



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales

**Evaluación de una fertilización en plantaciones de
Eucalyptus globulus Labill. de uno y dos años de edad,
Valdivia.**

Escuela de Ingeniería Forestal

Patrocinante: Juan E Schlatter.

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

GERALDINE MARIE FRESARD BRANDSTATTER

VALDIVIA
2004

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Juan E. Schlatter.	<u>6,2</u>
Informante:	Sr. Víctor Gerding S.	<u>6.0</u>
Informante:	Sr. Felipe Leiva M.	<u>6.2</u>

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

Sr. Juan E. Schlatter.

Agradecimientos

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me brindaron apoyo durante el desarrollo de este trabajo, así como a todos los que de alguna forma u otra, fueron pilares fundamentales en mi vida.

A mi profesor patrocinante, Sr. Juan E. Schlatter, porque más que un apoyo fue un gran consejero y amigo. Al profesor informante, Sr. Victor Gerding, por su incondicional apoyo en el transcurso de este trabajo y buena disposición para atender consultas relacionadas al tema. Al profesor informante, y más bien, futuro colega, Felipe Leiva, por su importante apoyo.

Mención especial merecen las personas que colaboraron con la toma de datos en terreno. Agradezco todo el apoyo brindado por Don Miguel, conocido más bien como don Migue, porque además de ayudarme con la monótona misión de capturar los datos en terreno, hizo la jornada más amena y además tuve la oportunidad de conocer a una gran persona. A Juan Eduardo Martínez, Juane, gracias por todo lo que me ayudaste, por entenderme y por quererme. A Carlos Fresard, mi rilulito por excelencia, has sido mi gran apoyo desde que tengo uso de razón, porque has sido mi angelito siempre, gracias.

A todas las secretarias de la facultad, especialmente a la Ale, porque más de una vez me brindaste tu mano amiga, por ser tan buena persona.....gracias Ale.

A todos mis rilulines, porque sin el apoyo de ustedes, no podría haber llegado tan lejos. Les agradezco todos los lindos momentos que hemos pasado juntos, y los invito a formar nuevamente, parte de mi vida.....los quiero mucho!!!!!!!!!!!!

A mi angelito de la guarda (Yonkalala), que me acompañó durante esas largas jornadas en terreno, así como esas noches interminables en el transcurso de este trabajo, porque guardaste silencio cuando más lo necesitaba y alegras mi vida.

A la beca "Fresard", y más bien, al hombre que la ha auspiciado todo este tiempo, por ser mi guía, amigo, consejero y carcelero de todos estos años. Tatita, no sabes lo orgullosa que me siento de tener a un padre como tú.....gracias viejo. No me he olvidado de ti, mi teletubie no más, porque fuiste, eres y serás mi madre, además de mi eterna cómplice.....los quiero muchísimo!!!!!!!!!!!!

A Lalingen.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Antecedentes sobre <i>E. globulus</i>	2
2.2 Establecimiento de plantaciones	3
2.3 Fertilización	4
2.4 Elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas	6
2.5 Experiencia de fertilización en <i>Eucalyptus sp.</i>	7
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	9
3.1 Antecedentes del área de estudio	9
3.1.1 Clima	9
3.1.2 Suelos y Geomorfología	9
3.1.3 Uso histórico	10
3.1.4 Establecimiento	10
3.1.5 Características de las plantaciones experimentales	11
3.2. Método	11
3.2.1 Tratamientos aplicados a las plantaciones de <i>E. globulus</i>	11
3.2.2 Diseño experimental	11
3.2.3 Medición cuantitativa de los rodales	13
3.2.4 Medición cualitativa de los rodales	13
3.2.5 Diagnóstico del estado nutritivo	14
3.2.6 Evaluación de datos	15
4. RESULTADOS	16
4.1 Plantación del año 2001 (3 años al 2004)	16
4.1.1 Crecimiento en altura, largo de copa y diámetro.	16
4.1.2 Crecimiento en área basal y volumen.	17
4.1.3 Estado nutritivo foliar y oferta de elementos nutritivos en el suelo	17
4.1.4 Calidad (Bloques 1 y 2).	21
4.2 Plantación del año 2002 (2 años al 2004)	23
4.2.1 Área experimental 1	23
4.2.2 Área experimental 2 y área experimental 3	27
5. DISCUSIÓN	31
5.1 Características del estudio	31
5.2 Plantación del año 2001 (3 años al 2004)	31
5.3 Plantación del año 2002 (2 años al 2004)	34

6.	CONCLUSIONES	39
7.	BIBLIOGRAFÍA	41
	ANEXOS	
1	<i>Abstract and keywords</i>	
2	Ubicación del área de estudio, plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 y 3 años de edad, Predio Los Pinos.	
3	Formulario captura de datos en terreno para <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 y 3 años de edad, Predio Los Pinos.	
4	Categorización para la rectitud	
5	Estado nutritivo del follaje en <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, Predio Los Pinos.	
6	Determinación químico - nutritiva en el suelo de <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, Predio Los Pinos	
7	Calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, Predio Los Pinos.	
8	Estado nutritivo del follaje de <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, Predio Los Pinos.	
9	Determinación químico - nutritiva en el suelo de <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, predio Los Pinos	
10	Calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	
11	Calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 2, predio Los Pinos	
12	Calidad en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos	

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Requerimientos ecológicos de <i>E. globulus</i> , según Boden (2003)	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 (2004)	11
Cuadro 4.	Resultados del análisis de varianza para las variables de crecimiento altura, largo de copa y diámetro en <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, predio Los Pinos.	16
Cuadro 5.	Resultado del análisis de varianza para el crecimiento en área basal y el volumen medio de <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, predio Los Pinos.	17
Cuadro 6.	Resultados del análisis de varianza para las variables de crecimiento altura y diámetro de copa en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 1, Predio Los Pinos.	23
Cuadro 7.	Resultados del análisis de varianza para las variables de crecimiento altura y diámetro de copa en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, Predio Los Pinos.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Demanda corriente de fósforo en <i>Eucalyptus sp</i> (Adaptado de Schlatter, 1997).	5
Figura 2.	Distribución de las parcelas experimentales en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> de 1 y 2 años de edad (2003), predio Los Pinos.	12
Figura 3.	Estado nutritivo de las hojas recientes bien formadas y más antiguas en <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, bloque 1, predio Los Pinos.	18
Figura 4.	Oferta de fósforo y boro disponibles en <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años, bloque 1, predio Los Pinos.	19
Figura 5.	Estado nutritivo de las hojas recientes bien formadas y más antiguas en <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.	20
Figura 6.	Fósforo y Boro disponible en el suelo de <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.	21
Figura 7.	Rectitud superior, media e inferior de <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, predio Los Pinos.	22
Figura 8.	Evaluación del daño en <i>Eucalyptus globulus</i> de 3 años de edad, predio Los Pinos.	22
Figura 9.	Estado nutritivo foliar de las hojas recientes bien formadas y más antiguas en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	24
Figura 10.	Fósforo y boro disponible en el suelo de <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	25
Figura 11.	Rectitud superior, media e inferior en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	26
Figura 12.	Evaluación del daño en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.	26
Figura 13.	Estado nutritivo de las hojas recientes bien formadas y más antiguas en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.	28
Figura 14.	Fósforo y boro soluble en el suelo en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.	29

Figura 15.	Rectitud superior, medio e inferior en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.	29
Figura 16.	Daño en <i>Eucalyptus globulus</i> de 2 años de edad, área experimental 2, predio Los Pinos	30

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de este trabajo es evaluar el efecto de una fertilización completa en el desarrollo de plantaciones de *Eucalyptus globulus*, de uno y dos años de edad, en la Provincia de Valdivia, X Región, Chile.

Esta especie posee un gran valor económico para Chile por su rápido crecimiento y por las propiedades físico-mecánicas que posee la madera, situándolo en el grupo de especies mejor capacitadas para la obtención de madera para pulpa en cortas rotaciones. Luego de reiteradas observaciones realizadas sobre el comportamiento que posee en la región, con defoliaciones prematuras de la copa baja, clorosis y necrosis de las hojas, resulta relevante el presente estudio, ya que dicho comportamiento responde necesariamente a desequilibrios nutricionales.

El efecto de la fertilización aplicada se evaluó para la plantación de 2 años de edad mediante variables de crecimiento: altura, diámetro (DAP) y largo de copa (vigor de las plantas). Para la plantación de 1 año de edad las variables de crecimiento fueron: altura y diámetro de copa. En ambas se determinó además la densidad, el estado nutritivo foliar y la oferta de elementos nutritivos en el suelo.

En la plantación de 2 años de edad, los árboles respondieron bien a la mezcla de fertilizante aplicada, mostrando diferencias con respecto al testigo, pero esas diferencias no se evidenciaron en forma significativa en toda la plantación. Por este motivo, se dividió el área de estudio en dos bloques, ya que en uno de ellos (bloque 1) existió la influencia de la convexidad de la ladera (aumentando la humedad del suelo en ese sector), enmascarando así el efecto del tratamiento (fertilización). A pesar de esto, el otro bloque (bloque 2) respondió bien al tratamiento, presentando un crecimiento sobre el testigo de 20,5% para la altura, 39,7% para el largo de copa y 18,1% para el diámetro. En cuanto a la densidad, esta se mantuvo sobre el 88% con respecto a la densidad inicial de 1.666 árboles por hectárea, en ambos bloques.

El tratamiento contribuyó a mejorar la calidad de los árboles, donde esta se evaluó en función de la rectitud y el daño presentado por los individuos. De este modo, la fertilización aumentó la proporción de árboles rectos (64,9% - 67,8%), mientras que en el testigo la tendencia fue mostrar una mayor cantidad de individuos con peor calidad de forma. El daño por viento y/o heladas no mostró relación alguna con la fertilización.

También se evidenció la aplicación del fertilizante en el estado nutritivo foliar y de suelo, que en esta plantación fue positiva.

En la plantación de 1 año de edad, la fertilización tuvo efecto, pero ésta no fue tan destacada como en la plantación de 2 años de edad. Esta plantación fue dividida en 3 áreas experimentales para evitar el efecto de la ubicación en el relieve y destacar al máximo el efecto de los tratamientos.

En una de las áreas experimentales se estratificó según la posición en la ladera: ladera alta, media y baja, siendo la posición baja la más favorecida en cuanto a la altura alcanzada por los árboles (crecimiento sobre el testigo de 7,6%, 4,9% y 3,3%, para la ladera baja, media y alta, respectivamente), situación que no ocurrió con el diámetro de copa (crecimiento negativo en comparación al testigo, en todos los casos).

La posición en la ladera no tuvo efecto en la cantidad de nutrientes existente en las hojas y en el suelo, ya que en las tres posiciones, ambos resultados fueron similares. Lo mismo ocurre con la calidad de los árboles, donde no se presenciaron diferencias por la posición en la ladera ni por el tratamiento aplicado, ya que la calidad fue similar en todos los casos. La densidad fue igual en toda el área experimental (96%). A nivel foliar, sin embargo, mejoró el estado nutritivo por el tratamiento.

En segundo lugar se eligió un sector más homogéneo, donde el rodal reaccionó bien al tratamiento, presentando un crecimiento sobre el testigo de 14,09% y 21,76% para la altura y el diámetro de copa, respectivamente, pero la tasa de sobrevivencia no mostró ser afectada.

La fertilización se manifestó en el estado nutritivo foliar, situación que no ocurrió en el suelo. A pesar del contenido de nutrientes presentado en las hojas, el tratamiento no mostró tener efecto sobre la calidad de los árboles.

Por último, se seleccionó una zona cóncava de la ladera y se evaluó cómo ésta ejerció sobre el crecimiento de los individuos. Aquí el crecimiento en altura fue un 10,8% y el diámetro de copa un 6,1% mayor, tomando como base comparativa el área fertilizada del sector inmediatamente anterior. Las mejores condiciones de suelo y humedad resultaron aquí en un mejor crecimiento general. Sin embargo, a pesar que este último sector estaba ubicado en un lugar privilegiado, no se determinó diferencias en cuanto al estado nutritivo foliar y de suelo. Situación similar ocurrió con la calidad de los árboles, donde la zona cóncava de la ladera no ejerció efecto positivo sobre éstos.

En este sitio el tratamiento de fertilización después de 2 años fue más efectivo que después del año de plantación, ambos como complemento a la fertilización inicial con la plantación, respondiendo así a la curva de la demanda nutricional de esta especie.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, fertilización, estado nutritivo, crecimiento.

1. INTRODUCCIÓN

Eucalyptus globulus Labill., conocido comúnmente como eucalipto o *blue gum*, se distribuye naturalmente en Australia, en los estados de Tasmania, Victoria y New South Wales. Fue introducido en el siglo XIX a Chile y ha sido favorecida desde 1990 debido principalmente al rápido crecimiento que presenta, así como las propiedades físico-mecánicas que posee la madera, que lo sitúan en el grupo de especies mejor capacitadas para la producción de madera para pulpa en rotaciones cortas. Es considerada una especie de gran valor económico para Chile, siendo así una especie muy atractiva para establecer en el país.

Al establecer una plantación, el objetivo que generalmente se busca es maximizar el rendimiento de acuerdo al objetivo de producción. Para esto existen diversas técnicas silviculturales que ayudan a cumplir con los objetivos del productor. Dentro de las técnicas silviculturales que apuntan a aumentar el crecimiento de los individuos y por ende, aumentar el rendimiento de la plantación, se encuentran medidas como: la fertilización y el control de malezas a inicios de la plantación y posteriormente durante el crecimiento de ésta.

El rápido crecimiento de *E. globulus*, especialmente en los primeros años, demanda una cantidad importante de nutrientes desde el suelo para la formación de tejidos fundamentales para el desarrollo de la planta, siendo óptimo contar con un suelo fértil que le proporcione a la especie todos los elementos necesarios según los requerimientos que posee. Sin embargo no todos los suelos pueden cubrir la demanda de *E. globulus* en sus años juveniles y de máximo desarrollo, lo que en esta especie se manifiesta con una defoliación prematura de la copa. Esta defoliación es especialmente de las hojas antiguas y en la copa baja, disminuyendo considerablemente el área foliar del árbol. La aplicación de un fertilizante cobra de esta manera importancia para aumentar el crecimiento en los inicios y para vigorizar las plantas ante situaciones adversas de origen climático que pudiesen afectarla, así como potenciar al máximo el sitio para la obtención de madera de alta calidad

En Chile se han realizado algunos estudios para evaluar los efectos de una fertilización en los inicios de una plantación, en compañía de otros tratamientos silviculturales. Dichos estudios se han realizado principalmente en las VII y VIII Regiones, y en general evalúan el efecto de una fertilización al momento de plantar. El presente estudio, en la X Región, posee un enfoque distinto. Es así que el objetivo general del presente trabajo de titulación es evaluar el efecto de una fertilización completa en el desarrollo de plantaciones de *E. globulus*, de uno y dos años de edad. Los objetivos específicos son:

- Determinar el efecto de una fertilización completa en plantas de *E. globulus* de uno y dos años de edad, nueve meses después de la aplicación.
- Identificar diferencias en el estado nutritivo y en las características morfológicas de los árboles.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes sobre *E. globulus*

Eucalyptus globulus es conocido comúnmente como eucalipto o *tasmanian blue gum*. Este último nombre se le asignó por la apariencia de sus hojas juveniles, las cuales son glaucas o azuladas, con una cubierta cerosa. Se encuentra clasificado como bien dice su nombre en el género *Eucalyptus*, clase Angiospermas, subclase Dicotiledóneas y familia de las Mirtáceas (Boden, 2003).

Es un árbol siempreverde de copa piramidal que puede alcanzar hasta 75 m de altura en condiciones óptimas de crecimiento, y diámetros a la altura del pecho (1,3 m) de 120 a 210 cm. Posee una corteza blanquecina que se desprende en tiras en los ejemplares adultos. En cuanto a los requerimientos ecológicos, el cuadro 1 presenta en forma resumida dichos aspectos.

Cuadro 1. Requerimientos ecológicos de *E. globulus*, según Boden (2003).

Variable	Valor
Precipitación media anual (mm)	600 a 1.100
Temperatura media anual (°C)	4 a 18
Temperatura mínima (°C)	-6
Profundidad suelos	moderada a profundos
Drenaje suelos	bueno a moderado
Meses secos	0 - 5
Humedad relativa anual (%)	73 a 81
Heladas anuales	5 a 30
Textura del suelo	limosos a franco-arcillosos
Reacción del suelo (pH)	5 - 7

Eucalyptus globulus tiene en cierta forma una distribución limitada en el sudeste de Australia, encontrándose exclusivamente en Tasmania, en las Islas Flinder y King y en el extremo sur de Victoria. Se distribuye principalmente en la parte este de Tasmania, alcanzando su mejor desarrollo en el sur de Hobart. En el continente está confinado al cabo Otway y al promontorio de Wilson, en las costas del norte—habiéndose probado insostenible la antigua idea, que afirmaba que se distribuía sobre un área mucho mayor en Victoria, así como en el sur de New South Wales—por lo menos es así en lo que concierne a la especie en su forma morfológica típica. El rango latitudinal de la especie es de los 38 a 43° 5' S, pero en condiciones con corrientes marinas cálidas, que amortiguan el clima. Altitudinalmente el árbol se encuentra desde el nivel del mar hasta los 300 m s.n.m. (Poynton, 1979).

Lo mencionado anteriormente hace referencia a *E. globulus* variedad *globulus*, por lo que Prado (1989) amplía la distribución al incluir todas sus variedades. Si se consideran todas las variedades, la especie se distribuye en los Estados de Tasmania, Victoria y New Wales, entre los 31° y 43° S, y dentro de un rango altitudinal que va desde el nivel del mar hasta unos 1.100 m s.n.m., en la parte norte, y unos 550 m s.n.m. en la parte sur.

2.2 Establecimiento de plantaciones

Según Gerding¹, el éxito de una plantación depende de variados factores, entre los cuales se pueden mencionar: el clima, el suelo, la especie, debiéndose considerar también la preparación del suelo, la calidad de la planta, la técnica de plantación y los cuidados culturales.

El clima es el factores más importante, debiendo en primer lugar seleccionar especies con requerimientos compatibles con él, ya que no es modificable. El suelo es el siguiente factor, debiéndose presentar las características suficientes (fertilidad) para que un cultivo forestal tenga éxito (Schlatter *et al.*, 2001). De este modo resulta fundamental la correcta elección de la especie a establecer, para que los requerimientos ecológicos de ésta sean compatibles con el clima y el suelo del lugar. De dichas consideraciones dependerá en gran medida el éxito de la plantación.

La primera etapa que contempla el establecimiento de plantaciones es la preparación del sitio, que consiste en la habilitación del terreno con los objetivos de:

- Reducir vegetación competidora
- Facilitar las actividades relacionadas al establecimiento
- Mejorar la estructura del suelo.

Dichos objetivos son logrados mediante la limpieza del sitio, tratamiento u ordenamiento de desechos y preparación física del suelo. Esta última es de vital importancia, ya que crea las condiciones para el normal desarrollo de la planta (adecuada extensión de raíces, captación de nutrientes, etc.)

De este modo, los resultados obtenidos en una plantación son favorecidos por la preparación del suelo, ya que aumenta la sobrevivencia y favorece el desarrollo de las plantas en sus primeros años de crecimiento en terreno (Schlatter *et al.*, 2001).

Otro factor que favorece el desarrollo de las plantas en los inicios de la plantación es la calidad de éstas. Por este motivo en *Eucalyptus sp.* se recomienda utilizar plantas en contenedor, ya que de este modo la planta experimenta menos problemas de adaptación al lugar donde se establecerá la plantación, sufren un menor daño al ser transportadas y además, es posible alargar el período de plantación.

En términos generales las plantas deben ser homogéneas, con tallo fuerte y bien lignificado, deben tener una altura de unos 25 - 35 cm, con 5 pares de hojas como mínimo y un diámetro de cuello de 4-5 mm (García *et al.*, 2000).

Debido a que los *Eucalyptus sp.* son altamente susceptibles a la competencia por agua, nutrientes y luz que ejercen las otras especies presentes en el lugar, es de vital importancia un adecuado control de malezas. Según Calderón (1991), el control de malezas preplantación y postplantación en especies de rápido crecimiento contribuye

¹ Gerding, V. 1997. Guía para el diagnóstico. En: Curso corto de postítulo sobre fertilización forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia.

a aumentar tanto el crecimiento en altura y diámetro de las plantas, como la sobrevivencia de éstas, siendo incluso más importante que la fertilización. Para que el control de malezas contribuya al buen desarrollo de la plantación, éste debe persistir hasta que se establezcan adecuadamente las plantas y se cierre el dosel.

