuadro 20. Calidad de los árboles en *Eucalyptus globulus* de 5 y 6 años de edad, predio Los Pinos.

Fertilización	Clase de calidad (árboles ha ⁻¹)		
	1	2	3
no	608	668	228
si	498	813	298

Varios autores (Nutto y Touza, 2006; Borough *et al.*, 1979 citado por Prado y Barros, 1989) recomiendan esquemas de manejo para obtener madera de alto valor, en eucaliptos, con densidades finales entre 150 y 250 árboles ha⁻¹. Esta meta es posible lograrla en el área fertilizada de este ensayo, considerando la existencia actual de más de 400 árboles ha⁻¹ de calidad 1 (buena forma y sanidad).

De acuerdo a los resultados obtenidos y a la calidad del sitio, el esquema de manejo que se considera más conveniente es el siguiente: una fertilización al plantar (establecimiento); otra fertilización al menos, de mayor envergadura, una vez cumplido los 2 años de edad, cuando el rodal esté a punto de cerrar sus copas. Una vez cerradas las copas sin embargo, no deben postergarse las intervenciones oportunas de poda y raleo, en caso de desear obtener madera de alto valor.

5. CONCLUSIONES

- La fertilización aplicada en la plantación del año 2002 (5 años de edad al evaluar los resultados), tuvo efectos positivos en las variables de crecimiento, comparadas con los testigos. Sin embargo de tres áreas experimentales solo una logró significancia estadística en todas las variables. La variable: largo de copa viva, destacó por haber sido favorecida en todas las áreas experimentales de esta edad.
- La plantación del año 2001 (6 años de edad al evaluar los resultados), presentó resultados diferentes al tratamiento aplicado según el bloque experimental: en uno se presentó un buen crecimiento, con diferencias significativas en el diámetro y la altura, favorecido por condiciones topográficas especiales. En el otro, el mayor crecimiento se restringió al diámetro, pero destacó con el mejor porcentaje de árboles de buena calidad.
- La fertilización aplicada cuando la plantación cumple 1 año demostró ser tener un efecto más pronunciado sobre el crecimiento, por el espacio entre los árboles, pero en desmedro de la calidad. La fertilización en una plantación de 2 años, que está pronta a iniciar el cierre de copa, tiene la ventaja de concentrar su crecimiento en los árboles de mayor valor, sin embargo exige de una intervención de raleo oportuna para mantener ese efecto.
- La fertilización mostró la tendencia general de afectar la calidad de los árboles en ambas plantaciones, pero especialmente en la de menor edad. Pese a lo anterior no se encontraron diferencias significativas con el testigo, destacando que en general el número de árboles de calidad 1 superó los 400 árboles ha⁻¹.
- El número de árboles de buena calidad y la alta densidad actual, invita a realizar una intervención silvícola (raleo) a la brevedad, con el objetivo de no perder el potencial de crecimiento de esta plantación, especialmente en caso que se desee obtener productos de mayor valor.
- Este tipo de ensayos es conveniente realizarlos en sitios con una topografía más homogéneos, condición para poder obtener una mayor precisión del efecto de los tratamientos aplicados.

6. BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO, J., V. GERDING, J. E. SCHLATTER, R. GREZ.** 2001. Dinámica de elementos nutritivos en la biomasa de *Eucalyptus nitens* al cuarto año de crecimiento, en un suelo rojo arcilloso del sur de Chile. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 12p.
- BEADLE, CL., JL. HONEYSETT, C. TURNBULL, D. WHITE.** 1995. Site limits to achieving genetic potential. In B Potts, N Borralho, J Reid, R Cromer, W Tibbits, C Raymond eds. Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality. Proceedings CRC Temperate Hardwood Forestry – IUFRO Conference, 19-24 Feb 1995. Hobart, Australia. p. 325–331.
- BINKLEY, D.** 1993. Nutrición Forestal. Prácticas de Manejo. Limusa. México. 340p.
- CALDERON, S.** 1991. Respuesta de *Eucalyptus globulus* a fertilizaciones de apoyo en la VIII Región. Ciencia e Investigación Forestal. 5(1): 5–21
- CENDOYA, P., F. MUÑOZ, P. DECHENT, M. GIULIANO.** 2004. Desarrollo de un macromodelo de predicción del daño por viento en plantas juveniles de *Pinus radiata* D. Don. Revista de Ingeniería. 16(1): 5-12
- CORNEJO, B.** 1982. Respuesta de una plantación de *E. globulus* (Labill) a la fertilización con Urea y Superfosfato triple en la comuna de Litueche en la sexta Región. Memoria Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. 92p.
- FERRERE, P., G. LÓPEZ, R. BOCA, M. GALETTI, C. ESPARRACH, P. PATHAUER.** 2005. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un ensayo Nelder modificado. Sist Recur For 14(2): 174-184 p.
- FOX, T.** 2000. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. *Forest Ecology and Management* 138: 187-202.
- FUENZALIDA, H.** 1971. Climatología de Chile. Publicación interna de la sección de meteorología. Departamento de geofísica y geodesia. Universidad de Chile. Santiago (Chile). 73 p.
- FRESARD, G.** 2004. Evaluación de una fertilización en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. de uno y dos años de edad, Valdivia. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 44 p.
- GARCÍA, E., A. SOTOMAYOR, S. SILVA, G. VALDEBENITO** 2000. Establecimiento de Plantaciones Forestales. *Eucalyptus sp.* INFOR-FDI. 32p.

- GELDRES, E., J. E. SCHLATTER.** 2004. Crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* sobre suelos rojo arcillosos de la provincia de Osorno, Décima Región. Bosque (Chile) 25(1): 95-101.
- GERDING, V., R. GREZ.** 1996. Diagnóstico de deficiencias nutritivas en plantaciones forestales; Orientado a la aplicación de fertilizantes. En: Curso de Fertilización Forestal. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 22p.
- GONZALEZ, G.** 1985. Principios de la fertilización forestal. En : Primer taller sobre suelos y fertilización forestal. Chillán, Chile. Departamento de Cs. Forestales. Universidad de Concepción. Mimeografiado 25 p.
- HARPER, R., J. EDWARDS, J. MCGRATH, T. REILLY, S. WARD.** 1999. Performance of *Eucalyptus globulus* plantations in south-western Australia in relation to soils and climate [en línea]. CALMScience, Department of Conservation and Land Management. Australia. **Internet:** <<http://www.mbac.com.au/pdf/pefeuc.pdf> > **Consultado:** (20 Diciembre 2007)
- INSTITUTO FORESTAL** 2000. Captura de genotipos para el desarrollo de una raza de *Eucalyptus globulus* tolerante al frío. **Internet:** <http://www.infor.cl/globulus/descripcion.ht> **Consultado el:** (Junio 22, 2007)
- INSTITUTO FORESTAL** 1986. Especies forestales exóticas de interés económico para Chile. INFOR-CORFO, Santiago, Chile. 168 p.
- JUDD T., P. ATTIWILL, M. ADAMS.** 1996. Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: A synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. In: Nutrition of *Eucalyptus*, pp. 123 – 153. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- LIMA W. P.,** 1993. *Eucalyptus* Environmental Issues, Edusp, São Paulo. Brazil. 301 p.
- LUGO.** 1986. Solos, interpretación físico-química. Cátedra de Química Xeral e Agrícola, E.U.I.T.A. España. **Internet:** <http://www.geocities.com/Yosemite/8300/anexo1_2.htm **Consultado el:** (Junio 13, 2007)
- LUPI, A., N. FERNÁNDEZ, P. PATHAUER, P. FERRERE.** 2005. Fertilización inicial en *E. globulus*. Respuesta a la aplicación de urea y superfosfato triple. SAGPyA Forestal (Argentina) 35(1): 1-6

