

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

*Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes*

*Departamento de Ingeniería Forestal*



**TESIS DOCTORAL**

**ESTUDIO DE FACTORES QUE INCREMENTAN LA RENTABILIDAD  
DE PLANTACIONES PULPABLES DE *EUCALYPTUS GLOBULUS*  
LABILL EN CHILE**

**Autor:** Emilio Ricardo Guerra Bugueño

**Director:** Miguel Ángel Herrera Machuca

**Co – Director:** Fernando Rómulo Drake Aranda

Córdoba, España, Abril 2012

TÍTULO: *Estudio de Factores que Incrementan la Rentabilidad de Plantaciones  
Pulpables de Eucalyptus globulus Labill. en Chile*

AUTOR: *Emilio Ricardo José Guerra Bugueño*

---

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2012  
Campus de Rabanales  
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A  
14071 Córdoba

[www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)  
[publicaciones@uco.es](mailto:publicaciones@uco.es)

---



**TÍTULO DE LA TESIS:** *Estudio de Factores que Incrementan la Rentabilidad de Plantaciones Pulpables de Eucalyptus globulus Labill. en Chile*

**DOCTORANDO/A:** *Emilio Guerra Bugueño*

**INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS**

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

La presente tesis se inició dentro de un programa de doctorado, específicamente diseñado para académicos de universidades iberoamericanas, con una prolongada experiencia profesional. En este sentido el desarrollo del trabajo de investigación se realizó utilizando la experiencia acumulada a través de los años. Se investigó en la especie forestal *Eucalyptus globulus*, en Chile, en relación de los efectos de la densidad, fertilización y calidad de suelo (aplicación de agua por medio de riego), en la rentabilidad de las plantaciones. Los estudios se llevaron a cabo a edad de cosecha, concluyéndose en primer lugar que los mayores rendimientos volumétricos no propician las mayores rentabilidades, toda vez que el incremento de la densidad de plantación aumenta los costos por unidad de planta en relación al manejo de suelos, control de malezas y fertilización.

Como resultado intermedio de este trabajo de tesis doctoral se han generado las siguientes publicaciones indexadas: *Efecto de los sistemas de riego en la rentabilidad de plantaciones de eucalipto (Eucalyptus globulus)*. **Agrociencia (2010)** y *Rentabilidad de la fertilización al establecimiento de plantaciones de Eucalyptus globulus*. **Agrociencia (2007)**.

Por todo lo anteriormente citado y dada la calidad del trabajo desarrollado, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 30 de abril de 2012

Firma del/de los director/es

Fdo. Miguel Ángel Herrera Machuca

Fdo.: ...Fernando Drake Aranda.



**UNIVERSIDAD DE CORDOBA**

*Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes*

*Departamento de Ingeniería Forestal*



**ESTUDIO DE FACTORES QUE INCREMENTAN LA RENTABILIDAD  
DE PLANTACIONES PULPABLES DE *EUCALYPTUS GLOBULUS*  
LABILL EN CHILE**

Tesis Doctoral presentada por Emilio Ricardo Guerra Bugueño en satisfacción de los requisitos necesarios para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba, dirigida por el Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca y el Dr. Fernando Rómulo Drake Aranda.

**El Doctorando**  
Emilio Ricardo  
Guerra Bugueño

**El Director**  
Miguel Ángel  
Herrera Machuca

**El Co-Director**  
Fernando Rómulo  
Drake Aranda

Miguel Ángel Herrera Machuca, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba, de acuerdo al artículo 34 de las Normas Reguladoras de Doctorado de esta Universidad.

AUTORIZA a Don Emilio Ricardo Guerra Bugeño, Ingeniero Forestal, para la presentación del trabajo que con el título **“ESTUDIO DE FACTORES QUE INCREMENTAN LA RENTABILIDAD DE PLANTACIONES PULPABLES DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL EN CHILE”** ha sido realizado bajo mi dirección como Tesis para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Córdoba, Abril de 2012

  
Fdo. Miguel Ángel Herrera Machuca

## **A G R A D E C I M I E N T O S**

Agradezco a mis profesores directores, señores Miguel Ángel Herrera Machuca y Fernando Rómulo Drake Aranda, por sus aportes y consejos para el logro de la presente tesis doctoral.

A mi amigo, Director de la Escuela de Ciencias Forestales de la Universidad Católica de Temuco en Chile, señor Celso Navarro Cárcamo, por su permanente apoyo y facilidades que me otorgó durante estos años del desarrollo del trabajo aquí presentado.