Existen dos tipos de control: el mecánico y el químico. La ventaja del control químico es su mayor rapidez, permite controlar una amplia gama de malezas y presenta características selectivas en su accionar, es decir, actúa exclusivamente en las especies competidoras, sin dañar a la planta, cuando se toman las debidas precauciones.

2.3 Fertilización

Los beneficios que una fertilización puede generar son muchos al agregar los nutrientes que se encuentran ausentes o en bajas concentraciones en el suelo. En los inicios de una plantación es necesario un adecuado abastecimiento de nutrientes, ya que es en esta etapa donde se desarrollan las raíces, ramas y follaje, tejidos de alta demanda nutritiva. En esta 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. El reciclaje se refiere al retorno de nutrientes por parte de la hojarasca y raíces finas al suelo, donde al pasar por las etapas de descomposición y mineralización, los elementos nutritivos son liberados para ser absorbidos nuevamente².

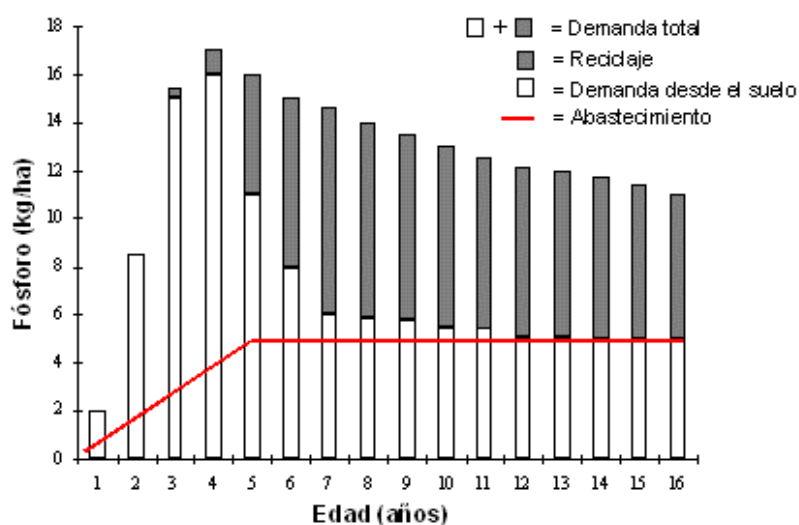


Figura 1. Curva de demanda corriente de fósforo en *Eucalyptus sp.* (Adaptado de Schlatter, 1997).

En la figura 1 se puede observar el balance nutritivo que existe a través del tiempo. Hasta aproximadamente los 4 años de edad, los elementos nutritivos se obtienen desde el suelo y sólo una pequeña parte es obtenida mediante el reciclaje. Cabe destacar, que existe una demanda importante en los inicios ya que se están

² Schlatter, J. 1996. Universidad Austral de Chile. Valdivia (Apuntes de clases).

formando tejidos que requieren gran cantidad de nutrientes. A medida que pasa el tiempo, dicha situación cambia, existiendo un balance entre lo obtenido desde el suelo y mediante reciclaje, haciéndose más importante el reciclaje en la obtención de nutrientes, en la etapa fustal (madurez) de una plantación.

Según Calderón (1991), es fundamental que la fertilización esté acompañada de un control de malezas durante los primeros años (1 - 3). Esto permite que los nutrientes sean aprovechados exclusivamente por las plantas, ya que de lo contrario puede tener un efecto negativo en la sobrevivencia, al favorecer la vegetación competidora.

Los elementos químicos componentes de un fertilizante a seleccionar o preparar, deberían ser calculados a través de análisis químico del suelo. El análisis químico de suelo, la demanda del cultivo y la eficiencia de absorción de los nutrientes aplicados, son los que determinarán la composición del fertilizante a seleccionar en una fertilización (Rodríguez, 1993).

La fertilización con ocasión de la plantación es necesaria para estimular la planta y favorecer el establecimiento. Algunas veces la fertilización se realiza dos a tres semanas después de haber plantado, principalmente por razones operativas. Las plantaciones realizadas en otoño o invierno son fertilizadas en primavera para que el fertilizante esté disponible en el período de máximo crecimiento de la planta. En el caso de plantaciones de primavera, se debiera plantar y fertilizar al mismo tiempo, o lo más cercano posible. El método de aplicación puede ser manual o mecanizado, según la extensión del terreno y topografía del lugar (García *et al.*, 2001).

Según Schlatter (2001), la siguiente ocasión para una fertilización es cuando la curva de demanda (figura 1) alcanza su máximo crecimiento, es decir, entre 1 y 4 años de edad.

El efecto de los fertilizantes se determina a través del crecimiento: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total del árbol y la sobrevivencia de las plantas (Calderón, 1991). También se puede identificar a través de un análisis foliar o por el vigor de las plantas (largo de copa viva).

De este modo, 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 bota las hojas y las recicla hacia las zonas de crecimiento activo, es decir, la copa alta (Will, 1985).

Resulta importante mencionar que aunque se apliquen fertilizantes, existen procesos internos en el árbol que tienen como objetivo el uso eficiente de los nutrientes absorbidos y acumulados en los tejidos. Este proceso ocurre mediante ciclos bioquímicos de los nutrientes e involucra el traslado de nutrientes móviles desde tejidos viejos hacia los más nuevos, contribuyendo esto a los requerimientos relacionados al acelerado crecimiento presentado por *E. globulus*, actividad conocida también como reciclaje interno (Grove *et al.*, 1996; Binkley, 1993).

Por lo tanto, el reciclaje interno de los nutrientes depende más de la forma química en que se encuentran en los tejidos, que del estado nutricional total de la planta o del ecosistema. Además, hay que tomar en cuenta que tanto la absorción, transformación y el reciclaje de los nutrientes constituyen costos energéticos muy altos, por lo que si las plantas tienen una cantidad limitada de energía, será necesaria una evaluación completa de cualquier estrategia para el uso de los nutrientes en tales circunstancias (Binkley, 1993).

2.4 Elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas

Los elementos esenciales requeridos por las plantas superiores son exclusivamente de naturaleza inorgánica, y para que éstos sean considerados como esenciales deben cumplir con los siguientes criterios (Mengel y Kirkby, 1982):

- La deficiencia de ese elemento impide el normal ciclo de vida de la planta.
- La deficiencia es provocada por un elemento específico.
- El elemento está directamente relacionado con la nutrición de la planta.

De este modo, se clasifican en dos grupos, de acuerdo a las cantidades encontradas en los tejidos vegetales (Mengel y Kirkby, 1982):

- *Macronutrientes*: Carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio, los que son requeridos en grandes cantidades por las plantas.
- *Micronutrientes*: Hierro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno, boro y cloro, requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas.

A continuación, se detallarán las funciones generales de los elementos nutritivos de mayor interés para el presente estudio (Mengel y Kirkby, 1982; Binkley, 1993; Havling *et al.*, 1999; Gerding *et al.*, 1996).

a) *Nitrógeno (N)*: Es el motor de crecimiento de la planta, absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos 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 en la elaboración del rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también para la absorción de otros elementos. Su requerimiento máximo es en la época de mayor desarrollo foliar (parte integrante de la clorofila) y es un elemento móvil en la planta.

b) *Fósforo (P)*: 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.

c) *Potasio (K)*: 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 el 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.

d) *Manganeso (Mn)*: Elemento que generalmente se encuentra firmemente unido entre las proteínas, proporcionando estabilidad estructural a estas moléculas y es importante en la fotosíntesis porque está involucrado en el proceso de óxido - reducción. Elemento relativamente inmóvil en la planta.

e) *Boro (B)*: Su rol esencial radica en el desarrollo y crecimiento de las nuevas células meristemáticas (influencia 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 celular, formación de polihidróxidos (estructura fina de la pared celular), síntesis de aminoácidos y proteínas, y regulación del metabolismo de los carbohidratos. Es un elemento poco móvil en la planta.

2.5 Experiencias de fertilización en *Eucalyptus sp.*

La fertilización en plantaciones de especies de rápido crecimiento, como *Eucalyptus sp.*, constituye una herramienta muy beneficiosa que permite incrementar significativamente la productividad en un rodal, y cuyos efectos son posibles evidenciarlos desde muy temprana edad.

La corrección de deficiencias nutricionales en plantaciones forestales al establecimiento o durante la etapa juvenil de la plantación (mayor demanda de elementos nutritivos), pueden inducir a un crecimiento adicional de tal magnitud que es posible considerarlas como una herramienta más en el mejoramiento de la productividad. Sin embargo, la favorable respuesta detectada al aplicar fertilizantes es dependiente de la edad del rodal, la carencia de determinado elemento en el suelo y del grado de abertura del dosel provocado por intervenciones silviculturales (Allen y Duzan, 1982; Calderon, 1991).

Además, experiencias de fertilizaciones al establecimiento de plantaciones de *Pinus radiata* y *E. globulus* en Chile, señalan no sólo la importancia de aplicar fertilizantes, sino que deben estar asociados a otras técnicas para obtener un crecimiento óptimo inicial de las plantaciones. Dentro de esas técnicas, destaca el control de malezas que permite mantener un volumen de suelo disponible para la exploración del sistema radicular de la planta de interés. Con ese control, se logra aumentar el volumen de agua disponible, como también la oferta nutritiva del suelo (Nambiar y Zed, 1980; citado en Toro, 1995).

De este modo, habiendo deficiencias en el suelo, los *Eucalyptus sp.* responden bien a las fertilizaciones aplicadas, experimentando incrementos de 10 - 300% en crecimiento (Schlatter *et al.*, 2001).

No obstante, la literatura demuestra que es necesario moderar el impulso inicial por los efectos secundarios que puedan aparecer (Toro, 1995), como son plantas muy poco lignificadas y sus respectivas consecuencias (malformaciones, caídas por viento, quiebre del vástago).

Ensayos realizados en la VI Región por el Instituto Forestal, indican respuestas favorables al aplicar fertilizantes en los tres primeros años de edad en plantaciones de *E. globulus* (Calderón, 1991). 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 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.

Además, al proyectar la ganancia volumétrica por hectárea en base a un modelo matemático, los individuos fertilizados, lograrían un aumento promedio de 138,3% en volumen al décimo quinto año, lo cual indica un mejoramiento substancial con respecto al testigo (árboles sin fertilizar).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Antecedentes del área de estudio

El estudio se sitúa en el predio Los Pinos (anexo 2), de propiedad de la Universidad Austral de Chile, Valdivia, X Región. El lugar está en la ribera sur del río Cayumapu, 15 kilómetros al norte de la ciudad de Valdivia, en las coordenadas 39°42' S - 73°10' O, a unos 20-50 m s.n.m.

3.1.1 Clima

El clima, según Fuenzalida (1971), corresponde a uno templado lluvioso con influencia mediterránea, caracterizado por fuertes precipitaciones invernales y periódicas lluvias en verano.

En la ciudad de Valdivia la humedad relativa promedio anual del aire alcanza valores del orden del 78%, precipitación promedio anual de 2.450 mm, donde el 75% de la precipitación cae de abril a septiembre. La temperatura promedio anual es de 12,1°C con una oscilación térmica de 9,3°C, encontrando la media máxima en verano (enero), con 16,9°C, y la mínima en invierno (julio) con 7,6°C. Las temperaturas extremas no constituyen un peligro, ya que la cercanía del mar actúa como un regulador térmico. No obstante, la frecuencia media anual de días con heladas es de 46 a nivel del suelo, concentrándose en los meses de julio a septiembre, y ocasionalmente fuera de ese rango. Con relación a los vientos, predominan los del norte y oeste. El viento norte, es responsable de las intensas precipitaciones que ocurren en los meses de mayo a agosto, pudiendo causar daños a los vegetales y a las construcciones. Por otra parte, el viento oeste proviene del Océano Pacífico, predominando especialmente en los meses de octubre a febrero. En forma conjunta, son los que en verano provocan precipitaciones (Huber, 1970).

3.1.2 Suelos y geomorfología

Salazar y Valenzuela (1977) clasificaron las unidades cartográficas presentes en el predio Los Pinos, definiéndolas como suelos originados de sedimentos eólicos (volcánicos, cristalinos) depositados sobre material micaesquisto. Este tipo de suelo se ubica en terrenos intermedios a bajos, con una topografía ondulada a quebrada. Dentro de la unidad mencionada anteriormente, se distinguen cuatro fases, dentro de las cuales dos corresponden al área en estudio: unidad cartográfica Los Pinos, fases pendiente moderada y pronunciada. Este suelo es clasificado actualmente como serie Los Ulmos (Typic Paleudult; CIREN, 1999).

La unidad cartográfica de pendiente moderada, corresponde a terrenos intermedios de lomajes ondulados con pendientes de 5-15%. Son suelos profundos con buen drenaje y texturas limo arcillosas a arcillosas, de colores pardo rojizo a pardo oscuro rojizo. La unidad de pendiente pronunciada, presenta lomajes con terrenos de pendiente entre 15-30%. Son suelos profundos de buen drenaje, con texturas moderadamente finas a finas en profundidad. El drenaje externo es más rápido que

en la unidad descrita anteriormente debido a la mayor pendiente. Posee colores pardo oscuro rojizo a lo largo de todo el perfil (Salazar y Valenzuela, 1977).

En ambos casos, la densidad aparente en los primeros 50 cm varía entre 0,7 y 0,9 g/cm³, aumentando en profundidad a 1,1 g/cm³. La relación C/N en el primer horizonte fluctúa entre 12 y 24 en la fase moderada y de 17 a 20 en la fase pronunciada. Esto indica la buena calidad del humus y por ende, los procesos de descomposición son buenos y la mineralización de elementos nutritivos es adecuada. El pH es muy ácido a extremadamente ácido en los primeros horizontes, por lo que existe una baja disponibilidad de fósforo. Por último, los niveles de potasio, calcio y magnesio se encuentran dentro de los márgenes admisibles para el normal desarrollo de la vegetación (Salazar *et al.*, 1977).

3.1.3 Uso histórico

La vegetación original del predio corresponde por sus características al tipo forestal siempreverde cuyas especies más abundantes son *Aetoxicon 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 original fue altamente degradada, luego se traspasó a ganadería extensiva y finalmente ha sido reemplazada por plantaciones forestales de especies exóticas de rápido crecimiento. La primera rotación se inició entre 1945 - 1955 con *Pinus radiata* y fue cosechada en 1973 aproximadamente, siendo reforestada con la misma especie en 1975 y luego cosechada en el año 2000. En los bordes de quebradas aledañas se presentan renovales de bosque nativo sin manejo.

En los años 2001 y 2002 se plantó *E. globulus*, especie que constituye las plantaciones actuales. Estas plantaciones forman el material para el presente estudio.³

3.1.4 Establecimiento

Las plantaciones se establecieron a fines de octubre de 2001 (plantación de 2 años) y fines de septiembre de 2002 (plantación de 1 año), en las que se efectuó un control post plantación de malezas 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 una mezcla soluble, diferenciada para las plantaciones de 1 y 2 años de edad (F1 y F2, respectivamente), cuya dosis fue de 150 g por planta. El método utilizado para aplicar el fertilizante fue en dos hoyos a 15 cm del tallo (cuadro 2).

³ Leiva, F. 2004. Centro Experimental Forestal. Comunicación personal.

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	-	100 amoniacal
F2	15,0	22,0	8,0	2,0	2,0	1,5	4,0	100 amoniacal

3.1.5 Características de las plantaciones experimentales

El presente estudio involucra plantaciones de *E. globulus* de 1 y 2 años de edad, al momento de establecer los tratamientos, que en el presente año de evaluación (2004) presentaban las siguientes características (cuadro 3):

Cuadro 3. Antecedentes de los rodales de *Eucalyptus globulus*, predio Los Pinos (2004).

Característica	Plantación de 1 año de edad	Plantación de 2 años de edad
Año de plantación	2002	2001
Edad al 2004 (años)	2	3
Superficie (ha)	5,2	1,72
Densidad (arb/ha)	1.666	1.666
Espaciamiento (m)	3 x 2	3 x 2
Altura media (m)	4,5	7,1
Dap medio (cm)	-	5,8
Diámetro de copa media (m)	2,3	-
Largo de copa medio (m)	-	4,8
Área basal (m ² /ha)	-	4,8

3.2 Método

3.2.1 Tratamientos aplicados a las plantaciones de *E. globulus*

La fertilización se realizó en octubre de 2003 con el producto F2 (cuadro 2), donde la única diferencia radicó en el tipo de nitrógeno utilizado, que en este caso fue 22% nítrico. Se aplicó al voleo o en bandas, para las plantaciones de 2 y 1 años de edad, respectivamente. Las dosis del fertilizante fueron de 730 kg/ha para la plantación de 1 año de edad y 1.000 kg/ha para la plantación de 2 años de edad. En ambas plantaciones se dejaron rodales de testigo sin fertilizar.

3.2.2 Diseño experimental

El diseño experimental para la plantación de 1 año está conformado por 3 áreas experimentales (figura 2):

- *Área experimental I*: Constituida por un diseño de 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 presentación de resultados, se utilizó la

siguiente nomenclatura para distinguir la estratificación realizada: B1 (ladera alta), B2 (ladera media a alta), B3 (ladera media).

- *Área experimental II:* Diseño de parcelas al azar (4 parcelas por tratamiento). La nomenclatura utilizada para facilitar la interpretación de los resultados fue F para el área fertilizada y O para el testigo.
- *Área experimental III:* Se consideró como un caso especial debido a la forma cóncava de la ladera, la que se muestreó con tres parcelas fertilizadas, y para evaluarla se utilizó como base comparativa el área experimental II (testigo). De este modo, la nomenclatura utilizada fue: F = fertilizada, O = testigo, 2 = Área experimental 2 y 3 = Área experimental 3.

La plantación de 2 años se dividió en dos bloques (bloque 1 y 2) ya que al procesar los datos se observó que el efecto de la fertilización se enmascaraba debido a factores externos al tratamiento (topográficos, de suelo y el tipo de maleza existente), reflejados principalmente en el crecimiento de los árboles.

Cada bloque fue muestreado con 8 parcelas al azar, 4 en cada tratamiento (fertilizado y testigo). Cabe destacar que las áreas fertilizadas están representadas mediante una letra F acompañada por un número, según corresponda al bloque 1 o 2, respectivamente. La misma nomenclatura rige para los testigos (O) (figura 2).

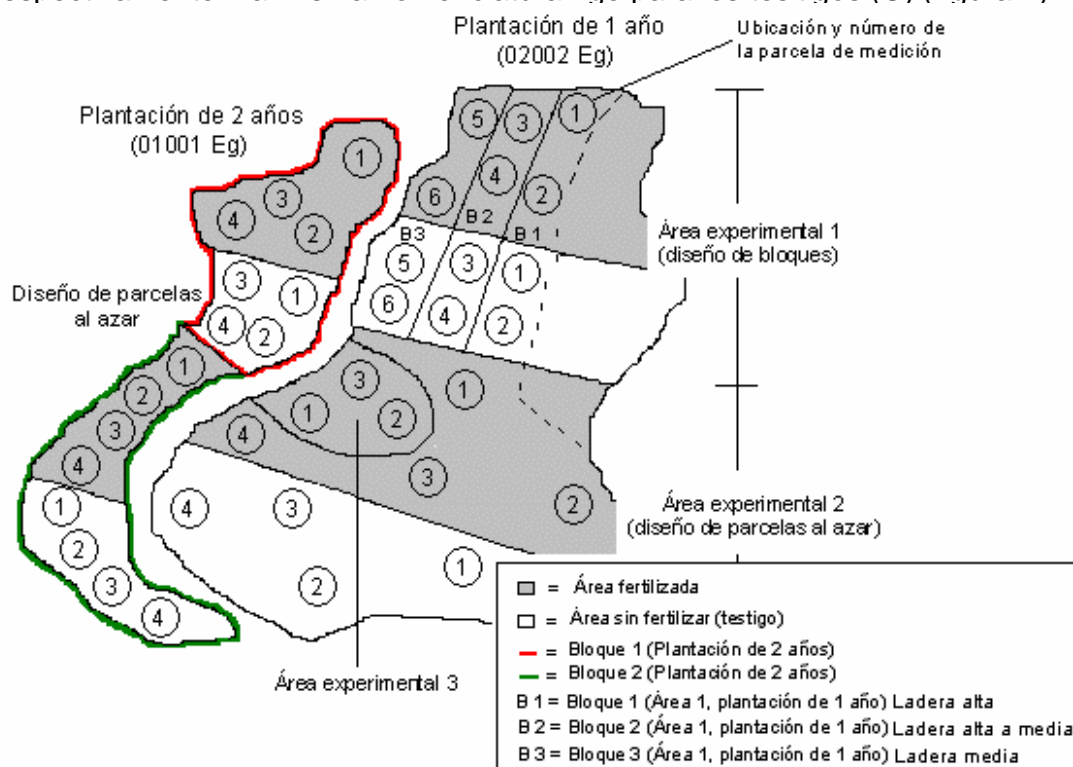


Figura 2. Distribución de las parcelas experimentales en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 1 y 2 años de edad (2003), predio Los Pinos.