- LYON, A.** 1990. Análisis del efecto de la fertilización en plantaciones de un año de *Eucalyptus globulus* Labill., en los suelos volcánicos de la VIII Región. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. 112 p.
- MUÑOZ, F., M. ESPINOSA, M. HERRERA, J. CANCINO.** 2005. Características del crecimiento en diámetro, altura y volumen de una plantación de *Eucalyptus nitens* sometida a tratamientos silvícolas de poda y raleo. Bosque (Chile) 26(1): 93-99
- NUTTO, L., M. TOUZA.** 2006. Modelos de producción de madera sólida en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de Galicia. Cis-Madera, Revista del Centro de Innovación y servicios tecnológicos de la Madera de Galicia (2): 37-50
- OLIVA, M., N. DE BARROS, M. DE MOUZA.** 1995. Interacción Ca – P y déficit hídrico en la “Seca de Ponteiros” de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. In: Simposio IUFRO. Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales. Valdivia, Chile pp. 125-132.
- OLIVER, CD., BC. LARSON.** 1996. Forest stand dynamics (Update edition). John Wiley & Sons. 520p.
- PEREIRA, J.S., M. TOMÉ, M. MEADEIRA, C. OLIVEIRA, J. TOMÉ, M. ALMEIDA.** 1996. Eucalypt Plantations in Portugal. In: Nutrition of *Eucalyptus*, pp. 371 – 387. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- PINILLA SUÁREZ, J., I. ULLOA.** 2001. Nuevos resultados en un ensayo de espaciamento y raleo con *Eucalyptus globulus* en Constitución (VII Región). IUFRO Conference. CD The Eucalypts of the future, Valdivia, Chile, 10-15 de septiembre.
- POZO, E.** 2005. Efecto de la fertilización sobre plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill.) Y *Eucalyptus nitens* (Maiden) de siete años de edad en la comuna de Máfil. Provincia de Valdivia. Tesis Ing. For. Santiago. Universidad de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 107 p.
- PRADO, J. A., S. BARROS.** 1989. *Eucalyptus*. Principios de silvicultura y manejo. División Silvicultura, Instituto Forestal, CORFO, Santiago de Chile. 199 p.
- PRADO, J., J. TORO.** 1996. Silvicultura of eucalypt plantations in Chile. In: Nutrition of *Eucalyptus*, pp. 357 – 369. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- PUNTES, G., D. SUÁREZ.** 2001. Efecto de la dosis de N y P al establecimiento y post-establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus nitens* Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill en dos ecosistemas de la VIII Región. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 10 p.

- RUIZ, F., F. SORIA, M. PARDO, G. TOVAL.** 2001. Ensayos factoriales de fertilización en masas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) de mediana edad. Análisis de rentabilidad de inversión por fertilización. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 9p.
- SANTELICES, R.** 2005. Desarrollo de una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. Bosque (Chile) 26(3): 105-112.
- SCHLATTER J. E., R. GREZ, V. GERDING.** 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 114 p.
- SCHLATTER J. E., V. GERDING, S. CALDERÓN.** 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile. Bosque (Chile) 27(2): 115-125.
- SEPLIARSKY, F.** 2007. Desarrollo de nuevos mercados de madera sólida para *Eucalyptus globulus*. CIS-Madera, Revista del centro de Innovación y servicios tecnológicos de la Madera de Galicia (3): 109-117.
- SKOLMEN, R., T. LEDIG.** 1990. *Eucalyptus globulus* Labill. Bluegum eucalyptus. eds. Silvics of North America: 2. Hardwoods. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 299-304.
- THIERS, O., V. GERDING, J. E. SCHLATTER.** 2007 Exportación de nitrógeno y calcio mediante raleo en un rodal de *Eucalyptus nitens* de 5 años de edad, Chile. Bosque (Chile) 28(3): 256-262.
- TORO, J.** 1995. Avances en fertilización en *Pino radiata* y *Eucalyptus* en Chile. In: Simposio IUFRO. Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales. Valdivia, Chile p. 293-298.
- TRINCADO, G., L. SOTO.** 2000. Proyecto de Inventario de precosecha. Inst. Manejo Forestal Facultad de CS. Forestales, UACH. 23p.
- WILL, G.** 1985. Nutrient deficiencies and fertiliser use in New Zeland exotic forests. Bulletin N° 97, Forest research Institute, Rotorua, Nueva Zelandia. 53p