A mi amigo y colega de tantos trabajos, señor Fabián Celis Mosqueira, por sus aportes, comentarios y ayuda que me otorga permanentemente en mi labor académica y en especial en esta tesis.

Finalmente, dar gracias a mi esposa Marty y mis hijas Tania y Rocío, por su amor y permanente apoyo en todos los proyectos que he emprendido en mi vida.

# INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>MARCO GENERAL .....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>ANTECEDENTES CIENTÍFICOS GENERALES DE LA ESPECIE .....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>MANEJO EN PLANTACIONES FORESTALES .....</b>	<b>- 14 -</b>
<b>PROPIEDADES Y UTILIZACIÓN DE LA MADERA .....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>RENTABILIDAD DE INVERSIONES FORESTALES .....</b>	<b>- 20 -</b>
<b>HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>- 25 -</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>- 26 -</b>
<b>CAPÍTULO 2: FACTORES SILVICULTURALES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN     <i>EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL</i> .....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>- 34 -</b>
<b>PREPARACIÓN DEL SITIO .....</b>	<b>- 37 -</b>
<b>DENSIDAD DE PLANTACIÓN .....</b>	<b>- 44 -</b>
<b>CONTROL DE MALEZAS .....</b>	<b>- 50 -</b>
<b>FERTILIZACIÓN .....</b>	<b>- 56 -</b>
<b>RIEGO .....</b>	<b>- 66 -</b>
<b>MEJORAMIENTO GENÉTICO .....</b>	<b>- 71 -</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>- 74 -</b>
<b>CAPÍTULO 3. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA RENTABILIDAD DE     PLANTACIONES DE <i>EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL</i> .....</b>	<b>- 94 -</b>
<b>CAPÍTULO 4. EFECTO DE LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN LA RENTABILIDAD DE     PLANTACIONES DE <i>EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL</i> .....</b>	<b>- 109 -</b>
<b>CAPÍTULO 5. EFECTO DEL RIEGO EN LA RENTABILIDAD DE PLANTACIONES DE     <i>EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL</i> .....</b>	<b>- 127 -</b>
<b>CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN GENERAL .....</b>	<b>- 142 -</b>
<b>CAPITULO 7. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>- 159 -</b>
<b>CAPÍTULO 8. ANEXOS .....</b>	<b>- 161 -</b>
<b>FLUJOS FINANCIEROS PARA EL CÁLCULO DE RENTABILIDAD .....</b>	<b>- 162 -</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Distribución natural de <i>E. Globulus</i> .....	- 13 -
Figura 2-1. Factores que afectan la productividad de las plantaciones (Fox, 2000). .....	- 34 -
Figura 3-1. Proyección del crecimiento en volumen acumulado ( $m^3 ha^{-1}$ ) a los 10 años para los distintos tratamientos. ....	- 102 -
Figura 3-2. Crecimiento volumétrico corriente ( $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ ), para los distintos tratamientos en estudio. ....	- 103 -
Figura 4-1. Proyección del crecimiento en volumen acumulado ( $m^3 ha^{-1}$ ) a los 10 años para los distintos tratamientos. ....	- 116 -
Figura 4-2. Crecimiento volumétrico corriente ( $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ ), para los tratamientos. ....	- 117 -
Figura 4-3. Distribución de frecuencias de resultados de la simulación de Montecarlo para el VAN y VES del tratamiento T1 (densidad de plantación de 1.000 árb $ha^{-1}$ ). ....	- 121 -
Figura 4-4. Correlación de los supuestos precio y tasa de descuento con el pronóstico para la rentabilidad del tratamiento T1 (densidad de plantación de 1.000 árb $ha^{-1}$ ). ....	- 122 -