Las parcelas circulares de muestreo de 125 m² se distribuyeron sistemáticamente, conteniendo un número aproximado de 20 árboles cada una.

3.2.3 Medición cuantitativa de los rodales

Los rodales fueron medidos a fines de julio del 2004, nueve meses después de aplicados los tratamientos, y las variables cuantificadas en terreno fueron las siguientes (Anexo 3):

- *Altura total (HT)*: Representa una variable importante para realizar comparaciones en cuanto al desarrollo de los individuos como respuesta a los distintos tratamientos, ya que es una de las variables que mayor cambio sufre con la edad. Se midió con una vara telescópica en metros.
- *Diámetro a la altura del pecho (DAP)*: Variable que también permite comparar el desarrollo de los individuos en respuesta a los distintos tratamientos. Se cuantificó en centímetros con una huincha diamétrica, para la plantación del año 2001.
- *Diámetro de copa del árbol (DC)*: Variable utilizada para la plantación del año 2002, ya que los individuos no alcanzan un DAP superior a 4 cm, por lo que resulta más certero utilizar dicho método ya que esta variable tiene una alta correlación con el diámetro del tallo de las plantas. Además es una variable de importancia en la etapa de establecimiento y crecimiento inicial de la plantación. Se midió con una huincha de distancia en metros.
- *Largo de copa (LC, con follaje vivo)*: Variable utilizada para la plantación del año 2001. De esta manera fue posible observar si la fertilización cubrió la demanda nutritiva, sin tener la necesidad de reciclar antes de tiempo la copa baja, para abastecer la demanda de los tejidos nuevos. Se midió con una huincha de distancia en metros.
- *Densidad*: Número de árboles por hectárea, expresada en porcentaje con respecto de lo prescrito, para evaluar la mortalidad en ambas plantaciones.

3.2.4 Medición cualitativa de los rodales

Las variables consideradas en terreno fueron:

- *Calidad*: Corresponde a una evaluación cualitativa de los individuos muestreados, y refleja directamente los efectos que posee la fertilización sobre ellos. Para analizar la calidad en el área experimental 1, se procedió en dos pasos. El primero consistió en analizar el efecto del tratamiento, haciendo omisión a la estratificación y el segundo consideró la incidencia de las variables de calidad con respecto a la estratificación realizada: ladera alta, alta a media y media, sin considerar la fertilización. La calidad se obtuvo mediante las siguientes variables:

a) *Rectitud*: Se refiere a la desviación que presenta el fuste con respecto al eje central. Se dividió en las siguientes categorías: superior (recto), medio (curvatura leve, es decir, que se desvía levemente del eje central) e inferior (curvatura fuerte que impide proyectarse hasta su ápice a través del fuste). Para mayor detalle ver la esquematización realizada en el anexo 4.

b) *Daño*: La evaluación consideró el daño manifestado en las hojas de los árboles, es decir, si es que éstas presentaron algún tipo de anomalía, de acuerdo a su aspecto visual (manchas, clorosis, amarillamiento, decoloración irregular de la lámina foliar, etc), clasificándose en las siguientes categorías: I (0 - 25% de la copa dañada), II (25 - 75% de la copa afectada) y III (>75% de la copa dañada).

Cabe destacar, que la variable bifurcación se evaluó en terreno, pero a pesar de ser una variable de interés en este tipo de estudio, no se sometió a mayor análisis, ya que las formas de crecimiento presentadas en ambas plantaciones correspondieron a malformaciones que no se adjudican al tratamiento aplicado (las mal formaciones se presentaron en el segundo tercio de la altura total del árbol, por lo que éstas fueron provocadas antes de aplicar el fertilizante).

3.2.5 Diagnóstico del estado nutritivo

El estado nutritivo de los árboles se determinó a través de un análisis químico del follaje (análisis foliar). Para tal fin se recolectaron dos muestras de hojas en cada árbol: una de hojas recientes bien formadas y una de hojas antiguas, ambas del último período vegetativo (de una misma rama, de la copa superior). Para la obtención de las muestras, se agruparon las parcelas en pares (agrupación según la cercanía de las parcelas en terreno), por tratamiento. De este modo se obtuvo una muestra mezcla de 10 árboles (5 árboles por parcela en cada tratamiento), para ambas plantaciones.

Simultáneamente, en cada sector de muestreo foliar, se extrajo una muestra mezcla del horizonte A o suelo superficial a una profundidad de 0-20 cm, según Schlatter *et al.* (2003). Dicha muestra mezcla se obtuvo mediante la agrupación de las dos parcelas más cercanas (2 puntos de muestreo en cada parcela por tratamiento).

El analizar el horizonte A o suelo superficial, permite calcular la oferta del suelo en cuanto a los nutrientes disponibles para las plantas en las áreas fertilizadas y no fertilizadas de los tratamientos y si es que el fertilizante aplicado aún permanece activo en el suelo. Sin embargo, debido a la forma de aplicación del fertilizante (al voleo y en bandas, para las plantaciones de 2 y 1 año de edad, respectivamente) y al método de muestreo (al azar), es incierto poder captar en su totalidad si es que el fertilizante permanece aún activo después de la aplicación, sobre todo en la plantación de 1 año de edad.

Estas muestras se recolectaron a fines de julio del 2004 y se analizaron en su contenido de nutrientes en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Universidad Austral de Chile. El análisis foliar consideró los nutrientes nitrógeno,

fósforo, potasio y boro (incluyendo cenizas). El análisis de suelo determinó el pH y los nutrientes nitrógeno total, fósforo disponible (Olsen), potasio extraíble y boro soluble.

Es importante mencionar que se promediaron los valores de las parcelas en un mismo tratamiento cuando eran similares, es decir, cuando presentaron la misma tendencia, a modo de simplificar el análisis de los resultados. Esto rigió tanto para el estado nutritivo foliar, oferta de elementos nutritivos en el suelo y para las variables de crecimiento y calidad.

3.2.6 Evaluación de datos

Los datos de cada uno de los rodales se analizaron estadísticamente con el objeto de comparar el efecto del tratamiento de fertilización con el testigo, utilizando las variables que reflejen en forma más representativa la respuesta del tratamiento aplicado. Para la plantación del año 2001, fueron el diámetro (DAP), la altura, el largo de copa, la densidad y la calidad. Además, se calculó un índice de volumen como el producto del diámetro al cuadrado por la altura (D^2H). Para la plantación del año 2002 fueron el diámetro de copa, la altura, la densidad y la calidad.

Para esto se realizó un análisis de varianza (ANOVA) factorial (2 factores), en la plantación del año 2002, área experimental 1 (diseño en bloques) para determinar el efecto de cada factor (posición en la ladera: ladera alta, media y baja, además del tratamiento aplicado). Para las áreas experimentales 2 y 3 (diseño de parcelas al azar y caso especial, respectivamente) se realizó un análisis de varianza simple, al igual que para la plantación del año 2001. Con la prueba de Tukey de multicomparación de medias se identificaron diferencias entre situaciones. Previo a esto se verificó la homogeneidad de la varianza mediante el estadístico de Levene (Sokal *et al.*, 1979). Para todos los casos, el nivel de significancia utilizado fue de un 95%.

Para evaluar la calidad (rectitud, bifurcación y daño), se aplicó la prueba de asociación de Chi - cuadrado (Taucher, 1997).

Los datos obtenidos mediante el diagnóstico del estado nutritivo, que considera análisis de follaje y de suelo, fueron utilizados para complementar los resultados obtenidos, por lo que no se les sometió a un análisis estadístico.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los efectos de los tratamientos (fertilizado y sin fertilizar), para las plantaciones de los años 2001 y 2002, sobre las variables de crecimiento y calidad, además del estado nutritivo del follaje y la oferta de elementos nutritivos en el suelo, evaluados nueve meses más tarde de la aplicación del tratamiento, es decir, cuando las plantaciones tenían 3 y 2 años de edad, respectivamente.

4.1 Plantación del año 2001 (3 años al 2004)

4.1.1 Crecimiento en altura, largo de copa y diámetro.

En el bloque 1, la única variable que fue afectada significativamente por la fertilización fue el largo de copa (cuadro 4), con una ganancia de 8,3%, mientras que las variables de crecimiento en altura y diámetro, no mostraron diferencias significativas. Además la densidad no se vio influenciada por el tratamiento aplicado

Cuadro 4. Resultado del análisis de varianza para las variables de crecimiento altura, largo de copa y diámetro en *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, predio Los Pinos.

Bloque	Variable	Tratamiento	Densidad (%)*	Media	CV %	Crecimiento sobre el testigo (%)	p
1	HT (m)	Fertilizado (F1)	89	7,2	16,7	2,9	0,518
		Sin Fertilizar (O1)	91	7,0	16,7		
	LC (m)	Fertilizado (F1)	89	5,2	20,8	8,3	0,036
		Sin Fertilizar (O1)	91	4,8	24,8		
	DAP (cm)	Fertilizado (F1)	89	6,0	25,2	3,4	0,318
		Sin Fertilizar (O1)	91	5,8	25,4		
2	HT (m)	Fertilizado (F2)	108	7,8	16,6	21,9	0,000
		Sin Fertilizar (O2)	96	6,4	17,1		
	LC (m)	Fertilizado (F2)	108	5,4	24,0	38,5	0,000
		Sin Fertilizar (O2)	96	3,9	24,4		
	DAP (cm)	Fertilizado (F2)	108	6,2	25,6	19,2	0,000
		Sin Fertilizar (O2)	96	5,2	27,7		

* Tomando como base la densidad inicial de 1.666 arb/ha

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm); HT = Altura total (m); LC = Largo de copa (m); F = Fertilizado; O = Testigo; 1 = Bloque 1; 2 = Bloque 2

El motivo principal por el cual el bloque 1 no tuvo diferencias significativas entre tratamientos, se debe principalmente al buen crecimiento presentado por el testigo. Por este motivo, la hipótesis que mejor responde a esta interrogante es la influencia que ejerce la forma cóncava de la ladera y el contorno de ésta, donde se ubica el área sin fertilización (mejores condiciones de suelo para el crecimiento).

En cuanto al bloque 2, las variables de crecimiento en altura, diámetro y largo de copa fueron afectadas positivamente por la fertilización ($p < 0,05$), es decir, hubo un crecimiento significativo en dichas variables, presentando una ganancia de 21,9%, 38,5% y 19,2%, respectivamente (cuadro 4).

La densidad del área fertilizada en el bloque 2 muestra una clara superioridad con respecto al testigo, pero no es posible adjudicar toda la responsabilidad al tratamiento aplicado, ya que existió un espaciamiento irregular al momento de plantar. A pesar de esto, resulta evidente que la sobrevivencia de los árboles fertilizados fue mejor en este bloque (cuadro 4).

4.1.2 Crecimiento en área basal y volumen.

El crecimiento en área basal fue afectado por el tratamiento aplicado en el bloque 2, mostrando una ganancia de 58,8% (cuadro 5), situación que no ocurre en el bloque 1. Esto se confirma con lo mencionado anteriormente, ya que la variable que afecta al área basal (DAP), posee similar comportamiento en los bloques analizados.

Cuadro 5. Resultado del análisis de varianza para el crecimiento en área basal y el volumen medio de *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, predio Los Pinos.

Bloque	Variable	Tratamiento	Densidad (%) [*]	Media	CV %	Crecimiento sobre el testigo (%)	p
1	Área basal (m ² /ha)	Fertilizado (F1)	89	4,2	48,0	5,0	0,303
		Sin Fertilizar (O1)	91	4,0	49,4		
	Índice de volumen (m ³ /ha)	Fertilizado (F1)	89	39	59,7	8,3	0,324
		Sin Fertilizar (O1)	91	36	61,7		
2	Área basal (m ² /ha)	Fertilizado (F2)	108	5,4	48,9	58,8	0,000
		Sin Fertilizar (O2)	96	3,4	55,0		
	Índice de volumen (m ³ /ha)	Fertilizado (F2)	108	54	60,5	92,9	0,000
		Sin Fertilizar (O2)	96	28	69,9		

* Tomando como base la densidad inicial de 1.666 árb/ha

F = fertilizado; O = Testigo, 1= Bloque 1; 2 = Bloque 2; n.s = No significativo; f = Significativo.

Además, del cuadro 5 se desprende que el índice de volumen (D²H) tuvo una ganancia significativa (92,9%) sólo en el bloque 2, producto del fertilizante aplicado en esa área (Anexo 6).

4.1.3 Estado nutritivo foliar y oferta de elementos nutritivos en el suelo

• Bloque 1

El estado nutritivo de los individuos del bloque 1 (Anexo 5), en cuanto a las hojas recientes y las más antiguas, responden a una tendencia normal al aplicar fertilizantes, mostrando un mayor contenido de elementos nutritivos en las áreas fertilizadas.

El contenido de nitrógeno (figura 3) se encontró dentro de niveles adecuados para el normal desarrollo de los árboles, pero aún así, existe una mejoría por efecto de la fertilización. Así mismo, las hojas más antiguas presentaron un menor contenido de nitrógeno, ya que la movilidad de los elementos nutritivos está regida principalmente por las zonas de crecimiento activo en la planta, es decir, donde exista una mayor

demanda por el elemento en cuestión, que en este caso son las hojas recientes (tomando en cuenta que el nitrógeno es un elemento móvil).

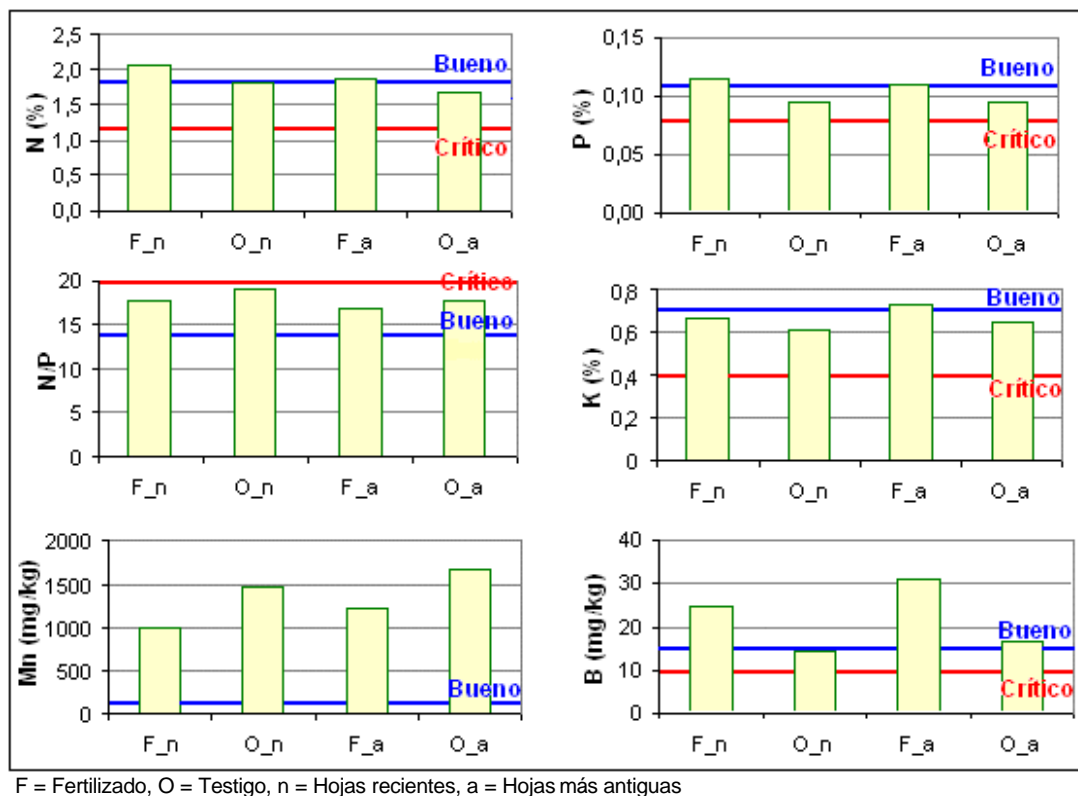


Figura 3. Estado nutritivo de las hojas recientes bien formadas y más antiguas en *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, bloque 1, predio Los Pinos.

El contenido de fósforo fue bueno, tanto en los tratamientos como en los testigos, presentando niveles prácticamente iguales entre tipos hojas (hojas recientes y más antiguas), a pesar de ser un elemento móvil (figura 3).

Lo mencionado anteriormente en cuanto al nitrógeno y al fósforo se ve reflejado mediante la relación N/P, en donde se aprecia una mejoría en las zonas fertilizadas. Ambos elementos se encuentran en contenidos óptimos para la planta, ya que la especie ha mostrado buen estado nutritivo y vigor en un rango de 15 a 18³.

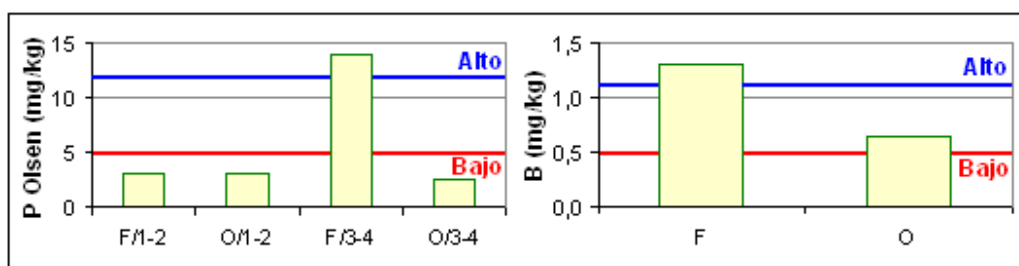
El potasio muestra la aplicación del fertilizante, aunque la mejoría en las áreas fertilizadas no fue muy destacada (comparándolo con el boro), tomando en cuenta que dentro de otras funciones, este elemento aumenta la resistencia a las heladas y enfermedades. Además, existió un mayor contenido de potasio en las hojas más antiguas.

³ Schlatter, J. 2004. Universidad Austral de Chile. Valdivia (Comunicación personal basada en diagnósticos efectuados en el país).

El boro refleja claramente el efecto del fertilizante, aunque en todos los casos es posible detectar niveles adecuados de este elemento. Por otra parte, el mayor contenido de boro en las hojas se detectó en las más antiguas (fertilizadas).

Con respecto al manganeso, se observa que existen diferencias, en que las fertilizadas presentan niveles menores que los testigos. En general un nivel foliar de manganeso sobre 1.000 mg/kg es considerado de efectos tóxicos para *Pinus radiata*. Los *Eucalyptus sp.* en general toleran un nivel mayor, pero aún así un nivel menor indica en general un mejor estado nutritivo⁴ (figura 3).

La oferta nutritiva de fósforo y boro en el suelo se puede observar en la figura 4 donde se aprecia que en términos generales, el fósforo no presenta grandes diferencias entre los tratamientos, presentando valores bajos, con excepción de las parcelas 3 - 4 (fertilizado), en que el fósforo disponible alcanza valores bastante más elevados. Dicha situación se puede explicar como un efecto de la fertilización, aún cuando en las parcelas 1 y 2 no se haya detectado por la forma irregular en la dispersión del fertilizante aplicado (Anexo 6).