ANEXOS

Anexo 1

Abstract and keywords

SUMMARY

The present document evaluates the effects of a fertilization applied at the age of 1 and 2 years on *Eucalyptus globulus* Labill after a period of 4 years. An alternative objective for the plantation is suggested based on its current characteristics; it was originally oriented towards pulp production.

The area of study was located in the Los Pinos estate, 15 km northeast of the city of Valdivia. 2 plantations were considered in this evaluation: one 5 years of age and the other 6 years of age. The sampling was executed in May and June of 2007 in 39 corresponding circular parcels of 125m² each. In these plots the diameter at breast height was measured, and the health and form of the trees was determined. Additional sampling was concluded (diametric class) with the selection of individuals in order to determine the total height and length of the canopy.

The 5 year old plantation was divided into 3 experimental areas, each with similar characteristics of relief. Upon comparison with the control group, it was concluded that the fertilization resulted in significant effects on the growth of experimental area 1. In this experimental area, the effects of the fertilization had a delayed manifestation in comparison with the other 2 experimental areas, both of which had already revealed a significant response to the treatment 2 years earlier (Fresard, 2004). The growth was not significant in the other 2 experimental areas in comparison with the control group. However, when the differences between the 2 groups were measured, the results were generally in favor of the fertilized group.

The 6 year old plantation was divided into 2 blocks for the evaluation. This plantation resulted in a minor response to the fertilization in comparison with the 5 year old plantation, yet it demonstrated relative differences when compared with the control. One of the blocks, influenced by the concave shape of the slope, displayed significant differences in the height and diameter at breast height. In the other block, the growth was minor; the only significant differences were found in the diameter at breast height.

The treatment applied affected the quality of the trees in the experiment. The fertilized area obtained a 30,8% of quality 1 trees (good form and health), a figure which was surpassed by the 40,5% obtained from the area that did not receive fertilization. However, the differences were not considered to be statistically significant. The number of good quality trees is sufficient in the case that this forest should be projected towards a production of greater value.

The group of young stands (5 and 6 years): a large number of quality 1 trees (greater than 450 trees per hectare), high actual density (greater than 1.300 trees per hectare), and good growth are characteristics that provide support for analyzing the option of an alternative use of a mixed production of pulp and saw timber, and not just pulp. This is an uncommon objective in our country, and it would be of interest to experiment with this alternative that promises a greater profitability.

Key words: *Eucalyptus globulus*, fertilization, growth, forestry

Anexo 2

Formulario captura de datos en terreno para *Eucalyptus globulus* de 5 y 6 años de edad, Predio Los Pinos

Cuadro 1. Formulario captura de datos en terreno.

Parcela:

Superficie: 125 m² (r=6,3 m)

Nº ARB	DAP (cm)	H (m)	L.copa (m)	Sanidad	Forma	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