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Esquema de manejo pulpable para <i>Eucalyptus globulus</i> en Chile. ....	- 17 -
Tabla 1-2. Esquema de manejo aserrable – foliable para <i>Eucalyptus globulus</i> en Chile. ....	- 18 -
Tabla 2-1. Herbicidas con uso potencial en eucalipto en Chile. ....	- 53 -
Tabla 2-2. Efecto del control de malezas sobre la supervivencia y biomasa en <i>E. globulus</i> al primer año de plantación en Mulchén y Mafil (VIII y X Regiones, Chile). ....	- 55 -
Tabla 2-3. Efecto del control de malezas sobre la biomasa en el segundo año de plantación de <i>E. globulus</i> en dos lugares en la localidad de Mulchén (VIII Región, Chile). ....	- 55 -
Tabla 3-1. Dosis de fertilización, año de aplicación y el total aplicado por tratamiento (Ti). ...	- 98 -
Tabla 3-2. Variables de crecimiento para las distintas dosis de fertilización después de cinco años de establecimiento. ....	- 100 -
Tabla 3-3. Volumen ( $m^3 ha^{-1}$ ), proyectado para los tratamientos al año de cosecha y costo total de establecimiento y fertilización para los tratamientos. ....	- 102 -
Tabla 3-4. Rentabilidad del proyecto de plantación, para cada tratamiento (Ti), según VAN, TIR y VES, para tres tasas de descuento. ....	- 104 -
Tabla 4-1. Volumen ( $m^3 ha^{-1}$ ) proyectado para los tratamientos al año de cosecha y costo total de establecimiento y densidad para los tratamientos. ....	- 118 -
Tabla 4-2. Rentabilidad del proyecto de plantación para cada densidad ( $arb ha^{-1}$ ) según VAN, VES y TIR, para la tasa de descuento (8,7%) y precio de mercado de la madera pulpable ( $35 US\$ m^{-3}$ ). ....	- 119 -
Tabla 4-3. Estadísticos de la simulación del VAN y VES para cada tratamiento. ....	- 120 -
Tabla 5-1. Valor terminal de la inversión en $US\$ ha^{-1}$ obtenido a partir de la aplicación de riego a través de un sistema de microaspersión, goteo y surco. ....	- 134 -
Tabla 5-2. Valor actual neto en $US\$ ha^{-1}$ para los volúmenes obtenidos según el costo de instalación e implementación de un sistema de riego por microaspersión, goteo y surco. ...	- 135 -
Tabla 5-3. Valor económico del suelo (VES) en $US\$ ha^{-1}$ para los volúmenes obtenidos según el costo de instalación e implementación de los sistemas de riego por microaspersión, goteo y surco. ....	- 136 -
Tabla 5-4. Tasa interna de retorno modificada (TIRm) para los volúmenes obtenidos según el costo de instalación e implementación de un sistema de riego por microaspersión, goteo y surco. ....	- 137 -



**INTRODUCCIÓN GENERAL**

---

**CAPÍTULO 1**

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

---

### **Marco general**

---

Existe un creciente interés en todo el mundo en la asignación de uso de la tierra y la gestión en el ámbito de la planificación y desarrollo de las zonas rurales. Rodríguez-Vicente y Marey-Pérez (2009) investigaron en el Norte de España los factores que influyen en la transformación de suelos marginales en bosques, y los intentos por parte de los propietarios de bosques no industrializados para cambiar las actuales especies forestales para la producción y aumentar la superficie forestal productiva. Los resultados del estudio indican que el manejo forestal responde principalmente a la inversión y al incremento de la productividad de la tierra como un activo de capital, el cual está influenciado directamente por tamaño y el grado de parcelación de la propiedad, y directa o indirectamente relacionado con los intereses de los propietarios en la producción de madera.

El aumento de la inversión forestal podría interpretarse como una señal del mercado que se relaciona directamente con el crecimiento de la economía de un país. Ejemplo de esto es lo ocurrido en Tailandia, donde el rápido crecimiento de la economía provocó el aumento de las plantaciones de eucaliptos por parte de los propietarios de tierras en los entornos económicos rurales (Fumikazu, 2001).

Según Bebly (2003), el género *Eucalyptus* es amplio, diverso, y crece sobre un extenso rango geográfico habitando bajo diferentes condiciones climáticas, topografías y tipos de suelo en Australia. Las especies individuales varían marcadamente en el uso del agua, características fisiológicas y arquitectura de acuerdo a la disponibilidad de agua, desde situaciones métricas hasta otras extremadamente xéricas. Su madera resulta adecuada para muy diversos usos: consumo doméstico, leñas de alto poder calorífico, producción de carbón vegetal, estructuras de edificios, postes para comunicaciones, pisos flotantes, celulosa, sujeción de taludes, o para elaboración de tableros de fibras. De su celulosa pueden fabricarse múltiples productos de usos cotidianos: sanitarios, pañales e higiénicos; derivados como el celofán o la cola fría; melamina y otros

laminados, papeles especiales, filtros, papeles electrónicos; así como la elaboración de fibras textiles como el rayón (sarga). La demanda de productos derivados de la madera de *Eucalyptus* sigue siendo a nivel internacional la que muestra un mayor crecimiento sostenido (Martínez *et al.*, 2006).