F = Fertilizado; O = Testigo; 1-2 = Parcelas 1 y 2; 3-4 = Parcelas 3 y 4

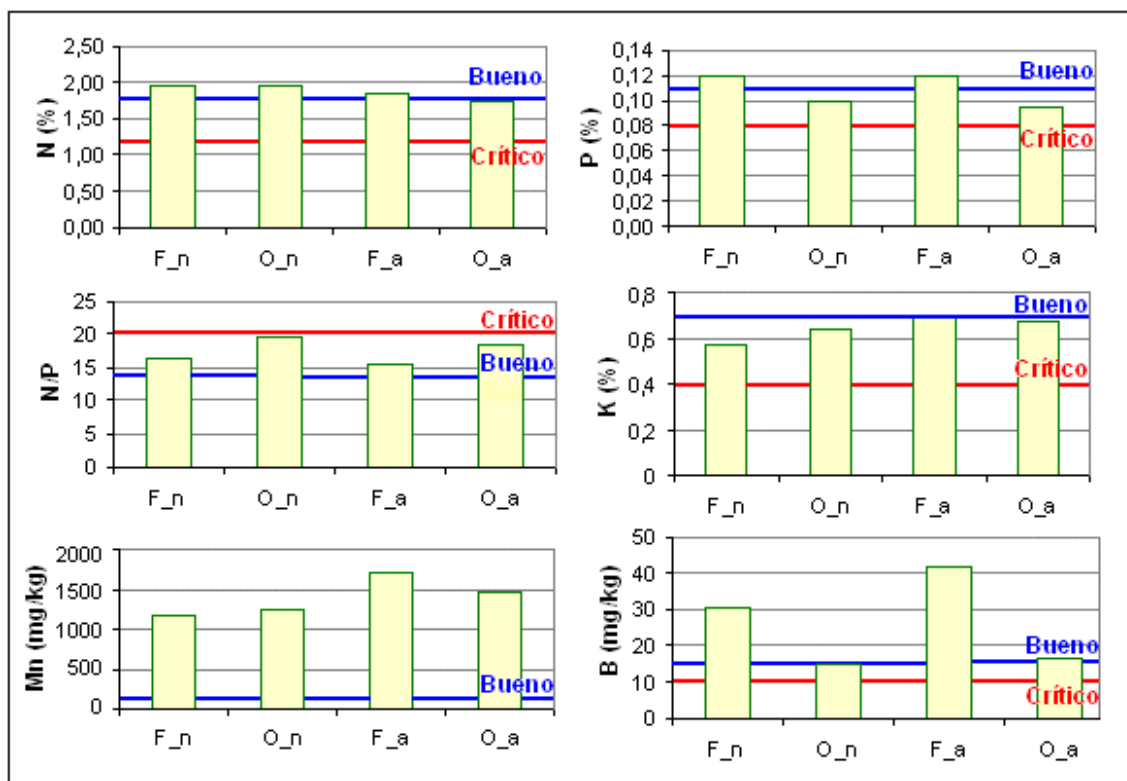
Figura 4. Oferta de fósforo y boro disponibles en *Eucalyptus globulus* de 3 años, bloque 1, predio Los Pinos.

En cuanto al boro soluble (figura 4), se observa que el suelo aumentó la oferta de este elemento por efecto de la fertilización, situación que se corrobora en el estado nutritivo foliar (figura 3).

• Bloque 2

El estado nutritivo de las hojas recientes y las más antiguas en el bloque 2 (anexo 5) se presenta en la figura 5, donde se aprecia que el contenido de nitrógeno no muestra efecto de la fertilización aplicada y, además, existen similares contenidos de dicho elemento en las hojas recientes y las más antiguas, a pesar de ser un elemento móvil en la planta.

⁴Schlatter, J. 2004. Universidad Austral de Chile. Valdivia (Comunicación personal basada en diagnósticos efectuados en el país).



F = Fertilizado; O = Testigo; n = Hojas recientes; a = Hojas más antiguas

Figura 5. Estado nutritivo de las hojas recientes bien formadas y más antiguas en *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.

El fósforo muestra el efecto del tratamiento, aunque en todos los casos el contenido de este elemento fue bueno. A pesar de esto, no existieron diferencias de contenidos en las hojas recientes y antiguas, siendo los valores similares entre ellas.

La relación N/P, fue modificada en las áreas fertilizadas (valores bajo 16) con respecto a los testigos, si bien la tendencia es a mejorar el estado nutritivo.

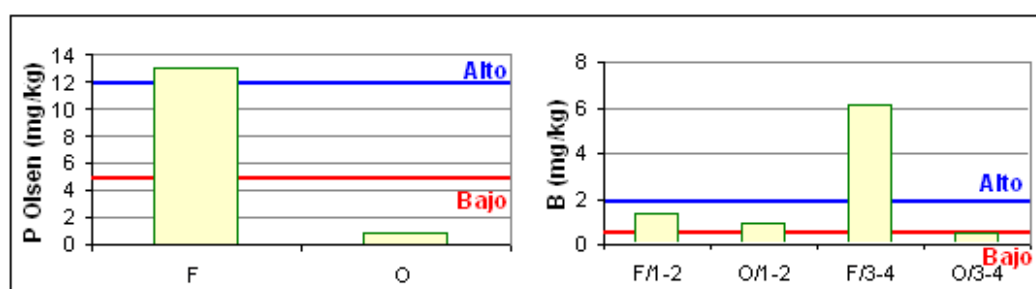
El contenido de potasio se encuentra peor que en el bloque 1, donde no es posible establecer una diferencia clara entre el tratamiento y el testigo, y al igual que en el bloque 1, las hojas más antiguas presentaron valores más altos.

El contenido de boro en cambio, refleja notoriamente el efecto del fertilizante en las hojas a través de mayores contenidos y fue en las hojas antiguas donde existió un mayor contenido de este elemento.

El contenido de manganeso encontrado en las hojas recientes y las más antiguas refleja que en este bloque el fertilizante no tuvo mayor efecto en comparación al bloque 1.

En la figura 6 es posible apreciar que existe un mayor contenido de fósforo disponible en las áreas fertilizadas, mientras que en el testigo los valores son muy bajos. Las

diferencias entre las áreas fertilizadas y los testigos destacan aún más, ya que el contenido encontrado en los últimos es de tan sólo 0,7 mg/kg (Anexo 6).



F = Fertilizado; O = Testigo; 1-2 = Parcelas 1 y 2; 3-4= Parcelas 3 y 4.

Figura 6. Fósforo y Boro disponible en el suelo de *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, bloque 2, predio Los Pinos.

El contenido de boro disponible en el suelo de los tratamientos fertilizados, es bastante más elevado que en el testigo y que en el bloque 1 (figura 6).

Las diferencias encontradas entre los bloques 1 y 2 son una característica de la heterogeneidad del estado nutritivo del suelo, siendo uno de los motivos por los cuales el efecto de la fertilización se enmascara y no se manifiesta en una manera más clara.

Además, resulta importante mencionar que el muestreo realizado fue al azar y generalmente la fertilización al voleo no es homogénea, existiendo así gran variabilidad.

4.1.4 Calidad (Bloques 1 y 2).

- **Rectitud**

La tendencia general que presenta la rectitud es ir disminuyendo la proporción de árboles hacia categorías inferiores, tanto para el área fertilizada como para el testigo, a excepción del bloque 2, área sin fertilizar (Anexo 7).

Sin embargo, el bloque 1 no presentó diferencias significativas con respecto al testigo debido a la buena rectitud que presentó este último (figura 10), ya que la zona donde está ubicado el testigo del bloque 1 está influenciada por las condiciones favorables provocadas por la forma cóncava de la ladera y el contorno de ésta. A pesar de esto, tanto en el área fertilizada como en el testigo, más de la mitad de la población la constituyen árboles rectos y una sola pequeña proporción de árboles en la categoría inferior (figura 7).

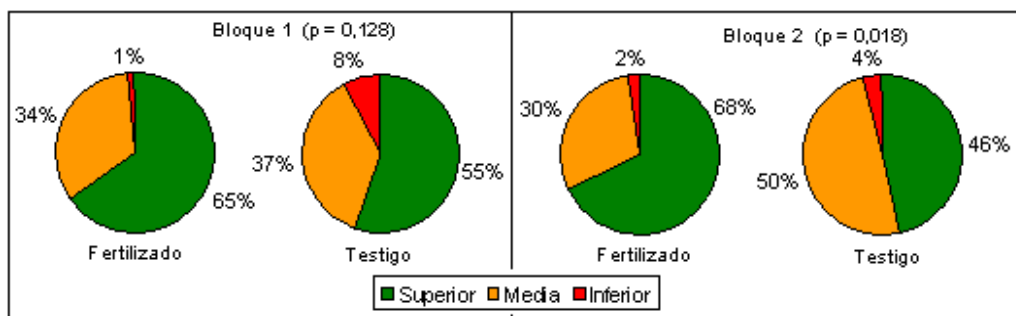


Figura 7. Rectitud superior, media e inferior de *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, predio Los Pinos.

El bloque 2 muestra un claro efecto del fertilizante, con 68% de árboles rectos en el tratamiento, mientras que en el testigo estos son sólo 46%. Además, en este último la mitad de la población presenta curvatura leve (categoría media). De esta forma, el fertilizante mejoró la rectitud de los individuos ($p < 0,05$).

- **Daño**

El tratamiento aplicado no tuvo efecto (figura 8), ya que en términos prácticos el daño fue similar en ambos bloques y áreas ($p > 0,05$ en ambos bloques), existiendo más de un 90% de árboles sin a leve daño, en todos los casos. Los árboles con daño moderado fueron 3% en las áreas fertilizadas y 4% en los testigos, en ambos bloques (Anexo 7).

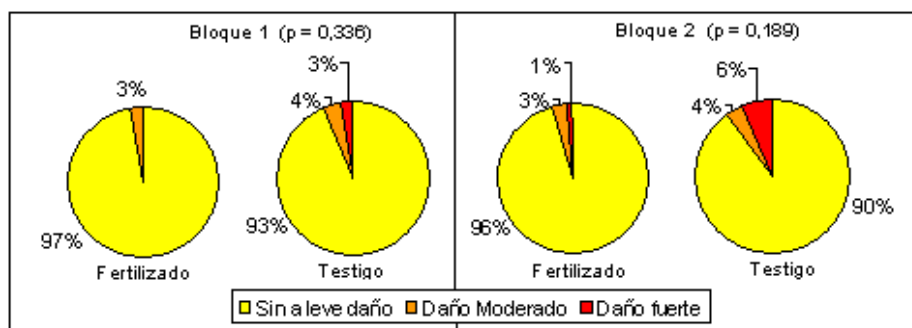


Figura 8. Evaluación del daño en *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, predio Los Pinos.

En cuanto a los individuos que presentaron daño fuerte, éstos representaron la minoría de la población, por lo que no es una situación para alarmarse.

4.2 Plantación del año 2001 (2 años al 2004)

4.2.1 Área experimental 1

- **Crecimiento en altura y diámetro de copa**

El cuadro 6 muestra que la altura de los árboles refleja el efecto del fertilizante y además la influencia que tiene la posición de la ladera en el crecimiento de éstos.

Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza para las variables de crecimiento altura y diámetro de copa en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

Variable	Tratamiento	Posición en la ladera	Densidad (%)*	Media	CV (%)	Crecimiento sobre el testigo (%)	p				
							Modelo	Tratamiento	Posición en la ladera	Interacción	
HT (m)	Fertilizado	B1	96	4,3	19,5	2,4	0,000	0,000	0,001	0,668	
		B2	96	4,6	12,8						4,5
		B3	96	4,8	12,0						6,7
	Sin Fertilizar	B1	91	4,2	18,1						
		B2	94	4,4	18,7						
		B3	103	4,5	15,5						
DC (m)	Fertilizado	B1	96	2,1	14,3	0,0	0,000	0,000	0,000	0,473	
		B2	96	2,3	16,8						-4,2
		B3	96	2,3	18,6						-4,2
	Sin Fertilizar	B1	91	2,1	17,4						
		B2	94	2,4	13,5						
		B3	103	2,4	17,8						

* Tomando como base la densidad inicial de 1.666 árb/ha; HT = Altura total (m); DC = Diámetro de copa (m) B1 = Bloque 1 (ladera alta); B2 = Bloque 2 (ladera alta a media); B3 = Bloque 3 (ladera media); n.s = No significativo; f = Significativo

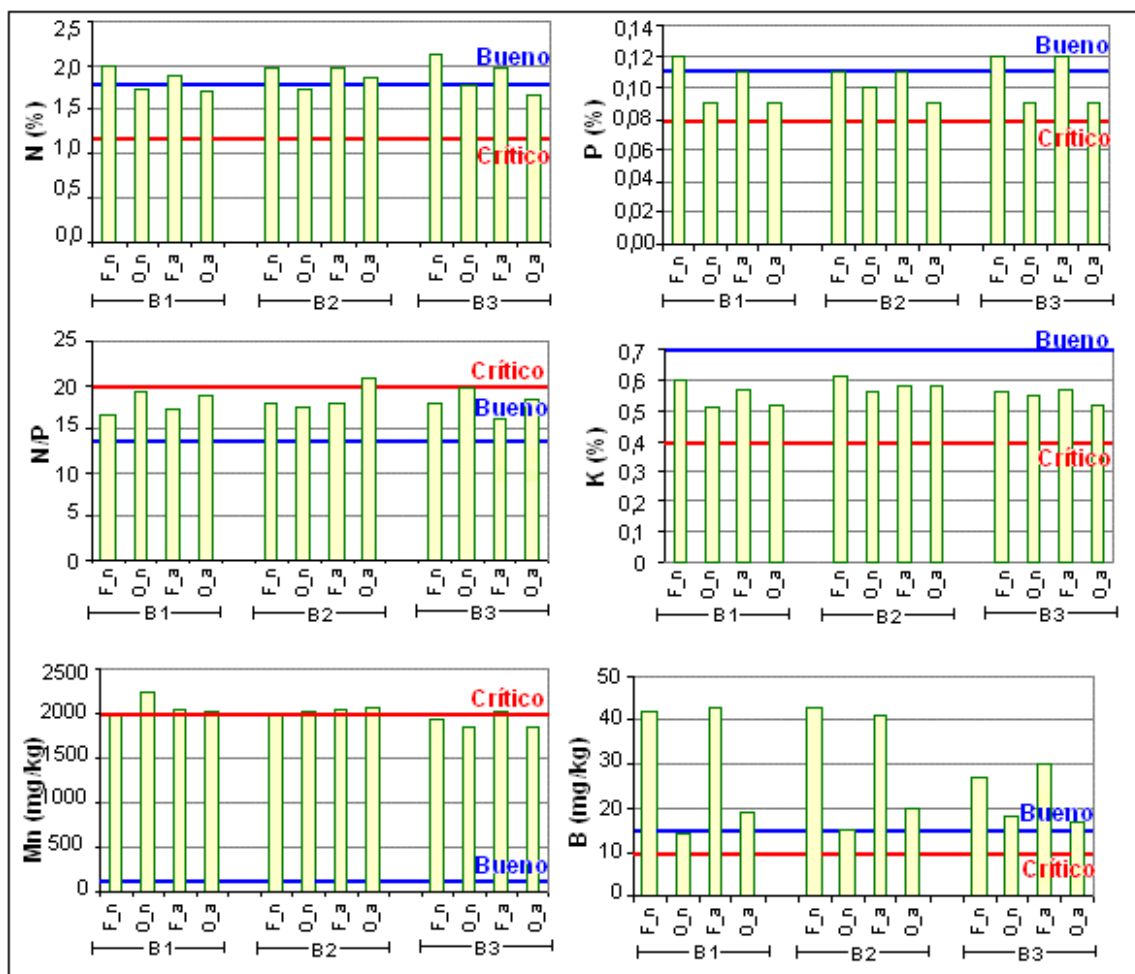
De este modo, la altura va aumentando a medida que se desciende en la posición relativa de los bloques en la ladera, teniendo una ganancia de 2,4%, 4,5% y 6,7% en los bloques 1, 2 y 3, respectivamente.

Sin embargo, el tratamiento no tuvo efecto sobre el diámetro de copa, ya que el área sin fertilizar fue la que presentó un mayor crecimiento.

La densidad en el área fertilizada se mantuvo constante en los tres bloques evaluados (96%), mientras que en el testigo ésta sufrió fluctuaciones, siendo el bloque 3 (ladera media), el que presentó una mayor cantidad de individuos (103%).

- **Estado nutritivo foliar y oferta de elementos nutritivos en el suelo**

La fertilización se refleja en el contenido de nutrientes de las hojas (anexo 8), en que el nitrógeno presenta valores adecuados para el desarrollo de los árboles donde se aplicó el tratamiento. Sin embargo, no es posible establecer una clara diferencia en el contenido de este elemento según la posición relativa de los bloques, aunque en éstos se pudo apreciar leves diferencias entre las hojas recientes y las más antiguas, donde las hojas recientes presentaron un mayor contenido de nitrógeno (figura 9).



F = Fertilizado; O = Testigo; n = Hojas recientes; a = Hojas más antiguas; B1 = Bloque 1 (ladera alta); B2 = Bloque 2 (ladera alta a media); B3 = Bloque 3 (ladera media).

Figura 9. Estado nutritivo foliar de las hojas recientes bien formadas y más antiguas en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

El fósforo muestra una clara diferenciación entre áreas (fertilizada y sin fertilizar) y además, el mayor contenido de este elemento en las hojas recientes. Esto se debe a la movilidad que presenta, permitiendo que se traslade hacia zonas de crecimiento más activas.

La relación N/P se vio favorecida en la mayoría de los casos, siendo la excepción el bloque 2, donde el efecto del fertilizante no se manifestó.

El contenido de potasio fue similar entre bloques, y fue posible detectar el tratamiento aplicado, pero los valores fueron bajos y en el testigo, los valores bordearon los niveles críticos.

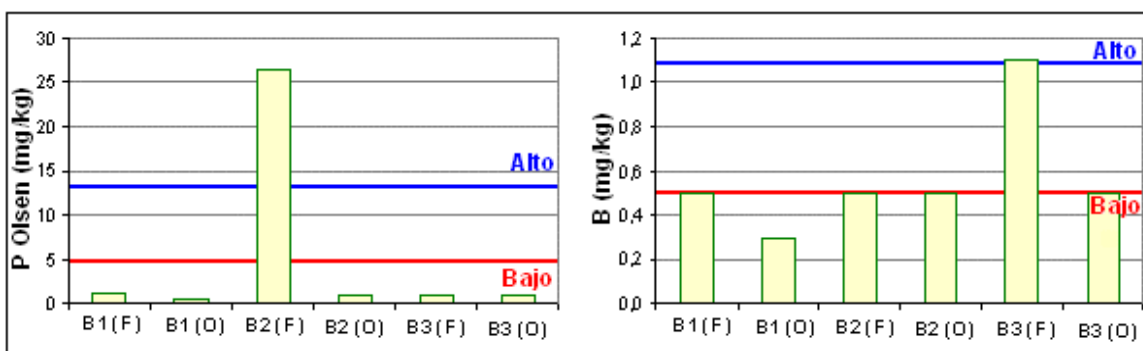
Un efecto bastante más acentuado lo presenta el boro, donde no existe duda alguna de la aplicación del fertilizante. En cuanto a la estratificación realizada, el bloque 3

presenta una marcada disminución de este elemento, sin embargo, está dentro de los rangos admisibles. Además, el contenido de boro en las hojas recientes y las más antiguas es similar, ya que este elemento es considerado como poco móvil.

En términos generales, es importante destacar que tanto en el tratamiento como en el testigo existen cantidades adecuadas de elementos esenciales para el desarrollo de los individuos. Lo que se busca al analizar las hojas es ver el estado nutritivo de éstas y poder relacionarlas con una menor incidencia de daños presentados por éstas, donde el único elemento que podría limitar esta condición es el potasio.

En cuanto al manganeso, no es posible detectar el efecto del fertilizante, ya que no existe una diferenciación clara entre áreas (fertilizada y sin fertilizar). Destaca el alto nivel de acumulación de manganeso, en general sobre 1.800 mg/kg (mayor que en el rodal de 3 años de edad, bloque 1).

La oferta de fósforo y boro en el suelo (Anexo 9) no refleja la aplicación del fertilizante, presentando valores muy bajos que no superan los 1,1 mg/kg y 0,5 mg/kg, respectivamente. La excepción la constituye el bloque 2 (ladera alta a media, fertilizada) para el fósforo y bloque 3 (ladera media, fertilizada) para el boro, donde estos elementos presentan valores muy altos (figura 10).



F = Fertilizado; O = Testigo; B1 = Bloque 1 (ladera alta); B2 = Bloque 2 (ladera alta a media); B3 = Bloque 3 (ladera media).