Anexo 3

Categorización para la forma

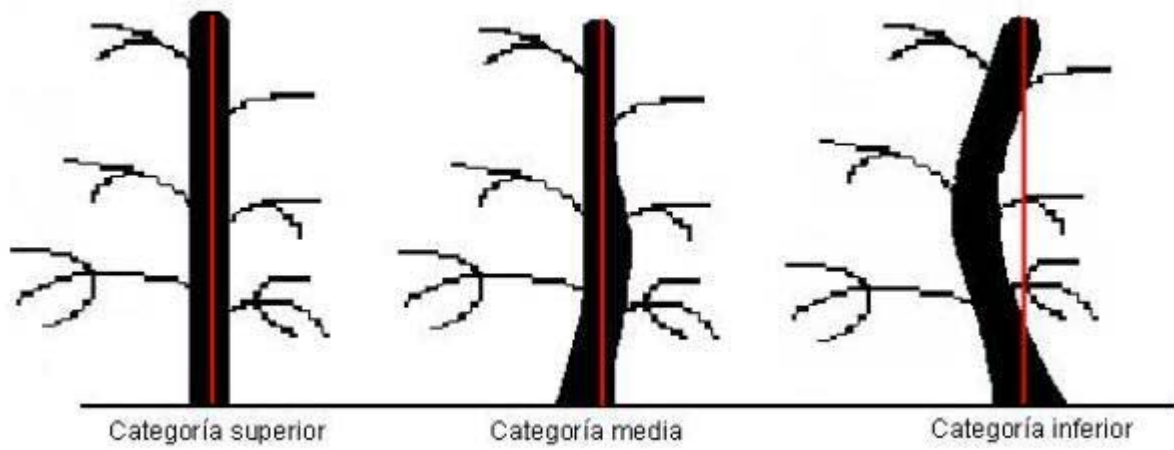


Figura 1. Categorización para la forma en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 5 y 6 años de edad, predio Los Pinos.

Anexo 4

**Regresiones estimadas para la altura y largo de copa viva, según parcela,
Eucalyptus globulus de 5 y 6 años de edad, Predio Los Pinos**

Cuadro 1. Regresión estimada para la altura, según parcela.

Nº parcela	Regresión estimada	r ² (%)	r ² ajustado (%)	Error estándar
1	H = 5,139 + 0,634 * Dap	94,0	92,8	0,496
2	H = 4,006 + 0,737 * Dap	92,3	90,7	0,742
3	H = 6,663 + 0,523 * Dap	77,0	71,3	0,782
4	H = 6,764 + 0,531 * Dap	82,8	79,3	0,784
5	H = 7,155 + 0,526 * Dap	90,3	87,8	0,466
6	H = 8,212 + 0,402 * Dap	76,4	72,4	0,849
7	H = 3,268 + 0,783 * Dap	89,7	87,1	0,744
8	H = 3,978 + 0,689 * Dap	96,0	95,0	0,412
9	H = 4,668 + 0,651 * Dap	82,3	79,4	1,220
10	H = 5,670 + 0,599 * Dap	89,1	86,2	0,805
11	H = 5,697 + 0,605 * Dap	91,3	89,1	0,706
12	H = 8,213 + 0,422 * Dap	95,7	94,7	0,318
13	H = 5,166 + 0,655 * Dap	97,2	96,7	0,462
14	H = 4,065 + 0,802 * Dap	97,7	97,1	0,346
15	H = 10,475 + 0,320 * Dap	66,5	59,9	0,806
16	H = 8,786 + 0,482 * Dap	91,1	89,3	0,499
17	H = 4,341 + 0,680 * Dap	84,9	81,8	0,804
18	H = 3,916 + 0,736 * Dap	97,5	97,0	0,422
19	H = 5,728 + 0,575 * Dap	79,4	74,2	0,968
20	H = 6,654 + 0,635 * Dap	82,4	79,4	1,297
21	H = 10,561 + 0,384 * Dap	47,1	36,6	1,204
22	H = 8,618 + 0,577 * Dap	89,5	86,3	0,711
23	H = 8,827 + 0,522 * Dap	68,7	62,5	1,261
24	H = 10,332 + 0,351 * Dap	65,9	60,2	1,185
25	H = 7,303 + 0,631 * Dap	86,1	83,3	1,011
26	H = 6,406 + 0,665 * Dap	71,0	63,5	1,305
27	H = 6,514 + 0,654 * Dap	83,4	90,7	1,237
28	H = 5,717 + 0,745 * Dap	92,1	90,1	0,779
29	H = 5,256 + 0,812 * Dap	97,7	97,3	0,451
30	H = 3,179 + 0,832 * Dap	77,5	73,8	1,529
31	H = -1,393 + 1,242 * Dap	92,0	90,4	1,142
32	H = 6,323 + 0,671 * Dap	72,3	66,7	1,509
33	H = 6,050 + 0,701 * Dap	94,9	94,1	0,649
34	H = 2,702 + 0,954 * Dap	95,7	94,6	0,669
35	H = 2,004 + 0,955 * Dap	89,5	87,4	1,189
36	H = 6,642 + 0,618 * Dap	92,4	90,9	0,560
37	H = 8,147 + 0,484 * Dap	94,4	93,5	0,468
38	H = 3,145 + 0,849 * Dap	94,4	93,3	0,760
39	H = 5,394 + 0,647 * Dap	83,0	80,2	1,041