El género *Eucalyptus* también tiene la capacidad de producir volúmenes aserrables y chapas limpias a un costo de formación menor que productos equivalentes provenientes de coníferas, lo que permite absorber costos asociados a sus dificultades productivas (Raga, 2002). No obstante, el mayor problema para procesar *Eucalyptus* es la aparición de importantes grietas en las trozas y deformaciones posteriores en la madera aserrada, ambas ocasionadas por las tensiones de crecimiento (Touza, 2001).

Las plantaciones de eucaliptos se han establecido mediante una variedad de especies a través de una amplia gama de sitios y regímenes de gestión y objetivos. De las más de 500 especies de este género, las más plantadas son *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden., *Eucalyptus camaldulensis* Dehn., *Eucalyptus tereticornis* Sm. y *Eucalyptus globulus* Labill. Además, hay probablemente otras 50 - 100 especies que se plantan a nivel local en una serie de países (Montagu *et al.*, 2003).

Se calcula que el área de plantaciones de eucaliptos a nivel mundial es más de 20 millones de hectáreas, de las cuales más 5 millones corresponden a *E. globulus* Labill. (Soto, 2011). Pampolina *et al.*, (2002) señala que los eucaliptos son especies que suscitan gran interés para la forestación en diferentes partes del mundo, siendo *E. globulus* la especie más ampliamente plantada en las regiones de clima mediterráneo.

Inicialmente se plantaron eucaliptos a gran escala, ya sea para abastecimiento interno o para la industria de energía. Por ejemplo, en Brasil los eucaliptos plantados fueron establecidos para el suministro de carbón a las empresas siderúrgicas (Montagu *et al.*, 2003). El aumento de las plantaciones de *Eucalyptus* se vio acompañado del desarrollo de la industria de la pulpa y papel y de la apertura del mercado local y mundial de madera para astillas. En zonas semi - áridas, donde la disponibilidad de humedad limita el crecimiento, *E. camaldulensis*, *E. cladocalyx* F.J.Muell. y *E. sideroxylon* A. Cunn. ex

*Woolfs* son utilizados favorablemente como fuente de energía y madera de construcción en actividades agrícolas (Prado y Toro, 1996).

En Chile, las primeras plantaciones comerciales de *Eucalyptus spp.* fueron establecidas en 1885, siendo *E. globulus* la especie considerada como una de las más importante por su constante aumento en presencia y utilización, debido principalmente a la demanda de fibra corta para proyectos de celulosa. A partir de 1990 aumentaron considerablemente las plantaciones de otras especies, entre las cuales destacan *E. nitens* Maiden., *E. delegatensis* R. T. Baker., *E. viminalis* Labill. y *E. smithii* R.T. Baker, las que se establecieron en sitios no aptos para el crecimiento de *E. globulus* (Valencia y Cabrera, 2008).

La mayor parte de las plantaciones en Chile con *Eucalyptus spp.*, se han realizado en terrenos de aptitud forestal, incluyendo aquellos que se encuentran desgastados y erosionados producto del prolongado mal uso que se les dio en la agricultura. Por la alta rentabilidad de su cultivo, también se ha forestado en algunos suelos agrícolas de la Depresión Intermedia (Santelices, 2005). Para el año 2008 ya existían aproximadamente 500.000 mil hectáreas de *E. globulus* y 180 mil hectáreas de *E. nitens* (INFOR, 2011).

En la última década, los precios de la madera pulpable disminuyeron en aproximadamente un 20%, en parte debido al rápido aumento de las zonas de plantaciones para la producción de madera pulpable en países como Australia, Chile y Uruguay (Montagu *et al.*, 2003).

La baja demanda nacional en madera sólida es consecuencia de su dificultad de secado y proceso, su alto peso y las características menos estéticas en su veta, aunque esto está cambiando últimamente (Muñoz, 2005).

La demanda mundial de la madera se distribuye en necesidades energéticas, leña y carbón vegetal (más del 50%), la madera de aserrío, postes, vigas y construcción (20%) y la dedicada a la industria de la celulosa y el papel (27%) (Martínez *et al.*, 2006).