Figura 10. Fósforo y boro disponible en el suelo de *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

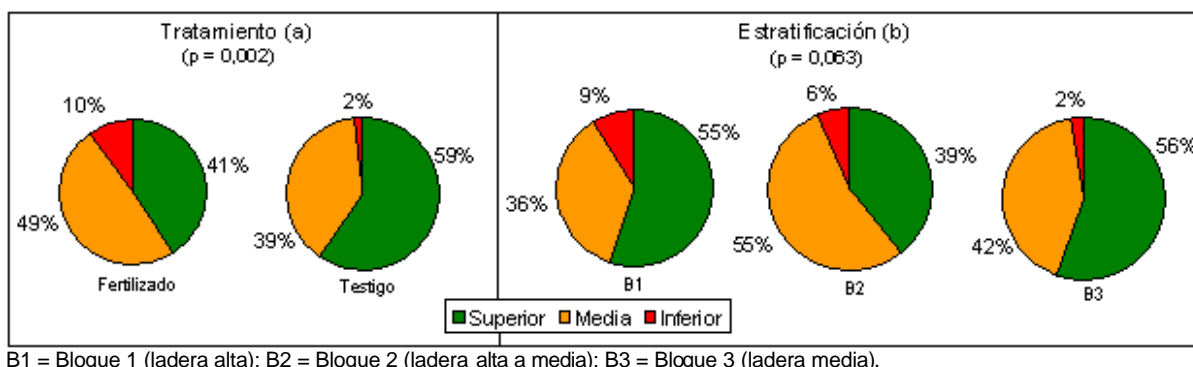
Estos altos valores pueden ser explicados porque la fertilización se realizó en bandas y el muestreo fue al azar. De tal forma que se tomaron muestras, donde existía una alta concentración de fósforo y boro (muestreo sobre la banda). De todas formas, es una situación particular del tratamiento.

- **Calidad**

Rectitud

El tratamiento aplicado tuvo un efecto significativo en la rectitud de los individuos (figura 11 [a]), empeorando la forma de éstos, por el acelerado crecimiento que se

experimenta al fertilizar, aumentando la probabilidad de sufrir daños, ya que los tejidos no se encuentran del todo lignificados.



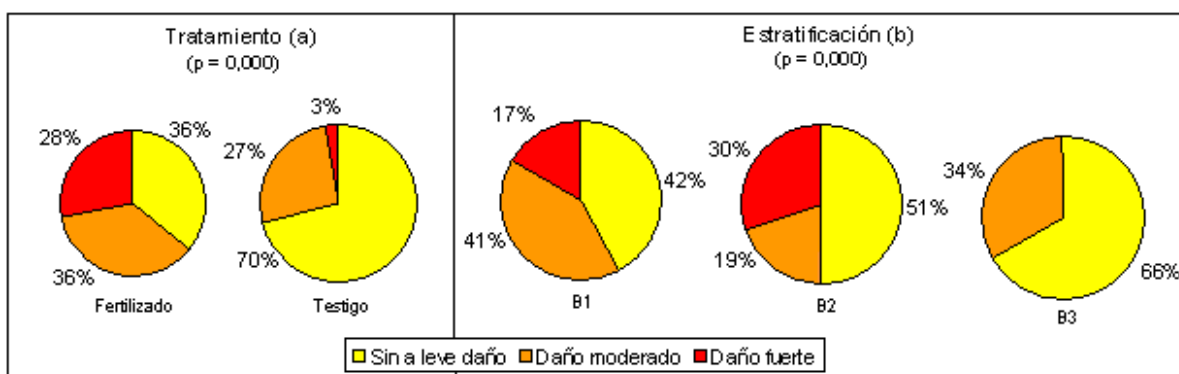
B1 = Bloque 1 (ladera alta); B2 = Bloque 2 (ladera alta a media); B3 = Bloque 3 (ladera media).

Figura 11. Rectitud superior, media e inferior en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

Al analizar la estratificación realizada (figura 11[b]), se observa que la tendencia de los bloques 1 y 3 es ir disminuyendo la proporción de árboles a medida que la rectitud empeora, mientras que el bloque 2 presenta peor rectitud, con 39% de árboles rectos, 55% con curvatura leve y 6% con curvatura fuerte. Sin embargo, debido a la edad de la plantación, la rectitud de los individuos podría mejorar (Anexo 10). A pesar de encontrar diferencias entre bloques, éstas no fueron significativas ($p > 0,05$)

Daño

El tratamiento aplicado no tuvo efecto en los árboles ya que el testigo se encontró en mejores condiciones que el área fertilizada ($p < 0,05$), con un 70% de árboles sin a leve daño, mientras que en el área fertilizada estos abarcaron un 36% de la población. Además, esta última área presentó una mayor proporción de árboles con daño más severo, mientras que en el testigo la tendencia fue ir disminuyendo la cantidad de individuos hacia categorías inferiores (figura 12 [a]).



B1 = Bloque 1 (ladera alta); B2 = Bloque 2 (ladera alta a media); B3 = Bloque 3 (ladera media).

Figura 12. Evaluación del daño en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

La posición de los bloques mostró diferencias en cuanto al daño ($p < 0,05$), siendo el bloque 3 el más favorecido, presentando una mayor cantidad de árboles en buenas condiciones (66% de individuos sin a leve daño y 34% con daño moderado). La posición más desfavorable fue el bloque 2 (ladera alta a media), con un 30% de árboles con daño fuerte (Anexo 10).

4.2.2 Área experimental 2 y área experimental 3.

- **Crecimiento en altura y diámetro de copa**

El tratamiento tuvo efecto en el área experimental 2 ($p < 0,05$) tanto en la altura como en el diámetro de copa, ya que obtuvieron una ganancia significativa de 15% y 23,8%, respectivamente (cuadro 7).

Cuadro 7. Resultado del análisis de varianza para la altura y diámetro de copa en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.

Variable	Área experimental	Tratamiento	Densidad (%)*	Media	CV %	Crecimiento sobre el testigo (%)	p
HT (m)	2	Fertilizado (F)	103	4,6	16,0	15,0	0,000
		Sin Fertilizar (O)	110	4,0	18,2		
	3	Fertilizado (F)	99	5,1	13,2	27,5	0,000
DC (m)	2	Fertilizado (F)	103	2,6	16,7	23,8	0,000
		Sin Fertilizar (O)	110	2,1	16,8		
	3	Fertilizado (F)	99	2,7	15,3	28,6	0,032

* Tomando como base la densidad inicial de 1.666 arb/ha
HT = Altura total (m); DC = Diámetro de copa (m).

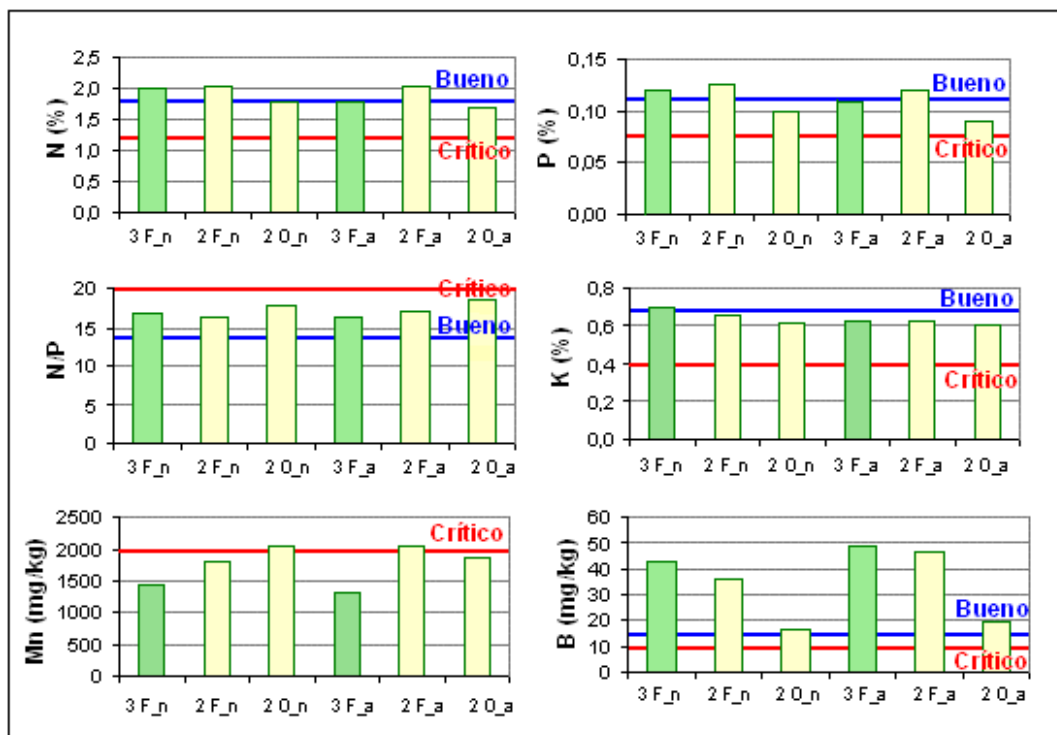
Además, el área experimental 3 presenta condiciones favorables para el crecimiento, teniendo una ganancia de 27,5% para la altura y 28,6% para el diámetro de copa, sobre el área experimental 2, testigo (cuadro 7).

La densidad en el área experimental 2 es un poco más elevada que en el área experimental 3, pero esto no acusa un problema de mortalidad, sino de espaciamento irregular, por lo que la sobrevivencia fue alta en ambos casos (cuadro 7).

- **Estado nutritivo foliar y oferta de elementos nutritivos en el suelo**

El estado nutritivo de las hojas recientes y más antiguas muestra el efecto del tratamiento en el área experimental 2 (Anexo 8), aumentando el contenido de nitrógeno en las áreas fertilizadas. Sin embargo, no existió una diferencia de contenido de este elemento en las hojas de distintas edades, siendo muy similar entre ellas. Con respecto al contenido de nitrógeno en el área experimental 3, éste fue inferior que en el área experimental 2, tanto en las hojas recientes como en las más antiguas.

Similar tendencia existe con el fósforo y el boro en el área experimental 2 (figura 13), donde es posible evidenciar el tratamiento aplicado. El contenido de fósforo en las hojas recientes es mayor que en las más antiguas, debido a la movilidad que dicho elemento presenta, migrando hacia zonas de crecimiento más activas.



3 = Área experimental 3; 2 = Área experimental 2; F = Fertilizado; O = Testigo; n = Hojas recientes; a = Hojas más antiguas.

Figura 13. Estado nutritivo de las hojas recientes bien formadas y más antiguas en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.

En cuanto al contenido de boro presente en las hojas, éste fue mayor en las hojas más antiguas, tanto en el área experimental 2 como en el área experimental 3. Sin embargo, el contenido de boro en esta última fue mayor, aunque la diferencia existente no es importante.

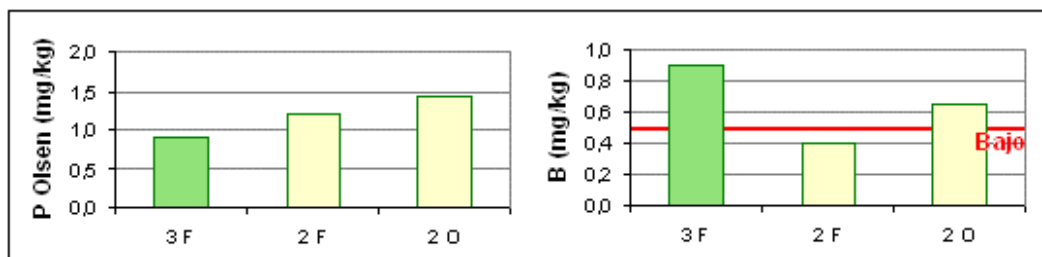
El potasio presenta una tendencia similar a la observada en las plantaciones del año 2001 (bloque 1 y 2) y 2002 (área experimental 1), donde la aplicación del fertilizante no se reflejó en las hojas, siendo el área experimental 3 la que presentó un mayor contenido de este elemento.

La relación N/P mejoró en las zonas fertilizadas, presentando valores bajo los 18, mientras que en el testigo se superó ese valor. Sin embargo, no existió una diferencia importante entre áreas experimentales, a pesar que el área experimental 3 se encuentra en un lugar privilegiado (zona cóncava de la ladera y contorno de ésta).

El único elemento que difiere bastante entre áreas experimentales es el manganeso donde se aprecia que el contenido de este elemento en el área experimental 3 no supera las 1.500 mg/kg, situación favorable para el crecimiento de los árboles, mientras que en el área experimental 2 (fertilizada), el contenido de manganeso fluctúa entre los 1.821 y 2.042 mg/kg, en las hojas recientes y más antiguas, respectivamente.

El estado nutritivo del suelo (Anexo 9) se presenta en la figura 14, donde la aplicación del fertilizante no se detectó al analizar el fósforo, ya que la figura muestra

la tendencia natural que es posible encontrar en el suelo. Además, dicho elemento se encuentra muy bajo, en ambas áreas experimentales (se considera un valor bajo entre 3 - 5 mg/kg).



3 = Área experimental 3; 2 = Área experimental 2; F = Fertilizado; O = Testigo.

Figura 14. Fósforo y boro soluble en el suelo en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.

En cuanto al boro (figura 14), en el área experimental 3 existe un mayor contenido de dicho elemento (0,9 mg/kg, mientras que en el área experimental 2 es de sólo 0,4 mg/kg). Además, en el área experimental 2 el tratamiento no reflejó diferencias con respecto al testigo y las fluctuaciones que son posibles percibir en la figura, son reflejo de las variaciones naturales que posee el suelo en una superficie relativamente extensa.

- **Calidad**

Rectitud

En la figura 15 se aprecia que el área experimental 2 no mostró diferencias entre áreas (fertilizada y sin fertilizar), ya que en ambos casos el comportamiento fue similar (Anexo 11), a pesar que en el testigo la rectitud fue levemente superior, pero esto no fue suficiente como para marcar una diferencia importante ($p > 0,05$).

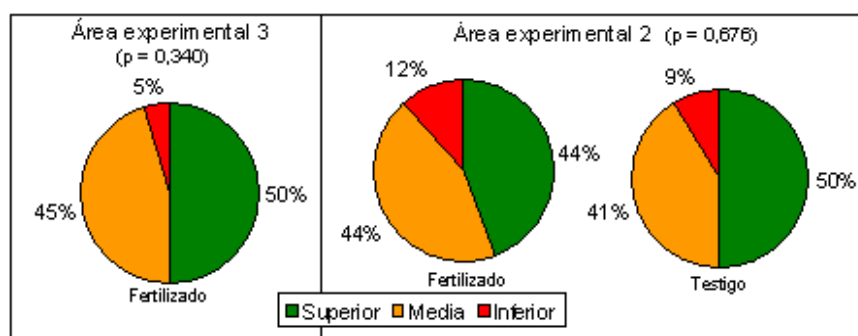


Figura 15. Rectitud superior, medio e inferior en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.

Situación similar ocurre al comparar las áreas experimentales 2 y 3 (Anexo 12), donde a pesar que en esta última, la mitad de la población la constituyeron árboles

rectos, el escenario cambió al considerar los árboles que presentaron curvatura leve y fuerte, opacando la diferencia antes mencionada ($p > 0,05$).

Daño

En el área experimental 2, resulta evidente el nulo aporte brindado por el fertilizante en cuanto a disminuir el daño presentado por las hojas, ya que la tendencia de esta área fue aumentar la proporción de individuos mientras el daño se hacía más severo (figura 16). Si bien, el testigo no presenta una gran cantidad de árboles en la categoría sin a leve daño (36%), éste posee similar proporción de árboles con daño moderado, bajando sustancialmente la participación de individuos con daño fuerte (Anexo11). De este modo, se presenta una marcada diferencia entre tratamientos ($p < 0,05$).

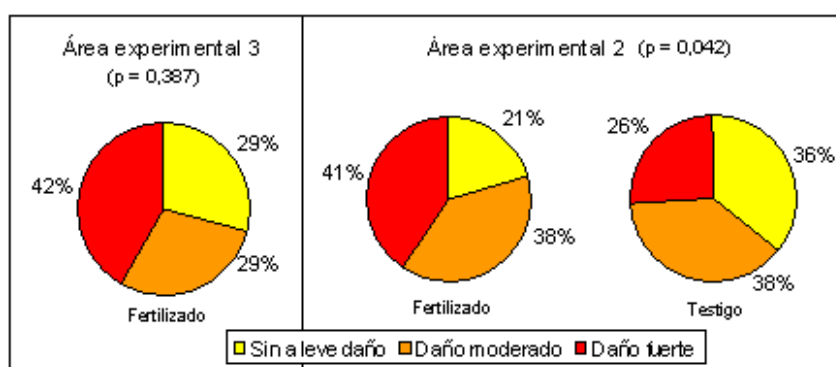


Figura 16. Daño en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 2 y 3, predio Los Pinos.

Al realizar la comparación entre áreas experimentales, se evidencia que en ambos casos el comportamiento fue similar ($p > 0,05$), presentando más de un 70% de la población con daño moderado y fuerte (Anexo 12).

5. DISCUSIÓN

5.1 Características del estudio

La conducta de *Eucalyptus globulus* observada en la X Región, con defoliación prematura de la copa baja, luego de clorosis y necrosis de las hojas en ésta, motivó el presente ensayo de fertilización, ya que no se identificaron otras causas abióticas ni bióticas. Por ello se planteó la hipótesis que la defoliación prematura debiera estar relacionada con algún desequilibrio nutritivo, como lo observara Will (1985) en Nueva Zelanda en otras especies del género. La coexistencia de plantaciones de 1 y 2 años de edad de la especie, permitió establecer un ensayo para observar el efecto de una fertilización completa, dirigida a suplir con los elementos nutritivos de oferta insuficiente en el suelo, el abastecimiento de la demanda de los árboles. Los fertilizantes seleccionados fueron mezclas completas que contuvieran los elementos de mayor demanda por parte de los árboles y en la proporción identificada en un diagnóstico previo⁵.

La selección de la mezcla de fertilizantes fue acertada ya que, en general, los árboles fertilizados lograron un mejor equilibrio nutritivo que los testigos, tanto por el nuevo estado nutritivo alcanzado, como también por la discriminación de elementos de absorción pasiva, como el manganeso.

El área de ensayo presentó un relieve complejo, por lo cual se aplicó un diseño experimental que redujo tal efecto para destacar el efecto de los tratamientos. El diseño experimental aplicado se justificó al poder identificar efectos muy diferentes entre sectores de condiciones topográficas distintas.

5.2 Plantación del año 2001 (3 años al 2004)

La fertilización aplicada no mostró efectos significativos en las variables de crecimiento en una parte del ensayo (bloque 1). La baja respuesta obtenida se puede explicar principalmente por el buen crecimiento que presentó el testigo, ya que la ganancia adquirida por el tratamiento sobre éste, fue muy baja (cuadros 4 y 5).

El buen crecimiento que tuvo el testigo en este bloque se puede deber a las condiciones favorables para el crecimiento que ejerce la forma cóncava de la ladera y del contorno de ésta, en donde se sitúa el área de estudio.

La forma cóncava del lugar favorece la convergencia y permanencia de mayor humedad en el suelo, que por una parte favorece el crecimiento de *E. globulus*, pero por otra parte aumenta la solubilidad y oferta de manganeso, lo que explica un mayor nivel de este elemento en los árboles de la parcela testigo, en el bloque 1 (figura 3), pudiendo tener un efecto negativo sobre los árboles, lo que sin embargo no se observa en una primera aproximación.

⁵ El diagnóstico previo fue encargado por el Centro Experimental Forestal al Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Universidad Austral de Chile.

Estudios sobre fertilizaciones en *E. globulus*, indican que una buena disponibilidad de agua en el suelo (con una buena permeabilidad, que impidan la saturación del suelo en períodos con altas precipitaciones) puede conducir a una mayor ganancia en el crecimiento de los árboles, que por efecto de la propia aplicación de fertilizantes, pero sin las mismas condiciones de humedad en el suelo (Gurovich *et al.*, 1997).

Sin embargo, el tratamiento aplicado tuvo efectos significativos sobre las variables de crecimiento en el resto del ensayo (bloque 2) y por ende, en el área basal e índice de volumen (D²H), donde existió una ganancia importante por efecto de la fertilización.

Lo más destacado fue el efecto de la fertilización en el largo de copa (en toda la plantación), permaneciendo éstas en 8,3 - 38,5% más largas que en el testigo. Esta fue la variable que mejor refleja el tratamiento aplicado, ya que al estar mejor nutridos los árboles, éstos no tienen la necesidad de extraer todas las reservas nutritivas desde las hojas más antiguas hacia las más nuevas. De este modo, conservan una mayor área foliar, permitiendo que realicen una mejor y más activa fotosíntesis (Colber *et al.*, 1990; Cromer, 1994; citado en Leiva, 2000). Esto tiene implicancias en el aumento del crecimiento, tanto en la altura como en el diámetro, con respecto al testigo.

Además, el fertilizante ejerce efecto incluso sin haber inducido un aumento en la fotosíntesis neta, debido a la mayor cantidad de nutrientes disponibles a nivel radicular, provocando una mayor disponibilidad de carbohidratos para destinarlos al crecimiento del fuste (Binkley, 1993).