Cuadro 2. Regresión estimada para el largo de copa viva, según parcela.

Nº parcela	Regresión estimada	r ² (%)	r ² ajustado (%)	Error Estándar
1	L_copa = 0,504 * H	95,8	95,8	1,491
2	L_copa = 0,452 * H	92,1	92,1	1,901
3	L_copa = 0,509 * H	95,1	95,1	1,653
4	L_copa = 0,391 * H	93,8	93,8	1,463
5	L_copa = 0,604 * H	90,8	90,8	2,898
6	L_copa = 0,426 * H	96,2	96,2	1,230
7	L_copa = 0,410 * H	84,6	84,6	2,420
8	L_copa = 0,536 * H	99,2	99,2	0,636
9	L_copa = 0,401 * H	96,5	96,5	1,071
10	L_copa = 0,488 * H	91,2	91,2	2,260
11	L_copa = 0,358 * H	94,1	94,1	1,310
12	L_copa = 0,536 * H	99,3	99,3	0,630
13	L_copa = 0,512 * H	92,2	92,2	2,253
14	L_copa = 0,482 * H	93,1	93,1	1,877
15	L_copa = 0,594 * H	96,6	96,6	1,756
16	L_copa = 0,461 * H	93,9	93,9	1,912
17	L_copa = 0,379 * H	97,8	97,8	0,804
18	L_copa = 0,480 * H	98,1	98,1	0,975
19	L_copa = 0,419 * H	88,8	88,8	2,049
20	L_copa = 0,431 * H	89,3	89,3	2,501
21	L_copa = 0,309 * H	84,0	84,0	2,260
22	L_copa = 0,507 * H	94,2	94,2	2,268
23	L_copa = 0,273 * H	91,2	91,2	1,404
24	L_copa = 0,346 * H	95,1	95,1	1,277
25	L_copa = 0,457 * H	86,9	86,9	2,894
26	L_copa = 0,457 * H	96,1	96,1	1,439
27	L_copa = 0,363 * H	93,5	93,5	1,555
28	L_copa = 0,359 * H	93,5	93,5	1,571
29	L_copa = 0,319 * H	98,6	98,6	0,654
30	L_copa = 0,563 * H	93,7	93,7	2,090
31	L_copa = 0,585 * H	97,4	97,4	1,574
32	L_copa = 0,596 * H	95,7	95,7	2,059
33	L_copa = 0,552 * H	96,6	96,6	1,731
34	L_copa = 0,488 * H	98,1	98,1	1,042
35	L_copa = 0,535 * H	98,8	98,8	0,887
36	L_copa = 0,480 * H	97,1	97,1	1,320
37	L_copa = 0,419 * H	88,4	88,4	2,404
38	L_copa = 0,433 * H	83,2	83,2	2,930
39	L_copa = 0,573 * H	96,0	96,0	1,669

Anexo 5

Análisis de varianza para las variables diámetro altura de pecho, área basal, altura y largo de copa viva en *Eucalyptus globulus* de 5 años de edad, área experimental 1, Predio Los Pinos.

Cuadro 1. Análisis de varianza para el DAP (cm).