### **Antecedentes científicos generales de la especie**

---

*E. globulus*, es una de las especies del género *Eucalyptus* mejor conocidas a nivel mundial. Es la especie representativa del género en países como Estados Unidos, España, Portugal, Chile, Uruguay, Argentina y muchos otros.

Debido a la herencia transmitida por sus predecesores y el curso de la evolución en los recientes milenios los *Eucalyptus* han desarrollado características de crecimiento que han hecho de ellos un factor fundamental para la perpetuación de un recurso forestal sometido a las difíciles condiciones ambientales (FAO, 1981).

El género *Eucalyptus* debe su predominancia en Australia a su habilidad para sobrevivir, como individuos o como especies, en localidades donde los períodos de extremo peligro se presentan a intervalos frecuentes. La capacidad de colonizar tierras desnudas, sin protección, es de fundamental importancia para permitir que los eucaliptos lleguen a ser especies predominantes e invasivas (FAO, 1981).

En los lugares con una estación seca pronunciada, tal como California, el árbol crece mejor en suelos aluviales profundos debido a la mayor cantidad de humedad disponible. En Portugal, casi el 15% de las tierras están plantadas con esta especie. La mayoría de los rodales se encuentran en suelos desarrollados a partir de piedra arenisca y piedra caliza, los cuales han sido severamente degradados por los cultivos desde hace muchos siglos. Los mejores rendimientos ocurren en margas arcillosas y arcillas finas (Kardell *et al.*, 1986).

Estas características de los eucaliptos han permitido que estos árboles sean utilizados con distintos fines, más allá de los tradicionales como lo es la obtención de madera o leña, tal es el caso de los estudios realizados por Knapp *et al.*, (2000), quienes desarrollaron esquemas de manejo agroforestales a partir de eucaliptos para mitigar la salinidad de los suelos y problemas de drenaje en cultivos agrícola regados. Prácticas similares fueron realizadas por Hussain y Biltonen (2001) con el objetivo de aumentar el valor del suelo para los propietarios de tierras en Vietnam.

Se reconocen cuatro subespecies. El árbol tipo, de la subespecie *globulus*, se encuentra confinado más que nada a la costa sureste de Tasmania, pero crece también en pequeños bolsones de la costa oeste de Tasmania, en ciertas islas en el estrecho de Bass al norte de Tasmania y en el Cabo Otway y el Promontorio de Wilson al sur de Victoria, en Australia (Hall *et al.*, 1975). Otras subespecies se pueden encontrar en Victoria y en New South Wales (Kirkpatrick, 1975) (Figura 1-1).



Figura 1-1. Distribución natural de *E. Globulus*

La especie se desarrolla sobre un amplio rango de sustratos, pero se ubica especialmente sobre suelos derivados de rocas graníticas y granodioríticas. No soportan suelos calcáreos que presenten un pH alto (>7,5) y calcio libre, es medianamente tolerable a la salinidad (INFOR–CORFO, 1991). Sus mejores desarrollos los alcanza en suelo limoso a franco arcilloso, moderadamente fértiles y con buen drenaje, pero con adecuado contenido de humedad.

*E. globulus* regenera fácilmente a partir de yemas adventicias, brotes de tocón provenientes del cambium cuando el árbol es cortado. Esta capacidad de monte bajo y el hecho de que en la segunda rotación no existan costos de implantación, han llevado

a los administradores a asumir que la segunda rotación puede ser manejada por monte bajo, sin embargo, en algunas situaciones los posibles aumentos en la productividad de las plantaciones a través de un mejoramiento genético, puede argumentar favorablemente una replantación en la segunda rotación (Whitock *et al.*, 2003). Por otra parte se debe tomar en cuenta los estudios realizados por Roberts *et al.*, (2001) en el sur de Australia, quienes demostraron que los bosques de eucaliptos a partir de regeneración de tocón consumen más del doble de agua que plantaciones adultas provenientes de semilla.

Según González *et. al.*, (1985), *E. globulus* soporta temperaturas mínimas absolutas de - 4°C y un promedio anual de heladas de 10 días. Por su parte, estudios realizados por INFOR–CORFO (1991) registraron que la especie puede soportar temperaturas de hasta - 6°C.

Por otro lado, en relación con la precipitación, INFOR en su programa de introducción de especies determinó que el rango recomendado de precipitación para *E. globulus* es de 600 - 1.100 mm año<sup>-1</sup>, pero se debe considerar además del monto de las precipitaciones la distribución de éstas, ya que pasa a ser un factor fundamental en el establecimiento de las plantaciones en sectores con un periodo seco de más de cuatro meses, problema que se acentúa con suelos de baja capacidad de retención de agua (INFOR, 2000).