Debido a los efectos beneficiosos provocados al aplicar fertilizantes, resulta importante emplearlos en los inicios de la plantación, sobre todo en especies de rápido crecimiento como *E. globulus*, ya que precisamente en los primeros años existe una demanda creciente de nutrientes y una muy baja reincorporación de los elementos extraídos desde el suelo (figura 1), por medio del reciclaje (hojarasca, raíces finas). De este modo, el crecimiento de los árboles puede verse limitado por la oferta de nutrientes en el suelo, por la alta demanda que existe y porque las raíces no han explorado aún todo el suelo (Grove *et al.*, 1996).

En esta plantación, se pudo detectar el efecto del fertilizante en el suelo, después de 9 meses de la aplicación, mediante la oferta de fósforo (P Olsen) y boro disponible (en ambos bloques), donde existió un mayor contenido de estos elementos en las áreas fertilizadas (figuras 4 y 6). Ese mayor contenido en las áreas fertilizadas fue sin embargo muy irregular, y se debió principalmente a la manera de realizar el muestreo y a la forma de aplicar el fertilizante (al voleo), por lo que en el muestreo al azar también se captó una zona con alta concentración de elementos nutritivos en el suelo.

La calidad de los árboles en una parte de la plantación (bloque 1) tuvo una leve mejoría en las áreas fertilizadas con respecto a la rectitud, pero como el testigo se encontró en una zona favorable para el crecimiento, las diferencias presentadas no fueron significativas. En la porción restante de la plantación (bloque 2), la situación

cambió, ya que el tratamiento tuvo efecto en la rectitud de los individuos, mejorando bastante la forma de éstos (figura 7).

Resulta importante mencionar que la rectitud es una característica que está influenciada por el material genético que posea el individuo, debido a que es heredable. Los valores de heredabilidad expresan la proporción de la variación en la población que es atribuible a diferencias genéticas entre los individuos. Por lo tanto, es una proporción que indica el grado al cual los progenitores transmiten sus características a su descendencia, y puede ir de 0 a 1. El valor 0 indica que la variación de una población no es atribuible a la genética y 1, indica que toda la variación se debe a la genética (Zobel y Talbert, 1992).

En ensayos genéticos de progenie, utilizando la técnica de polinización abierta, se ha determinado que *E. globulus* posee una heredabilidad de aproximadamente 0,3. Esto indica que la rectitud en esta especie, es un carácter medianamente heredable. Si la técnica utilizada para polinizar es controlada, la heredabilidad de la variable rectitud, puede duplicar la cifra antes mencionada (Eldridge *et al.*, 1993).

Lo mencionado anteriormente tiene relación con el tipo de semilla utilizada en este estudio, que es de origen común, es decir, que no tuvo ningún tipo de mejoramiento genético⁶, por lo que la heredabilidad de este carácter no es muy alta (de acuerdo a las condiciones de cruzamiento realizadas). De este modo, el factor medioambiental ejerce mayor influencia en las características de forma de los individuos presentes en las plantaciones (plantaciones del año 2001 y 2002).

Por este motivo, resulta interesante considerar la utilización de plantas mejoradas genéticamente (mediante técnicas de polinización controlada), ya que permiten aumentar considerablemente la productividad obtenida en una plantación (mayor sobrevivencia y crecimiento, características deseables de calidad), a pesar de estar asociadas a un mayor costo, pero que a largo plazo se superan con creces los gastos incurridos, con los beneficios obtenidos⁷.

Las características nutritivas de los árboles en general son buenas, donde el único elemento que se encuentra levemente bajo es el potasio (una de las funciones que posee este elemento es aumentar la resistencia a heladas y enfermedades). Sin embargo, esto no se reflejó en el daño presentado en las hojas de los árboles en esta plantación, ya que la mayoría de la población se encontró en buenas condiciones, al igual que las áreas sin fertilizar (94% de la plantación se ubicó en la categoría sin a leve daño, considerando el testigo y el tratamiento en forma conjunta). Además, hay que considerar que por la edad de la plantación, la mayoría de las hojas presentes en los árboles, son coriáceas, disminuyendo la probabilidad de ser dañadas (comparándolas con las hojas en la plantación del año 2002).

⁶ Leiva, F. 2004. Centro Experimental Forestal. Comunicación personal.

⁷ López, S. 2004. Bosques y Parques S.A. Comunicación personal.

5.3 Plantación del año 2002 (2 años al 2004)

El ensayo consideró 3 áreas experimentales en esta plantación, de acuerdo a lo explicado en el diseño experimental (3.2.2). En esta discusión se tratarán estas áreas experimentales por separado.

El fertilizante aplicado en el área experimental 1 no tuvo un efecto destacado en el crecimiento de los árboles (comparándolo con la plantación del año 2001), siendo más importante la estratificación realizada (posición relativa de los bloques), donde el bloque 3 (ladera media) fue el más favorable en cuanto a la altura total de los individuos evaluados (4,8 m, con una ganancia de 6,7% sobre el testigo), seguido por el bloque 2 y finalmente el bloque 1 (cuadro 6). El diámetro de copa no acusó efecto por la fertilización aplicada, al no distinguirse un cambio claro en el crecimiento.

Cuando se desea evaluar individuos que se encuentran en estado de monte bravo (cuando aún no se cierran las copas y su DAP es < 4 cm) el método más certero para evaluar el establecimiento y crecimiento inicial de una plantación, es la medición del diámetro de copa, ya que éste posee una alta correlación con el diámetro del tallo de las plantas. Estudios realizados sobre efectos de fertilizaciones en los inicios de una plantación, indican que al fertilizar es de esperar que esta variable refleje el tratamiento aplicado (Barriga, 1987; Gerding *et al.*, 1988; Herbert, 1996). Por este motivo, resulta inconsistente el hecho que los individuos en el área experimental 1 expuestos al tratamiento, no hayan experimentado una mayor ocupación del sitio por medio de la copa (situación que se evaluó mediante el diámetro de ésta).

La reacción presentada en esta área de la plantación, puede atribuirse a la dificultad por parte de las plantas para explorar el volumen de suelo disponible, provocada por la compactación del suelo. Esa compactación fue provocada por la cosecha realizada en el año 2000, de una plantación de *Pinus radiata*⁸, ubicada en el área donde actualmente se encuentran las plantaciones de *E. globulus*. El problema de compactación del suelo se adjudicó exclusivamente al área experimental 1, ya que fue en ésta donde existió una disminución en el diámetro de copa con respecto al testigo. Sin embargo, resulta importante mencionar que las vías de saca fueron diseñadas de tal forma que provocaran el menor daño posible al suelo, por lo que es posible que se muestreara sobre las vías de saca. De esta forma, de nada sirve fertilizar, porque el mecanismo que posee el árbol para captar los nutrientes son las raíces y éstas se verían limitadas para hacerlo. Además, es necesario considerar que el largo efectivo de la raíz y, por lo tanto, el volumen de suelo del cual se pueden absorber nutrientes, es mayor en especies con raíces finas, condición que cumplen las especies del género *Eucalyptus* (Grove *et al.*, 1996). Sin embargo, por el problema de compactación existente, el desarrollo radicular pudo ser restringido.

Además, el área experimental 1 es colindante a una cortina de *Pinus radiata* ubicada en su límite norte, remanente de la plantación antes mencionada (realizada en el año 1975). De esta forma, estos árboles remanentes que poseen la altura suficiente

⁸ Leiva, F. 2004. Centro Experimental Forestal. Comunicación personal.

como para ejercer algún tipo de barrera contra la luz solar, pudiesen haber afectado la tasa fotosintética de los individuos de *E. globulus* establecidos en el año 2002, limitando en cierta forma el área foliar máxima posible de obtener de acuerdo a las condiciones existentes (edad, espaciamiento y tratamiento de fertilización aplicado). Esta situación es la que cobra mayor relevancia al explicar el motivo por el cual el diámetro de copa no se comportó como se esperaba, ya que en toda la plantación se habilitaron vías de saca, y sólo en el área experimental 1 se evidenció una disminución en dicha variable.

De acuerdo a esto, a pesar de haber aplicado una fertilización en el área experimental 1, ésta no tuvo efecto en el diámetro de copa que presentaron los individuos, lo que se confirma al analizar lo ocurrido en el área experimental 2, donde el diámetro de copa sí acusó efecto del tratamiento aplicado, a pesar de encontrarse en una zona bastante más expuesta a los agentes abióticos, por lo que las hipótesis anteriormente planteadas adquieren mayor validez. Además, la ganancia adquirida en el área experimental 1, en cuanto a la altura total, fue muy leve, por lo que se confirmaría aún más la presencia de factores que impidieron un mayor crecimiento, ya que el área experimental 2 acusó una ganancia importante en esta variable. Por último, los dos factores anteriormente señalados (problemas de compactación y el efecto provocado por los árboles remanentes de *Pinus radiata*), son los únicos factores que difieren con el resto de las áreas experimentales, ya que no se podría adjudicar al espaciamiento irregular, debido a que los árboles presentes en esta plantación se encontraron en una etapa anterior al cierre de copas, por lo que tenían el espacio suficiente como para desarrollarse. Además, tanto el tipo de maleza como la cobertura que presentó ésta, fue bastante homogénea en la totalidad de la plantación.

Los individuos en el área experimental 1 presentaron un adecuado nivel nutritivo en las hojas, donde el único elemento que no cumplió con dicha condición fue el potasio, encontrándose entre 0,5% y 0,6% en los testigos y áreas fertilizadas, respectivamente. Estos valores son bajos y de acuerdo a la "ley del mínimo"⁹ pueden inducir a bajar el nivel de producción, ya que ésta se determina por el factor de nivel mínimo, que en este caso es el potasio. De este modo, el contenido de potasio detectado en las hojas, pudo influir en el crecimiento de los individuos, como también en el daño presentado en las hojas¹⁰, donde fue precisamente el área fertilizada la que tuvo mayor daño. Además, la estratificación realizada (posición relativa de los bloques en la ladera) no fue un factor importante al evaluar el daño presentado en las hojas, ya que en términos prácticos, los tres bloques se comportaron de manera similar, presentando alrededor del 50% de la copa dañada.

La rectitud de los árboles expuestos al tratamiento, no acusó una mejoría significativa con respecto al testigo. En cuanto a la posición relativa de los bloques en la ladera,

⁹ Gerding, V. Universidad Austral de Chile. Valdivia (Apuntes de clases).

¹⁰ El potasio se relaciona con una mayor resistencia a heladas y enfermedades, en contenidos foliares sobre los 0,7%.

tampoco fue posible establecer una ventaja significativa entre ellos, aunque existieron leves diferencias, pero no significativas.

En la plantación del año 2001, la mayor parte de la población expuesta al fertilizante (66%) se ubicó en la categoría "recto", mientras que en el área experimental 1, éstos fueron sólo el 41%. Esta diferencia se puede explicar por la calidad de las plantas, por un efecto del suelo o por el menor contenido de potasio en las hojas de los árboles (en comparación a las áreas experimentales 2 y 3). Esto último provoca mal formaciones, que posteriormente se traducen a problemas de forma.

El contenido de elementos nutritivos en el suelo, 9 meses después de la fertilización, no mostró un cambio significativo, salvo el alto contenido de boro en el bloque 3 (fertilizado). El testigo presentó valores similares a las áreas fertilizadas de los bloques 1 y 2.

En el área experimental 2, la ganancia sobre la altura fue más destacada que en el área experimental 1, donde además se obtuvo una importante ganancia en el diámetro de copa (23,8%).

La ganancia adquirida se pudo asociar a árboles más vigorosos, como efecto de elementos nutritivos adicionales del fertilizante. Es así como los árboles fueron capaces de ocupar rápidamente el sitio, haciéndose evidente mediante el diámetro de copa que éstos presentaron (marcando una importante diferencia sobre el testigo).

De este modo, la variable que mejor refleja el tratamiento aplicado es el diámetro de copa, ya que al ser un índice de ocupación, indica el buen estado nutritivo que presentan los árboles expuestos a las fertilizaciones, aumentando su copa y por ende su tasa fotosintética, lo que incrementa considerablemente su crecimiento.

La rectitud no experimentó mejorías por el tratamiento aplicado, ya que en ambos casos la condición de los árboles fue similar.

A pesar de encontrarse los árboles bien nutridos, éstos presentaron daños similares a las áreas sin fertilizar. Es importante mencionar que en primavera es cuando comienzan a emerger los brotes nuevos, donde cualquier tipo de agente (biótico y/o abiótico) puede causar un mayor daño en las hojas, por las características de los brotes (muy poco coriáceos). Es por este motivo, que aunque se fertilice con los elementos que le confieren a la planta un mayor vigor, esto no será un impedimento para que los árboles fertilizados sean dañados, aunque dicho efecto no signifique siempre una disminución en el crecimiento (Atiwill y Adams, 1996).

De acuerdo al muestreo del suelo realizado, el fertilizante no se detectó en el suelo, después de 9 meses de haberlo aplicado. La baja disponibilidad de fósforo y boro en el suelo se mantuvo en ambos casos y corresponde a las variaciones naturales que posee el suelo.

El muestreo de suelo debió ser dirigido, es decir, se debió haber muestreado el suelo superficial sobre la banda donde se aplicó el fertilizante, para poder detectar de una manera más exacta el efecto residual del fertilizante. En la plantación del año 2001 en cambio, donde el fertilizante se dispersó al voleo, el método de muestreo fue el indicado.

El área experimental 3 fue la que mejor reflejó el efecto del fertilizante, seguida por el área experimental 2 y por último, el área experimental 1. La ganancia en altura obtenida en el área experimental 3 fue la más destacada con 27,5%, seguida por el área experimental 2, donde la altura fue 15% mayor al testigo. Además, el diámetro de copa también reaccionó favorablemente, tanto por efecto del fertilizante, como también por la ubicación en el relieve en que se situó, logrando una ganancia de 28,6% sobre los testigos.

El mayor crecimiento del área experimental 3 en comparación al área experimental 2, no es una situación sorprendente, ya que el lugar en donde se sitúa esta área (forma y contorno cóncavo en la ladera), favorece el crecimiento de los árboles por la convergencia y permanencia de mayor humedad en el suelo, condición que en el resto de las áreas experimentales no se observó. El efecto de la ubicación del relieve significó adicionar 10,8% en altura y 3,8% en diámetro de copa, sobre el efecto del fertilizante (área experimental 2). Este fenómeno también se presentó en el bloque 1, de la plantación del año 2001, donde el crecimiento de los árboles en general fue mayor por efecto de la condición cóncava del relieve.

Ese mayor crecimiento se debe a que, como cualquier especie de rápido crecimiento, *E. globulus* utiliza grandes volúmenes de agua (si está disponible) para producir en poco tiempo una importante cantidad de biomasa (Poynton, 1979). Es así como un adecuado abastecimiento de agua puede ser tan importante como aplicar fertilizantes en suelos deficientes (Gurovich *et al.*, 1997).

Sin embargo, entre las áreas experimentales 2 y 3 (plantación del año 2002), no se evidenciaron diferencias en el contenido de elementos nutritivos en las hojas. El único elemento que presentó diferencia en el área experimental 3, fue el manganeso, donde no se superaron los 1.500 mg/kg, por parte de las hojas recientes y las más antiguas (condición que también ocurrió en la plantación del año 2002, bloque 2), favoreciendo aún más el crecimiento de los árboles porque sobre los 1.500 - 2.000 mg/kg el manganeso puede tener efectos tóxicos para los árboles.¹¹

La forma cóncava de la ladera y el contorno de ésta, no ejerció ningún efecto significativo sobre la calidad de los árboles (rectitud y daño), pero sí los favoreció en su crecimiento.

Es importante mencionar que la totalidad de la plantación presentó daño en las hojas, abarcando en la mayoría de los casos más de un 50% de la copa. Sin

¹¹ Schlatter, J. 2004. Universidad Austral de Chile. Valdivia (Comunicación personal basada en diagnósticos efectuados en el país).

embargo, el daño cuantificado no es posible adjudicarlo completamente a heladas, deficiencias, toxicidad, u otros, ya que este fenómeno es muy común observar en la zona, en *E. globulus*. Los síntomas observados como daños se pueden confundir con deficiencias de potasio, quemaduras de la lámina foliar provocadas por heladas o con la muerte natural de algunas hojas de la copa baja, debido a una de las estrategias desarrolladas por la especie para utilizar de manera eficiente los nutrientes. La especie traslada elementos nutritivos desde la copa baja mediante ciclos bioquímicos, hacia zonas de crecimiento más activas (Grove *et al.*, 1996).

Por este motivo, el daño visual detectado no siempre significa alguna anomalía, sino que puede ser un indicador para decidir nuevamente una fertilización que tenga el objetivo de cubrir la demanda existente, en la siguiente etapa de desarrollo de la plantación. Estudios realizados en la VIII Región con *E. globulus*, indican que se obtienen respuestas más destacadas y prolongadas en el tiempo con más de una fertilización. Por este motivo, es recomendable fertilizar en las etapas de mayor demanda (figura 1), ya que muchas veces el suelo y el reciclaje por medio de hojarasca, no son capaces de suplir por completo la alta demanda que posee la especie (Calderón, 1991).

Resumiendo, se observó que la fertilización completa aplicada en ambas plantaciones tuvo efecto sobre las variables de crecimiento. Este efecto fue más destacado en la plantación del año 2001 (3 años al 2004), donde el fertilizante también influyó positivamente sobre la rectitud de los individuos. Ambas plantaciones lograron buenas condiciones nutricionales por efecto de la fertilización, en comparación a los testigos. Los buenos resultados en las variables de crecimiento (altura total, DAP, largo de copa y diámetro de copa) son en general el reflejo de un sitio favorable para la especie. Sin embargo, el incremento obtenido por efecto de la fertilización y el mayor largo de copa logrados en la plantación del año 2001 demuestran que el mejoramiento nutricional está apuntando al factor de restricción correcto, para el sitio y la etapa de desarrollo de la especie.

Además de obtener respuestas más destacadas al aplicar la fertilización al segundo año de establecer la plantación debido a la mayor dimensión de la demanda después del segundo año (figura 1), es necesario mencionar que las superficies en donde se extienden las plantaciones de los años 2001 y 2002 no son homogéneas, ya que el terreno tiene una topografía ondulada a quebrada, causando variación en las condiciones de sitio, lo que lleva a la especie a reaccionar de distinta forma al fertilizante aplicado, a pesar de administrar la misma dosis y mezcla de fertilizante, según correspondió en cada plantación (730 kg/ha para la plantación del año 2002 y 1.000 kg/ha para la plantación del año 2001).

6. CONCLUSIONES

- La fertilización aplicada en la plantación del año 2001 tuvo efectos significativos en las variables altura, largo de copa y diámetro, en una parte de ella, en sectores altos de ladera convexa, con un suelo menos fértil. Sin embargo, en sectores de ladera cóncava, con suelos más fértiles, el buen crecimiento presentado por el testigo, enmascaró los efectos de la fertilización, por lo que las diferencias entre tratamientos, fertilizado y sin fertilizar, no fueron significativas.
- La variable que mejor reflejó la aplicación del fertilizante en la plantación del año 2001, fue el largo de copa, porque al estar bien nutridos los árboles, estos no tienen la necesidad de extraer toda la reserva de nutrientes de sus hojas antiguas antes de tiempo, permitiendo así mantener una copa viva más longeva.
- Para la plantación del año 2002, la respuesta a la fertilización fue muy variable. En una loma baja, la ubicación en ladera media favoreció un mayor crecimiento en comparación a posiciones de ladera alta y alta a media. Sin embargo el diámetro de copa no fue siempre favorecido. En una posición más elevada de cumbre de loma, la fertilización presentó crecimientos positivos con respecto al testigo en las variables altura y diámetro de copa. Por último, en una ladera cóncava al pie de la cumbre anterior, se determinó un efecto favorable adicional en el crecimiento de los individuos para la altura y el largo de copa, en comparación con la plantación fertilizada en posición de cumbre de loma. Ese mayor crecimiento presentado en la zona cóncava, se debió principalmente a la convergencia y permanencia de mayor humedad, confirmando que *E. globulus* responde muy bien con un adecuado abastecimiento de agua.
- La falta de respuesta del diámetro de copa al tratamiento aplicado en la ladera en la loma baja, se debió a factores externos a la plantación, condición que sólo se presentó en ese lugar. Por este motivo, es fundamental mantener todos los factores medioambientales lo más constantes posibles en un ensayo, para así poder evaluar de forma certera cualquier tipo de tratamiento.
- El estado nutritivo foliar de las plantaciones del año 2001 y 2002, mejoró claramente por efecto del fertilizante. También las hojas más antiguas presentan un mayor nivel en general, pero más bajos que las hojas recientes. Esto se debe a que los elementos nutritivos migran hacia zonas de crecimiento más activas (mediante ciclos bioquímicos internos en el árbol).
- En el suelo, a 9 meses de la aplicación, aún se detecta restos del fertilizante (fósforo y boro), en ambas plantaciones, aún cuando esto no fue tan evidente.
- La calidad en la plantación del año 2001, en general es aceptable, ya que los individuos mejoraron su forma y el daño presentado en las hojas no fue

importante, siendo una clara respuesta a la fertilización y el oportuno momento de aplicarla.