Fuente Variación	Grados Libertad	Suma Cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
EFECTOS PRINCIPALES (FATORES)					
A: Fertilización	1	69,52	69,52	8,35	0,004 **
B: Ladera	2	22,41	11,20	1,35	0,262 ns
INTERACCION					
AB	2	28,51	14,25	1,71	0,183 ns
RESIDUOS	233	1939,60	8,32		
TOTAL (CORREGIDO)	238	2058,58			

ns: No significativo al 95% de confianza ($p > 0,05$)

** : Significativo al 99% de confianza ($p < 0,01$)

Cuadro 2. Comparaciones múltiples de Duncan al 95% de confianza para el DAP (cm).

Ladera	Fertilización		Promedio
	no	si	
alta	10,1 a	12,1 a	11,2 a
media alta	11,7 a	12,0 a	11,8 a
media	10,8 a	11,8 a	11,3 a
Promedio	10,9 b	12,0 a	

Cuadro 3. Análisis de varianza para el Área basal (m^2 árbol).

Fuente Variación	Grados Libertad	Suma Cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
EFECTOS PRINCIPALES (FATORES)					
A: Fertilización	1	0,00021	0,00021	7,31	0,007 **
B: Ladera	2	0,00007	0,00004	1,24	0,292 ns
INTERACCION					
AB	2	0,00011	0,00006	1,99	0,139 ns
RESIDUOS	233	0,00666	0,00003		
TOTAL (CORREGIDO)	238	0,00705			

ns: No significativo al 95% de confianza ($p > 0,05$)

** : Significativo al 99% de confianza ($p < 0,01$)

Cuadro 4. Comparaciones múltiples de Duncan al 95% de confianza para el Área basal (m^2 árbol).

Ladera	Fertilización		Promedio
	no	si	
alta	0,0085 a	0,0123 a	0,0105 a
media alta	0,0117 a	0,0118 a	0,0117 a
media	0,0099 a	0,0116 a	0,0107 a
Promedio	0,0100 b	0,0119 a	

Cuadro 5. Análisis de varianza para la altura (m).

Fuente Variación	Grados Libertad	Suma Cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
EFECTOS PRINCIPALES (FATORES)					
A: Fertilización	1	58,177	58,177	18,29	0,000 **
B: Ladera	2	35,542	17,771	5,59	0,004 **
INTERACCION					
AB	2	20,973	10,487	3,30	0,039 *
RESIDUOS	233	741,146	3,181		
TOTAL (CORREGIDO)	238	850,005			

*: Significativo al 95% de confianza (p <0,05)

** : Significativo al 99% de confianza (p <0,01)

Cuadro 6. Comparaciones múltiples de Duncan al 95% de confianza para la altura (m).

Ladera	Fertilización		Promedio
	no	si	
alta	11,07 b	12,90 a	12,05 b
media alta	12,50 a	13,03 a	12,77 a
media	12,53 a	13,14 a	12,82 a
Promedio	12,06 b	13,02 a	

Cuadro 7. Análisis de varianza para el largo de copa (m).

Fuente Variación	Grados Libertad	Suma Cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
EFECTOS PRINCIPALES (FATORES)					
A: Fertilización	1	37,434	37,434	20,93	0,000 **
B: Ladera	2	9,147	4,573	2,56	0,080 ns
INTERACCION					
AB	2	8,439	4,220	2,36	0,097 ns
RESIDUOS	233	416,676	1,788		
TOTAL (CORREGIDO)	238	471,465			

*: Significativo al 95% de confianza (p <0,05)

** : Significativo al 99% de confianza (p <0,01)

Cuadro 8. Comparaciones múltiples de Duncan al 95% de confianza para el largo de copa (m).

Ladera	Fertilización		Promedio
	no	si	
alta	5,3 a	6,2 a	5,8 a
media alta	5,6 a	5,9 a	5,8 a
media	5,6 a	6,8 a	6,1 a
Promedio	5,5 b	6,3 a	