### **Manejo en plantaciones forestales**

---

El manejo forestal tiene como principal objetivo, entre otros, el de anticipar y/o acelerar la dinámica de crecimiento natural del bosque, de forma tal que, por medio de tratamientos silviculturales como raleos y podas se concentre el crecimiento del rodal en los mejores árboles, aumentando sus diámetros (volumen por árbol) y mejorando la calidad de la madera. En el caso de las podas, se busca obtener que la parte basal de los árboles, o las primeras trozas, queden sin ramas para la obtención de trozas gruesas con una importante proporción de madera libre de defectos, o con nudos vivos en la madera. En tanto que el raleo elimina una proporción de los árboles del rodal

extrayendo aquellos que interfieren en el crecimiento de los seleccionados o definitivos para la cosecha final (INFOR, 2002).

La silvicultura específica al sitio está orientada a desarrollarse en sectores con características especiales, aplicando técnicas silvícolas que disminuyan al máximo las resistencias ambientales, proporcionando o redistribuyendo los recursos necesarios tales como el agua, nutrientes y radiación, para que las plantaciones aumenten su productividad y sean al mismo tiempo eficientes en costos, lo que influye en la rentabilidad final (Toro, 2004).

Las actividades de manejo, siempre estarán asociadas con los objetivos de producción definidos en un proyecto forestal. En general, ello puede corresponder a objetivos distintos si la producción del bosque está destinada a maderas delgadas para pulpa a combustible o, a maderas gruesas para usos en el aserrío, remanufactura o en la industria de tableros.

Maestri (2003) señala que la adopción de un régimen de manejo debe estar totalmente alineada con los objetivos del negocio. Los costos operacionales y valores de los productos obtenidos deberán ser evaluados al momento de tomar la decisión final, o sea, la mejor alternativa de manejo será aquella que consiga optimizar la relación costo/beneficio con agregado de valor a la empresa, considerando inclusive la alocaión total de tierras y la atención a las demandas previstas.

El manejo forestal es afectado tanto por factores económicos como ecológicos. Se pueden reconocer los efectos de la comercialización de productos forestales provenientes de un manejo sustentable, y el impacto que han tenido en los patrones del comercio y en la participación de mercado, pero se ha conducido muy poca investigación en esta temática. Inclusive menos atención se le ha prestado a las inversiones privadas extranjeras, incluyendo fusiones y adquisiciones, a pesar de la localización de la producción, movimientos de capital y la propiedad extranjera podría impactar significativamente en el manejo forestal (Laaksonen-Craig, 2004).

Especialistas extranjeros han aportado a Chile con sus ideas desde áreas específicas: viveros, genética, economía, nutrición, suelos, sitios, silvicultura, ecofisiología, manejo de plantaciones, etc. (Toro, 2004).

Los esquemas de manejo utilizados en Chile para *Eucalyptus spp.*, se han enfocado principalmente a la producción de trozas de pequeñas dimensiones para la producción de pulpa y astillas, tanto para el mercado local de la industria de celulosa y papel, como de exportación y, para la producción de energía, tal como se puede observar en la Tabla 1-1. El efecto de raleos, entiéndase como clareos en España, precomerciales o comerciales y podas en especies del género *Eucalyptus* está escasamente documentado en la literatura. Usualmente las plantaciones se han destinado a la producción de pulpa, por lo que su manejo se concentra en el establecimiento. La mayoría de las empresas forestales han establecido plantaciones con rotaciones cortas (entre 7 y 12 años), no requiriendo esquemas de manejo que incluyan podas y raleos. Esto contrasta con Toro (2004), quien señala que para aumentar la productividad de las plantaciones y la rentabilidad de ellas es conveniente aplicar una silvicultura específica al sitio, no rígida o con recetas prediseñadas. En Chile, algunas de estas empresas han establecido ensayos y aplicado poda y raleos en superficies limitadas de su patrimonio forestal, sus resultados son utilizados en forma reservada, no estando disponible para medianos y pequeños propietarios (INFOR, 2004).

Tabla 1-1. Esquema de manejo pulpable para *Eucalyptus globulus* en Chile.