- En la plantación del año 2002 el fertilizante no tuvo efecto en la calidad de los individuos, y no mostró ninguna ventaja de una posición topográfica con respecto a otra. Las hojas juveniles son más susceptibles a sufrir daños y por ello la proporción de hoja afectada fue mayor en la plantación más joven.
- La mejor respuesta a la fertilización a los 2 años, indica que para este suelo y sistema de establecimiento, con fertilización al plantar, esta oportunidad es la más conveniente para cubrir el abastecimiento nutritivo que en esta etapa es crítico.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, H.L y H.W, DUZAN. 1982. Nutricional management of Loblolly pine stands; A status report of the North Carolina State Forest Fertilization Cooperative. En: IUFRO Symposium on Forest site and continuous productivity, Gen. Tech. Rep. PNW- 163. U.S Dpt. Of Agricultura, Forest service, U.S.A. pp. 379 - 384
- ATWILL, P y M. ADAMS. 1996. Nutrition of Eucalyptus. Australia, CSIRO publication. 440p.
- BARRIGA, L. 1987. Evaluación de una fertilización en *Pinus radiata* D. DON, al tercer año de su establecimiento, en Valdivia. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 118p.
- BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal. Prácticas de manejo. México, Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores. 340p.
- BODEN, A. 2003. Tasmanian blue gum; *Eucalyptus globulus*. **INTERNET:** <http://www.anbg.gov.au/emblems/tas.emblem.html>. **Consultado el:** 31 de marzo de 2004.
- BOWERS, J. 2000. *Eucalyptus globulus*; History and habitat. **INTERNET:** <http://users.netaccess.co.nz/ambleside/eucglob.html>. **Consultado el:** 31 de marzo de 2004.
- CALDERON, S. 1991. Respuesta de *Eucalyptus globulus* a fertilizaciones de apoyo en la VIII Región. Ciencia e Investigación Forestal. 5(1): 5 - 21
- CAMPOS, G. 1987. Efecto de una fertilización en el establecimiento de *Pinus radiata* D. DON. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 80p.
- Centro De Información De Recursos Naturales (CIREN). 1999. Estudio agrológico de la Provincia de Valdivia, X Región; Descripciones de suelo, material y símbolos. Centro de Investigación de Recursos Naturales. Corporación de Fomento a la Producción, Ministerio de economía. Santiago (Chile). 196p.
- COLBERT, S.R., E.J. JOKELA y D.G. NEARY. 1990. Effects of annual fertilization and sustained weed control on dry matter partitioning, leaf urea, and growth efficiency of juvenile Loblolly and Flash pine. For. Sci. 36: 995 - 1014 (Original no consultado, citado por: LEIVA, F. 2000. Efectos de una roca fosfórica y una cal como tratamientos base en una plantación de *Eucalyptus nitens* (Maiden) en un suelo rojo arcilloso de la comuna de Fresia, X Región. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 80 p).

- CROMER, R.N. 1984. Site amelioration for fase growing plantations. *In:* Proceedings IUFRO symposium in site and productivity of fase growing plantation. Pretoria and Pietermaritzburg (South Africa). pp. 669-678 (Original no consultado, citado por: LEIVA, F. 2000. Efectos de una roca fosfórica y una cal como tratamientos base en una plantación de *Eucalyptus nitens* (Maiden) en un suelo rojo arcilloso de la comuna de Fresia, X Región. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 80 p).
- DOMINGUEZ, A. 1997. Tratado de fertilización. Grupo mundi-Prensa. Madrid, España. 613p.
- ELDRIDGE, K., J. DAVIDSON., C. HARWOOD y G. VAN WYK. 1993. Eucalypt domestication and breeding. Estados Unidos, Oxford University Press Inc. 277p.
- FUENZALIDA, H. 1971. Climatología de Chile. Publicación interna de la sección de meteorología. Departamento de geofísica y geodesia. Universidad de Chile. Santiago (Chile). 73p.
- GARCIA, E. *et al* . 2000. Establecimiento de plantaciones forestales: *Eucalyptus globulus*. INTERNET : [http://www. Gestiónforestal.cl](http://www.Gestiónforestal.cl). Consultado el: 31 de Marzo de 2004.
- GERDING, V y 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.
- GERDING, V., J. SCHLATTER. 1988. Fertilización para el establecimiento de *Pinus radiata* D. DON en Valdivia; Evaluación al quinto año. En: Informe convenio N° 146. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 66p.
- GROVE, T., B. THOMSON y N. MALAJCZUK. 1996. Nutrition physiology of Eucalyptus: Uptake, distribution and utilization. *In:* ATWILL, P., M. ADAMS. Nutrition of Eucalyptus. Australia, CSIRO publication. pp. 77 - 108
- GUROVICH, L., J. HOLMBERG., A. LYON. 1997. Crecimiento y uso de agua de *Eucalyptus globulus* bajo distintos regímenes de riego. C. I.A. 23(2): 61 -69
- HAVLIN, J., J. BEATON., S. TISDALE., W. NELSON. 1999. Soil Fertility and Fertilizers; An introduction to nutrient management. 6 ed. Estados Unidos, Prentice-Hall Inc. 499p.

- HERBERT, M.A. 1996. Fertilizers and Eucalypt plantations in South Africa. **In:** ATWILL, P., M. ADAMS. Nutrition of Eucalyptus. Australia, CSIRO publication. **pp.** 303 - 325
- HUBER, A. 1970. Diez años de observaciones climatológicas en la estación Teja-Valdivia (Chile) 1960-1969. Documento de divulgación restringido, Fac. de Ciencias, Universidad Austral de Chile. Valdivia. 60p.
- LEIVA, F. 2000. Efectos de una roca fosfórica y una cal como tratamientos base en una plantación de *Eucalyptus nitens* (Maiden) en un suelo rojo arcilloso de la comuna de Fresia, X Región. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 80p.
- MAF. 2002. Special purpose timber species. **INTERNET:** <http://www.maf.govt.nz/forestry/publications/specialpurposefinal.pdf>. **Consultado el:** 31 de marzo de 2004.
- MENGEL, D y E. KIRKBY. 1982. Principles of plant nutrition. 3 ed. International Potash Institute Bern, Switzerland. 655p.
- POYNTON, R. 1979. Tree planting in Southern Africa; The Eucalyptus. Report to the Southern African Regional Commission for the Conservation and Utilization of the Soil. Department of Forestry, Republic of South Africa. v. 2, 803p.
- PRADO, D y S. BARROS. 1989. Eucalyptus; Principios de Silvicultura y manejo. Instituto Forestal. Santiago (Chile), Impresos NOVA Ltda. 199p.
- RODRIGUEZ, J. 1993. La fertilización de los cultivos; Un método racional. Colección en agricultura, Fac. de Agronomía, Pontificie Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 291p.
- SALAZAR, R y R. VALENZUELA. 1977. Elaboración de un mapa de suelos para un Predio forestal. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 89p.
- SCHALCHLI, G. 1987. Evaluación preliminar de una fertilización en *Pinus radiata* D. DON en los arenales, provincia de Bío-Bío. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 136p.
- SCHLATTER, J.E. 1997. Demanda nutritiva. **In:** curso corto de postítulo sobre fertilización forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 7p.
- SCHLATTER, J.E y V. GERDING.; E. BRANDT. 2001. Silvicultura. XXII. **In:** SOQUIMICH. Agenda del salitre. Santiago (Chile). **pp.** 1199-1228

- SCHLATTER, J.E.; R. GREZ y V. GERDING. 2003. Manual de reconocimiento de suelos. 3a ed. Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 114p.
- SISA, J. 2002. Eucalipto. **INTERNET**: <http://www.ecoaldeia.com>. **Consultado el:** 31 de marzo de 2004.
- SOKAL, R y F. ROHLF. 1979. Biometría; Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Madrid, Editorial H. Blume. 832p.
- STAUB, J. 2000. Evaluación de una fertilización basada en fósforo al inicio de una plantación de *Eucalyptus nitens* (Deane y Maiden) Maiden en un suelo rojo arcilloso de la X Región. Tesis Ing. For. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 93p.
- TAUCHER, E. 1997. Bioestadística. 1ª ed. Santiago (Chile), Editorial Universitaria. 310p.
- WILL, G. 1985. Nutrient deficiencies and fertiliser use in New Zeland exotic forests. Bulletin N° 97, Forest research Institute, Rotorua, Nueva Zelandia. 53p
- ZOBEL, B y J. TALBERT. 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Trad. por Manuel Guzmán. México, Editorial Limusa. 545p.

ANEXOS

Anexo 1

Abstract and keywords

ABSTRACT

This study evaluated the effect of a complete fertilization on the development of *Eucalyptus globulus*, 2 and 3 years old, in Valdivia, X Región, Chile.

Eucalyptus globulus has a high economic interest for Chile at the value of his rapid growth and by the physical-mechanical properties that his wood have, placing it in the group of species better qualified to obtain pulpwood in short rotations. But, in the Xth region, this species shows premature defoliations of the low crown, clorosis and necrosis of the leaves. The present study turns out to be relevant, since the above mentioned behaviour answers necessarily to nutritional unbalances.

The effect of the applied fertilization was evaluated by growth variables, as height, diameter at breast height (dbh) and the length of the crown (vigour), for the stand of 3 years old (2 years on having fertilized) and for the stand of 2 years old (1 year on having fertilized), height and the crown diameter were choosed, besides the survival, foliar nutrition status and soil characteristics.

Between 2-3 years old, the trees respond well to the mixture of fertilizer applied, but the differences to a control were not so evident in the whole stand. Therefore, the stand was divided in two blocks, since better site conditions in one of the blocks (block 1) masked the effect (fertilization). But, block 2 answered well to the treatment, presenting a higher growth: 20,5 % in height, 39,69 % in crown length and 18,13 % in diameter. Survival was over 88% in this stand.

It seems that the treatment (fertilization) contribute to improve the tree quality, expressed as steam straightness and foliar damage. The damage by wind and/or frosts did not show any relation with the fertilizations

Moreover, the nutritional level of the leaves was higher in the fertilized plots, and residues of the fertilizer could be detected in the soil.

The 1-2 years old stand, react with s minor effect. This stand was divided in 3 experimental areas to avoid the local relief effect and to emphasize the treatment.

In a low slope the area was stratified: high, high-half and half slope position. The half position was the most favorable for the height of the trees (growth over control of 6,7 %, 4,5 % and 2,4 %, for the half, half-high and high slope position, respectively). The crown diameter didn't shows any effect.

Independent of slope position, the foliar nutritional level was in general improved by fertilization. Also for the tree quality there were not established any differences for the slope position or for the applied treatment. In the whole experimental, more than 96% of tree survival was generalized.

In a second experimental area, the trees reacted well to the treatment, presenting a higher growth of 15 % and 23,8 % for the height and the crown diameter, respectively.

The nutritional status of the leaves was improved by the fertilizers, but the treatment did not have effect on the quality of the trees.

A third area, in a concave zone of the hillside, showed a favorable effect by increasing the height in 10,75 % and the crown diameter in 6,07 %, taking the second experimental area as the comparative base (fertilized zone).

In spite that, the concave zone was located in a privileged place, by means of soil water, there were no differences in the foliar nutritional status. The same thing happened with the quality of the trees.

In a bulk perspective, the fertilization improved the nutritional status of the trees and in the majority of the sites also the tree growth, in special the crown length. This effect was higher in the 2-3 years old stand than in the younger, as a consequence of the important nutrient demand at this age.

Keywords: *Eucalyptus globulus*, fertilization, nutrition, growth.

Anexo 2

Ubicación del área de estudio, plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 2 y 3 años de edad, Predio Los Pinos

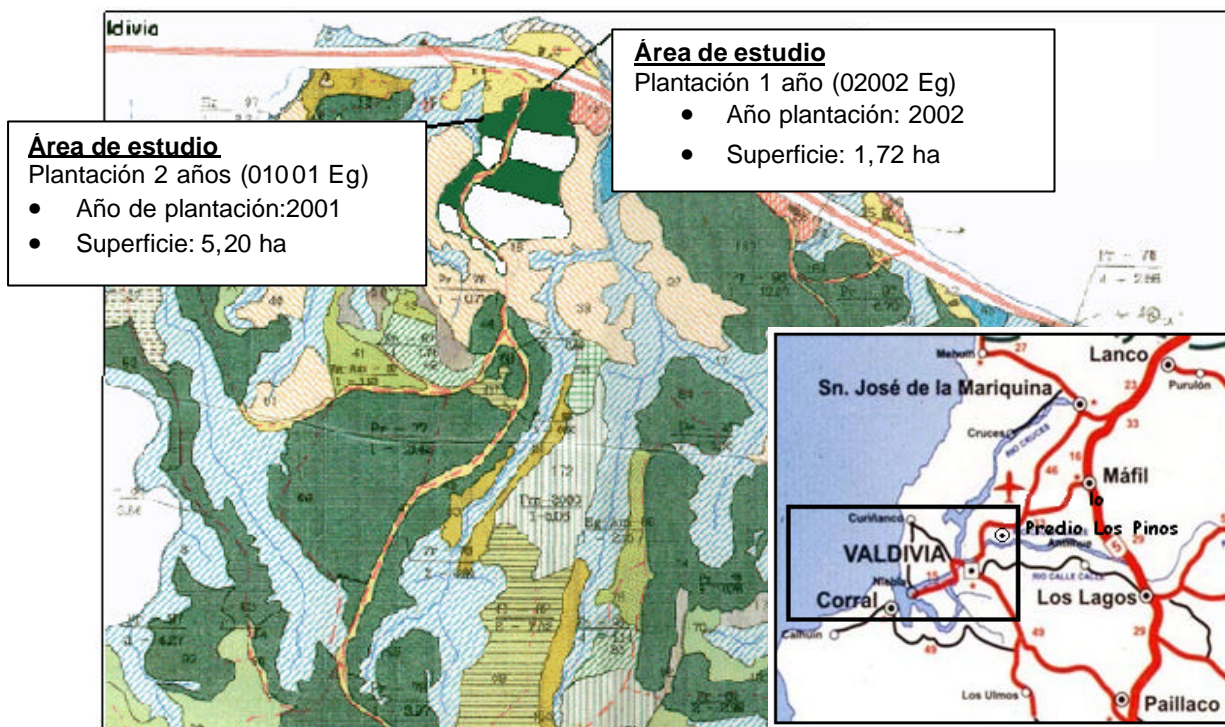


Figura 1 Ubicación de las plantaciones experimentales

Anexo 3

Formulario captura de datos en terreno para *Eucalyptus globulus* de 2 y 3 años de edad, Predio Los Pinos

Eucalyptus globulus
(Plantación del año 2001, 3 años al 2004)

Parcela:

Superficie: 125 m² (r= 6,3 m)

Tratamiento:

NARB	DAP (cm)	H (m)	L. copa (m)	Bifurcación	Rectitud	Daño	Observaciones
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Eucalyptus globulus
(Plantación del año 2002, 2 años al 2004)

Parcela:

Superficie: 125 m² (r= 6,3 m)

Tratamiento:

NARB	H (m)	D. copa (m)	Bifurcación	Rectitud	Daño	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Anexo 4

Categorización para la rectitud

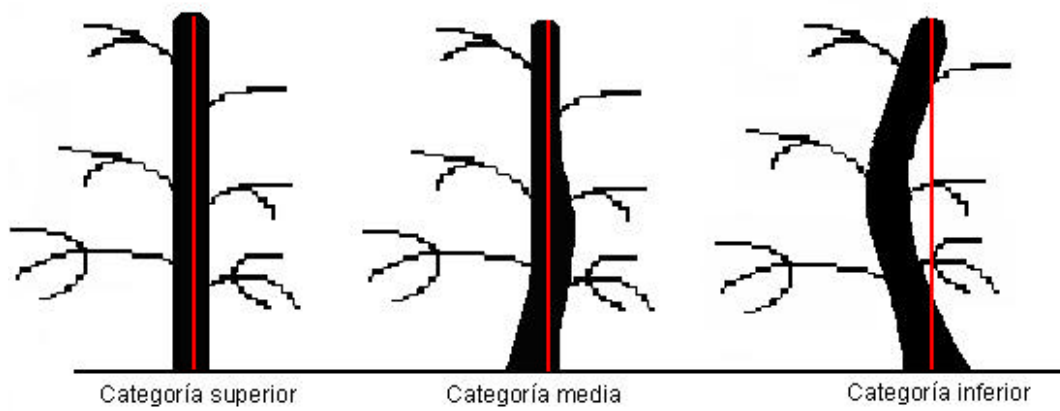


Figura 1 Categorización para la evaluación de la rectitud en plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 2 y 3 años de edad, predio Los Pinos.

Anexo 5

Estado nutritivo del follaje en *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, predio Los Pinos.

Cuadro 1. Estado nutritivo del follaje, plantación de *Eucalyptus globulus*, de 3 años, predio Los Pinos.

Bloque	Tratamiento	Identificación	Elementos mayores (%)						Elementos menores (ppm)				
			N	P	N/P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
1	Fertilizado	Parcelas 1-2/HRF	2,14	0,12	17,8	0,65	0,75	0,16	51	1078	9,0	14	21
		Parcelas 1-2/HRA	1,92	0,11	17,5	0,68	0,88	0,16	56	1254	8,8	14	25
		Parcelas 3-4/HRF	1,96	0,11	17,8	0,69	0,65	0,14	39	901	8,3	13	28
		Parcelas 3-4/HRA	1,78	0,11	16,2	0,77	0,89	0,16	53	1170	8,5	14	37
	Sin fertilizar	Parcelas 1-2/HRF	1,84	0,10	18,4	0,58	0,81	0,2	39	1484	10,1	14	14
		Parcelas 1-2/HRA	1,66	0,10	16,6	0,61	1,00	0,19	44	1608	11,1	14	16
		Parcelas 3-4/HRF	1,78	0,09	19,8	0,64	0,78	0,18	37	1444	11,1	13	15
		Parcelas 3-4/HRA	1,70	0,09	18,9	0,69	1,13	0,22	41	1746	13,1	15	17
2	Fertilizado	Parcelas 1-2/HRF	1,96	0,11	17,8	0,75	0,82	0,15	42	997	9,4	13	29
		Parcelas 1-2/HRA	1,81	0,11	16,5	0,73	1,18	0,17	51	1484	10,1	13	38
		Parcelas 3-4/HRF	1,94	0,13	14,9	0,40	0,90	0,17	40	1355	10,9	16	32
		Parcelas 3-4/HRA	1,88	0,13	14,5	0,66	1,15	0,19	46	1943	9,2	13	45
	Sin fertilizar	Parcelas 1-2/HRF	2,10	0,11	19,1	0,62	0,80	0,19	39	1188	11,7	19	15
		Parcelas 1-2/HRA	1,76	0,09	19,6	0,60	1,08	0,21	46	1396	11,5	14	17
		Parcelas 3-4/HRF	1,81	0,09	20,1	0,66	0,87	0,17	34	1307	10,8	14	15
		Parcelas 3-4/HRA	1,70	0,10	17,0	0,75	1,10	0,21	40	1551	11,6	14	16

HRF = Hojas recientes bien formadas

HRA = Hojas recientes más antiguas

Anexo 6

Determinación químico - nutritiva en el suelo de *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, Predio Los Pinos

Cuadro 1 Oferta del suelo, en *Eucalyptus globulus*, plantación de 3 años de edad (bloques 1 y 2), predio Los Pinos

Bloque	Tratamiento	Identificación	pH H2O	pH KCL	Nt%	P Olsen	K (ppm)	B
1	Fertilizado (F1)	Parcelas 1-2	4,92	4,12	0,42	3,1	313	1,2
		Parcelas 3-4	4,95	4,48	0,41	14	155	1,4
	Sin fertilizar (O1)	Parcelas 1-2	5,25	4,57	0,54	3,1	324	0,6
		Parcelas 3-4	5,01	4,16	0,49	2,5	152	0,7
2	Fertilizado (F2)	Parcelas 1-2	5,21	4,42	0,43	8,5	253	1,4
		Parcelas 3-4	4,85	4,22	0,25	17,5	227	6,1
	Sin fertilizar (O2)	Parcelas 1-2	5,14	4,25	0,32	0,6	175	0,9
		Parcelas 3-4	5,4	4,48	0,3	1,1	264	0,4

Anexo 7

Calidad en *Eucalyptus globulus* de 3 años de edad, predio Los Pinos.