Altura estimada (m)	Edad estimada (años)	Densidad (árb ha <sup>-1</sup> )	Árboles a extraer (árb ha <sup>-1</sup> )	Actividad	Especificación
	0	1.250 – 1.600		Establecimiento	Se consideran todas las actividades de establecimiento.
	1 - 2			Control de malezas post – plantación y fertilización.	Minimizar interferencia de malezas herbáceas y arbustivas: fertilizar al establecimiento y post - plantación dependerá de la evaluación de cada caso.
Hasta 2 -3	2 – 3			Corrección fustal	Evaluar niveles y daños por viento o heladas
30 - 35	12 - 14		1.150 – 1.450	Cosecha	Se cosecha la totalidad de los árboles, dejando desechos ordenados en curva de nivel. Posterior a la cosecha, se debe evaluar sin manejar los rebrotes o plantar nuevamente.

Fuente Nota: Sotomayor *et al*, (2002).

*E. globulus* puede producir trozas de alto valor para la producción de madera aserrada, parquets, trozas foliables y debobinables para tableros y otros productos de mayor valor para la utilización en la industria del mueble (Tabla 1-2). El esquema de manejo a utilizar no difiere de los esquemas descritos para *Pinus radiata* en su tendencia, pero si en la oportunidad, dado el mayor crecimiento que se obtiene con *Eucalyptus spp*. La diferencia puede darse en el caso de *E. globulus* que presenta poda natural, versus *E. nitens* en que ello no ocurre, por lo que debe ser podado. Actualmente y dado que la industria de la celulosa en Chile, en general prefiere *E. globulus* por su mejor rendimiento en celulosa, especialmente por sus propiedades en el proceso de blanqueo (INFOR, 2002), su manejo está condicionado para esa industria. Este tipo de manejo considera toda la producción masiva de fibra para la industria de la celulosa y el papel y, la producción de energía. Este tipo de manejo considera un mínimo de intervenciones silviculturales después del establecimiento. Por lo general la forma de los fustes no es tan relevante, debido a que interesa sólo la producción de fibra. (Eldridge *et al*, 1994). *E. nitens* no posee las bondades para la producción de celulosa que tiene *E. globulus*, pero sí las tiene para la industria del aserrío, de tal manera que sus esquemas de manejo son diferentes y adecuados para un tipo de producto distinto.

Tabla 1-2. Esquema de manejo aserrable – foliable para *Eucalyptus globulus* en Chile.

Altura estimada (m)	Edad estimada (años)	Densidad (árb ha <sup>-1</sup> )	Árboles a extraer (árb ha <sup>-1</sup> )	Actividad	Especificación
0	0	1.000 - 1.250		Establecimiento	Se consideran todas las actividades de establecimiento.
	1 - 2			Control de malezas post - plantación	Minimizar interferencia de malezas herbáceas y arbustivas; el número de controles de maleza dependerá de su presencia y grado de cocompetencia; fertilizar al establecimiento y post - plantación dependerá de la evaluación de cada caso.
Hasta 2 - 3	1,5 - 2			Corrección fustal	Evaluar niveles y daños por viento o heladas
6 - 8	2,5 - 3,5		600 - 700	Poda 1 (aprox. hasta 2-3 m)	Selección por crecimiento y calidad; poda altura variable, máximo a 30 - 40% altura total del árbol; DSM = 12 - 15 cm.
6 - 8	2,5 - 3,5	600 - 700	300 - 650	Raleo a desecho o semicomercial	Voltear todos los árboles no podados, y mantener espaciamiento.
12 - 15	4,5 - 5,5		350 - 500	Poda 2 (aprox. hasta 5,5-6,0 m)	Selección de árboles por calidad y espaciamiento; levantar poda, máximo a 25 - 35% altura copa viva.
12 - 15	4,5 - 5,5	350 - 500	200 - 350	Raleo comercial (a densidad final)	Voltear y extraer árboles sin levante de poda.
45 - 50	18 - 22		350 - 500	Cosecha	Se cosecha la totalidad de los árboles, dejando desechos ordenados en curva de nivel. Posterior a la cosecha, se debe evaluar sin manejar los rebrotes o plantar nuevamente.

Fuente Nota: Sotomayor et al, (2002).