- **Calidad en el bloque 1**

Cuadro 1. Rectitud, plantación de 3 años de edad

		Rectitud			Total	
		Recto	Curva leve	Curva fuerte		
Tratamiento	Sin fertilizante	Recuento	42	28	6	76
		% de Tratamiento	55,3%	36,8%	7,9%	100,0%
		% de Rectitud	46,7%	52,8%	85,7%	50,7%
		% del total	28,0%	18,7%	4,0%	50,7%
	Fertilizado	Recuento	48	25	1	74
		% de Tratamiento	64,9%	33,8%	1,4%	100,0%
		% de Rectitud	53,3%	47,2%	14,3%	49,3%
		% del total	32,0%	16,7%	0,7%	49,3%
Total		Recuento	90	53	7	150
		% de Tratamiento	60,0%	35,3%	4,7%	100,0%
		% de Rectitud	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% del total	60,0%	35,3%	4,7%	100,0%

Cuadro 2. Prueba de chi-cuadrado para la variable rectitud

	Valor	gl	Significancia*
Chi-cuadrado de Pearson	4,115	2	0,128
Razón de verosimilitud	4,506	2	0,105
Asociación lineal por lineal	2,851	1	0,091
N de casos válidos	150		

* Significancia asintótica (bilateral)

Cuadro 3. Daño en la plantación de 3 años de edad

		Daño			Total	
		Sin/leve	Leve/moderado	Fuerte		
Tratamiento	Sin fertilizante	Recuento	71	3	2	76
		% de Tratamiento	93,4%	3,9%	2,6%	100,0%
		% de Daño	49,7%	60,0%	100,0%	50,7%
		% del total	47,3%	2,0%	1,3%	50,7%
	Fertilizado	Recuento	72	2	0	74
		% de Tratamiento	97,3%	2,7%	0,0%	100,0%
		% de Daño	50,3%	40,0%	0,0%	49,3%
		% del total	48,0%	1,3%	0,0%	49,3%
Total		Recuento	143	5	2	150
		% de Tratamiento	95,3%	3,3%	1,3%	100,0%
		% de Daño	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% del total	95,3%	3,3%	1,3%	100,0%

Cuadro 4. Prueba de chi-cuadrado para la variable daño

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson*</i>	2,181	2	0,336
<i>Razón de verosimilitud</i>	2,954	2	0,228
<i>Asociación lineal por lineal</i>	1,899	1	0,168
<i>N de casos válidos</i>	150		

* Significancia asintótica (bilateral)

- **Calidad en el bloque 2**

Cuadro 5. Rectitud, plantación de 3 años de edad

		Rectitud			Total	
		Recto	Curva leve	Curva fuerte		
Tratamiento	Sin fertilizante	<i>Recuento</i>	37	40	3	80
		<i>% de Tratamiento</i>	46,3%	50,0%	3,8%	100,0%
		<i>% de Rectitud</i>	37,8%	59,7%	60,0%	47,1%
		<i>% del total</i>	21,8%	23,5%	1,8%	47,1%
	Fertilizado	<i>Recuento</i>	61	27	2	90
		<i>% de Tratamiento</i>	67,8%	30,0%	2,2%	100,0%
		<i>% de Rectitud</i>	62,2%	40,3%	40,0%	52,9%
		<i>% del total</i>	35,9%	15,9%	1,2%	52,9%
Total	<i>Recuento</i>	98	67	5	170	
	<i>% de Tratamiento</i>	57,6%	39,4%	2,9%	100,0%	
	<i>% de Rectitud</i>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
	<i>% del total</i>	57,6%	39,4%	2,9%	100,0%	

Cuadro 6. Prueba de chi-cuadrado para la variable rectitud

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson</i>	8,040	2	0,018
<i>Razón de verosimilitud</i>	8,089	2	0,018
<i>Asociación lineal por lineal</i>	7,299	1	0,007
<i>N de casos válidos</i>	170		

* Significancia asintótica (bilateral)

Cuadro 7. Daño, plantación de 3 años de edad

			Daño			Total
			Sin/leve	Leve/moderado	Fuerte	
Tratamiento	Sin fertilizante	Recuento	72	3	5	80
		% de Tratamiento	90,0%	3,8%	6,3%	100,0%
		% de Daño	45,6%	50,0%	83,3%	47,1%
		% del total	42,4%	1,8%	2,9%	47,1%
	Fertilizado	Recuento	86	3	1	90
		% de Tratamiento	95,6%	3,3%	1,1%	100,0%
		% de Daño	54,4%	50,0%	16,7%	52,9%
		% del total	50,6%	1,8%	0,6%	52,9%
Total		Recuento	158	6	6	170
		% de Tratamiento	92,9%	3,5%	3,5%	100,0%
		% de Daño	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% del total	92,9%	3,5%	3,5%	100,0%

Cuadro 8. Prueba de chi-cuadrado para la variable daño

	Valor	gl	Significancia*
Chi-cuadrado de Pearson	3,330	2	0,189
Razón de verosimilitud	3,565	2	0,168
Asociación lineal por lineal	2,914	1	0,088
N de casos válidos	170		

* Significancia asintótica (bilateral)

Anexo 8

Estado nutritivo del follaje de *Eucalyptus globulus*, 2 años de edad, predio Los Pinos.

Cuadro 1 Estado nutritivo foliar, plantación de 2 años, predio Los Pinos.

Área experimental	Tratamiento	Identificación	Elementos mayores (%)						Elementos menores (ppm)				
			N	P	NP	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
1	Fertilizado	Parcelas 1-2/HRF	1,99	0,12	16,6	0,60	1,04	0,19	43	2014	9,70	15	42
		Parcelas 1-2/HRA	1,89	0,11	17,2	0,57	1,14	0,22	45	2051	8,70	13	43
		Parcelas 3-4/HRF	1,97	0,11	17,9	0,61	1,05	0,21	60	1996	10,20	13	43
		Parcelas 3-4/HRA	1,97	0,11	17,9	0,58	0,95	0,20	49	2051	8,90	13	41
		Parcelas 5-6/HRF	2,14	0,12	17,8	0,56	0,98	0,20	87	1926	11,30	15	27
		Parcelas 5-6/HRA	1,96	0,12	16,3	0,57	1,10	0,22	79	2032	12,40	14	30
	Sin fertilizar	Parcelas 5-6/HRF	1,74	0,09	19,3	0,51	1,14	0,25	43	2247	12,50	16	14
		Parcelas 5-6/HRA	1,70	0,09	18,9	0,52	1,20	0,26	48	2032	12,40	16	19
		Parcelas 4-3/HRF	1,74	0,10	17,4	0,56	0,90	0,19	44	2030	11,00	14	15
		Parcelas 4-3/HRA	1,87	0,09	20,8	0,58	0,99	0,19	94	2067	12,40	12	20
		Parcelas 1-2/HRF	1,78	0,09	19,8	0,55	0,87	0,19	47	1855	10,20	14	18
		Parcelas 1-2/HRA	1,66	0,09	18,4	0,52	0,97	0,21	54	1837	11,10	20	17
2	Fertilizado	Parcelas 1-2/HRF	2,09	0,12	17,4	0,62	0,76	0,17	42	1680	8,70	16	36
		Parcelas 1-2/HRA	2,10	0,12	17,5	0,62	0,91	0,19	56	1942	9,40	17	45
		Parcelas 3-4/HRF	2,01	0,13	15,5	0,69	0,78	0,20	41	1962	12,30	17	36
		Parcelas 3-4/HRA	1,98	0,12	16,5	0,63	0,91	0,21	54	2142	13,00	16	48
	Sin fertilizar	Parcelas 1-2/HRF	1,83	0,10	18,3	0,59	1,03	0,21	41	2350	14,70	15	14
		Parcelas 1-2/HRA	1,71	0,09	19,0	0,57	1,21	0,24	45	2120	15,70	15	18
		Parcelas 3-4/HRF	1,76	0,10	17,6	0,64	0,90	0,21	38	1728	12,20	14	19
		Parcelas 3-4/HRA	1,66	0,09	18,4	0,63	1,01	0,22	43	1587	11,90	17	21
3	Fertilizado	Parcelas 1-2/HRF	2,01	0,12	16,8	0,70	0,84	0,17	49	1449	8,80	15	43
		Parcelas 1-2/HRA	1,80	0,11	16,4	0,62	0,88	0,17	57	1325	9,00	15	49

HRF = Hojas recientes bien formadas

HRA = Hojas recientes más antiguas

Anexo 9

Determinación químico - nutritiva en el suelo de *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, predio Los Pinos

Cuadro 1 Oferta del suelo en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, predio Los Pinos.

Área experimental	Tratamiento	Identificación	pH H ² O	pH KCl	Nt %	P Olsen	K (mg/kg)	B
1	Fertilizado (F1)	Parcelas 1-2	5,05	4,21	0,26	1,1	74	0,5
		Parcelas 3-4	5,07	4,17	0,22	26,4	114	0,5
		Parcelas 5-6	5,24	4,21	0,26	0,9	65	1,1
1	Sin Fertilizar (O2)	Parcelas 5-6	5,16	4,24	0,26	0,6	100	0,3
		Parcelas 4-3	5,06	4,11	0,31	1,0	72	0,5
		Parcelas 1-2	5,18	4,22	0,24	1,0	65	0,5
2	Fertilizado (F2)	Parcelas 1-2	4,99	4,23	0,39	1,5	169	0,5
		Parcelas 3-4	5,11	4,24	0,27	0,9	126	0,3
2	Sin Fertilizar (O2)	Parcelas 1-2	5,13	4,26	0,28	1,1	220	0,5
		Parcelas 3-4	5,17	4,23	0,32	1,8	226	0,8
3	Fertilizado (F3)	Parcelas 1-2	5,06	4,24	0,3	0,9	181	0,9

Anexo 10

Calidad en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 1, predio Los Pinos.

- **Evaluación del tratamiento con respecto a las variables de calidad**

Cuadro 1. Rectitud, plantación de 2 años de edad, área experimental 1.

Tratamiento	Sin Fertilización		Rectitud			Total
			recto	curvatura leve	curvatura fuerte	
		Recuento	71	47	2	120
		% de Tratamiento	59,2%	39,2%	1,7%	100,0%
		% de Rectitud	59,2%	44,3%	14,3%	50,0%
		% del total	29,6%	19,6%	,8%	50,0%
	Fertilizado	Recuento	49	59	12	120
		% de Tratamiento	40,8%	49,2%	10,0%	100,0%
		% de Rectitud	40,8%	55,7%	85,7%	50,0%
		% del total	20,4%	24,6%	5,0%	50,0%
	Total	Recuento	120	106	14	240
		% de Tratamiento	50,0%	44,2%	5,8%	100,0%
		% de Rectitud	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% del total	50,0%	44,2%	5,8%	100,0%

Cuadro 2. Prueba de chi-cuadrado para la variable rectitud

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson</i>	12,535	2	0,002
<i>Razón de verosimilitud</i>	13,343	2	0,001
<i>Asociación lineal por lineal</i>	11,696	1	0,001
<i>N de casos válidos</i>	240		

* Significancia asintótica (bilateral)

Cuadro 3. Daño, plantación de 2 años de edad, área experimental 1.

Tratamiento	Sin Fertilización		Daño			Total
			sin a leve daño	medio daño	fuerte daño	
		Recuento	85	32	3	120
		% de Tratamiento	70,8%	26,7%	2,5%	100,0%
		% de Daño	66,4%	42,7%	8,1%	50,0%
		% del total	35,4%	13,3%	1,3%	50,0%
	Fertilizado	Recuento	43	43	34	120
		% de Tratamiento	35,8%	35,8%	28,3%	100,0%
		% de Daño	33,6%	57,3%	91,9%	50,0%
		% del total	17,9%	17,9%	14,2%	50,0%
	Total	Recuento	128	75	37	240
		% de Tratamiento	53,3%	31,3%	15,4%	100,0%
		% de Daño	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% del total	53,3%	31,3%	15,4%	100,0%

Cuadro 4. Prueba de chi-cuadrado para la variable daño.

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson</i>	41,368	2	0,000
<i>Razón de verosimilitud</i>	46,128	2	0,000
<i>Asociación lineal por lineal</i>	40,666	1	0,000
<i>N de casos válidos</i>	240		

* Significancia asintótica (bilateral)

- **Evaluación del estrato con respecto a las variables de calidad**

Cuadro 5. Rectitud, plantación de 2 años de edad, área experimental 1.

Estrato		Rectitud			Total
		recto	curvatura leve	curvatura fuerte	
B1 (Ladera alta)	Recuento	43	28	7	78
	% de Estrato	55,1%	35,9%	9,0%	100,0%
	% de Rectitud	35,8%	26,4%	50,0%	32,5%
	% del total	17,9%	11,7%	2,9%	32,5%
B2 (Ladera alta-media)	Recuento	31	43	5	79
	% de Estrato	39,2%	54,4%	6,3%	100,0%
	% de Rectitud	25,8%	40,6%	35,7%	32,9%
	% del total	12,9%	17,9%	2,1%	32,9%
B3 (Ladera media)	Recuento	46	35	2	83
	% de Estrato	55,4%	42,2%	2,4%	100,0%
	% de Rectitud	38,3%	33,0%	14,3%	34,6%
	% del total	19,2%	14,6%	,8%	34,6%
Total	Recuento	120	106	14	240
	% de Estrato	50,0%	44,2%	5,8%	100,0%
	% de Rectitud	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	% del total	50,0%	44,2%	5,8%	100,0%

Cuadro 6. Prueba de chi-cuadrado para la variable rectitud.

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson</i>	8,915	4	0,063
<i>Razón de verosimilitud</i>	9,275	4	0,055
<i>Asociación lineal por lineal</i>	0,572	1	0,450
<i>N de casos válidos</i>	240		

* Significancia asintótica (bilateral)

Cuadro 7. Daño, plantación de 2 años de edad, área experimental 1.

			Daño			Total
			sin a leve daño	medio daño	fuerte daño	
Estrato	B1 (Ladera alta)	Recuento	33	32	13	78
		% de Estrato	42,3%	41,0%	16,7%	100,0%
		% de Daño	25,8%	42,7%	35,1%	32,5%
		% del total	13,8%	13,3%	5,4%	32,5%
	B2 (Ladera alta-media)	Recuento	40	15	24	79
		% de Estrato	50,6%	19,0%	30,4%	100,0%
		% de Daño	31,3%	20,0%	64,9%	32,9%
		% del total	16,7%	6,3%	10,0%	32,9%
	B3 (Ladera media)	Recuento	55	28	0	83
		% de Estrato	66,3%	33,7%	,0%	100,0%
		% de Daño	43,0%	37,3%	,0%	34,6%
		% del total	22,9%	11,7%	,0%	34,6%
	Total	Recuento	128	75	37	240
		% de Estrato	53,3%	31,3%	15,4%	100,0%
		% de Daño	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
		% del total	53,3%	31,3%	15,4%	100,0%

Cuadro 8. Prueba de chi-cuadrado para la variable daño.

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson</i>	35,187	4	0,000
<i>Razón de verosimilitud</i>	45,783	4	0,000
<i>Asociación lineal por lineal</i>	12,474	1	0,000
<i>N de casos válidos</i>	240		

* Significancia asintótica (bilateral)

Anexo 11

Calidad en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 2, predio Los Pinos

Cuadro 1. Rectitud, plantación de 2 años de edad, área experimental 2.

Tratamiento			Rectitud			Total
			recto	curvatura leve	curvatura fuerte	
Tratamiento	Sin Fertilización	Recuento	46	38	8	92
		% de Tratamiento	50.0%	41.3%	8.7%	100.0%
		% de Rectitud	54.8%	50.0%	44.4%	51.7%
		% del total	25.8%	21.3%	4.5%	51.7%
	Fertilizado	Recuento	38	38	10	86
		% de Tratamiento	44.2%	44.2%	11.6%	100.0%
		% de Rectitud	45.2%	50.0%	55.6%	48.3%
		% del total	21.3%	21.3%	5.6%	48.3%
	Total	Recuento	84	76	18	178
		% de Tratamiento	47.2%	42.7%	10.1%	100.0%
		% de Rectitud	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
		% del total	47.2%	42.7%	10.1%	100.0%

Cuadro 2. Prueba de chi-cuadrado para la variable rectitud, plantación de 2 años de edad, área experimental 2.

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson*</i>	0,783	2	0,676
<i>Razón de verosimilitud</i>	0,783	2	0,676
<i>Asociación lineal por lineal</i>	0,776	1	0,378
<i>N de casos válidos</i>	178		

*Significancia asintótica (bilateral)

Cuadro 3. Daño, plantación de 2 años de edad, área experimental 2.

Tratamiento			Daño			Total
			sin a leve daño	medio daño	fuerte daño	
Tratamiento	Sin Fertilización	Recuento	33	35	24	92
		% de Tratamiento	35.9%	38.0%	26.1%	100.0%
		% de Daño	64.7%	51.5%	40.7%	51.7%
		% del total	18.5%	19.7%	13.5%	51.7%
	Fertilizado	Recuento	18	33	35	86
		% de Tratamiento	20.9%	38.4%	40.7%	100.0%
		% de Daño	35.3%	48.5%	59.3%	48.3%
		% del total	10.1%	18.5%	19.7%	48.3%
	Total	Recuento	51	68	59	178
		% de Tratamiento	28.7%	38.2%	33.1%	100.0%
		% de Daño	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
		% del total	28.7%	38.2%	33.1%	100.0%

Cuadro 4. Prueba de chi-cuadrado para la variable daño, plantación de 2 años de edad, área experimental 2.

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson*</i>	6,326	2	0,042
<i>Razón de verosimilitud</i>	6,397	2	0,041
<i>Asociación lineal por lineal</i>	6,266	1	0,012
<i>N de casos válidos</i>	178		

* Significancia asintótica (bilateral)

Anexo 12

**Calidad en *Eucalyptus globulus* de 2 años de edad, área experimental 2 y 3,
predio Los Pinos**

Cuadro 1. Rectitud, plantación de 2 años, área experimental 3 y 2.

		Rectitud			Total
		recto	curvatura leve	curvatura fuerte	
Área experimental 3	Recuento	31	28	3	62
	% de Área	50,0%	45,2%	4,8%	100,0%
	% de Rectitud	44,9%	42,4%	23,1%	41,9%
	% del total	20,9%	18,9%	2,0%	41,9%
Área experimental 2	Recuento	38	38	10	86
	% de Área	44,2%	44,2%	11,6%	100,0%
	% de Rectitud	55,1%	57,6%	76,9%	58,1%
	% del total	25,7%	25,7%	6,8%	58,1%
Total	Recuento	69	66	13	148
	% de Área	46,6%	44,6%	8,8%	100,0%
	% de Rectitud	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	% del total	46,6%	44,6%	8,8%	100,0%

Cuadro 2. Prueba de Chi-cuadrado para la variable rectitud, plantación de 2 años, área experimental 3 y 2.

	Valor	gl	Significancia*
Chi-cuadrado de Pearson	2,159	2	0,340
Razón de verosimilitud	2,300	2	0,317
Asociación lineal por lineal	1,383	1	0,240
N de casos válidos	148		

*Significancia asintótica (bilateral)

Cuadro 3. Daño, plantación de 2 años, área experimental 3 y 2.

		Daño			Total
		sin a leve daño	medio daño	fuerte daño	
Área experimental 3	Recuento	18	18	26	62
	% de Área	29,0%	29,0%	41,9%	100,0%
	% de Daño	50,0%	35,3%	42,6%	41,9%
	% del total	12,2%	12,2%	17,6%	41,9%
Área experimental 2	Recuento	18	33	35	86
	% de Área	20,9%	38,4%	40,7%	100,0%
	% de Daño	50,0%	64,7%	57,4%	58,1%
	% del total	12,2%	22,3%	23,6%	58,1%
Total	Recuento	36	51	61	148
	% de Área	24,3%	34,5%	41,2%	100,0%
	% de Daño	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	% del total	24,3%	34,5%	41,2%	100,0%

Cuadro 4. Prueba de Chi-cuadrado para la variable daño, plantación de 2 años, área experimental 3 y 2.

	Valor	gl	Significancia*
<i>Chi-cuadrado de Pearson</i>	1,898	2	0,387
<i>Razón de verosimilitud</i>	1,901	2	0,386
<i>Asociación lineal por lineal</i>	0,269	1	0,604
<i>N de casos válidos</i>	148		

* Significancia asintótica (bilateral)