## Propiedades y utilización de la madera

El mercado interno demanda trozas de madera de diversas calidades para ser procesadas y elaboradas por la industria forestal primaria. Según su uso, se pueden destinar principalmente a la industria del aserrío, pulpa, astillas, postes, polines, rebobinados y foliados para tableros. No obstante, para el productor forestal, además del autoconsumo predial para distintos usos, también existe un importante mercado de madera para usos energéticos (combustible), artesanales y otros usos menores. Según los usos primarios de la madera mencionados, los trozos se pueden clasificar de forma

general en según sus diámetros, en madera gruesa y delgada. La madera gruesa se destina principalmente para la obtención de trozos destinados a la producción de madera aserrada, dimensionada, y en menor proporción para trozos debobinados y foliados; además, otros se utilizan para postes de grandes dimensiones y trozos de exportación. Se emplean trozos de dimensiones mayores (diámetros desde 18 - 22 cm hasta 40 - 50 cm, y más) y de buena calidad (rectos y sin curvaturas, u otros defectos). Para algunos usos se requiere que la madera esté libre de defectos, básicamente sin nudos. Para usos aserrables, en general, la presencia de nudos muertos castiga el valor de la madera, requiriéndose nudos vivos o firmes. La madera gruesa proviene principalmente de los trozos basales, correspondientes a la primera y segunda troza o a los primeros 6 metros, produciéndose mayor volumen de ellos en bosques manejados (raleados). El valor unitario de este tipo de madera siempre es mayor que el de madera delgada; a mayor diámetro y calidad, se obtiene un mejor precio.

Montagu *et al.*, (2003) señalan que la mayoría de las plantaciones de eucalipto establecidas tanto en Australia como internacionalmente han crecido en rotaciones cortas con objetivos pulpables. La madera para pulpa es producida como un commodity y no hay oportunidades de mejorar su valor. Las plantaciones pulpables tienen un manejo típico simple, regímenes de baja intensidad y cosechados entre los 8 a 14 años.

La coproducción de múltiples productos proveniente de una misma materia prima incrementa el valor agregado total de ésta, y la integración de la cadena de valor de la producción de pulpa y papel, en la cadena global, aumenta en forma significativa el valor agregado de la madera pulpable. De esta forma, existen múltiples procesos de conversión para la utilización de los residuos forestales, con un mayor valor potencial agregado (Sathre y Gustavsson, 2009). Potts *et al.*, (2004) señalan que *E. globulus* es la mejor especie maderera existente hasta ahora destinada a la fabricación de papel y se estima que existen más de 5 millones de hectáreas plantadas en regiones templadas del mundo. (Soto, 2011)

La madera delgada en el mundo, también llamada madera astillable o pulpable, proviene principalmente de los raleos comerciales, de la cosecha de plantaciones jóvenes de rápido crecimiento, de bosques sin manejo y de la parte superior de los árboles provenientes de cosecha en bosques mayores. Su consumo mayoritario se destina a la producción de celulosa (plantas de celulosa locales, astillas o chips y madera pulpable de exportación) y tableros (de fibra y partículas). También se usa para polines, rodrigones, postes delgados, estacas, combustible, entre otros usos. Para ello generalmente se emplean trozos con diámetros desde a 8 - 18 cm. En *Eucalyptus sp.* se aceptan dimensiones desde 5 cm de diámetro; además, para pulpa y astillas también se utilizan aquellos trozos más gruesos, cuyos defectos, principalmente curvaturas y rajaduras, los descalifican para usos más exigentes como para la obtención de madera aserrada. Un importante volumen de un bosque puede destinarse a estos usos; en bosques manejados puede llegar a un 10 - 25% del volumen total, pudiendo llegar a un 50% en bosques no manejados, y hasta el 100% en plantaciones orientadas a producir sólo madera pulpable. El valor unitario de este tipo de madera es menor al de la madera gruesa, lo cual no significa que no sea interesante de producir; bajo algunas condiciones incluso puede ser el objetivo final, utilizando rotaciones cortas de alta rentabilidad.

Resultados de un estudio de Chao y Buongiorno (2002), indican que en la industria de la pulpa y el papel hay una relación de retroalimentación entre los exportadores y la producción de un país. En un mundo globalizado, sin embargo, la apertura del país involucra más que el comercio, y por lo tanto relaciones entre inversiones extranjeras directas, los niveles de exportación y producción deben ser estudiados con el objeto de comprender las presiones de utilizar los recursos forestales en países desarrollados (Laaksonen-Craig, 2004).

### **Rentabilidad de inversiones forestales**

---

Siendo marcada la incidencia de los recursos naturales en la economía del país, resulta esencial y prioritario que cuando se asignen recursos monetarios a una alternativa de inversión forestal, ésta sea evaluada económicamente.

Los recursos naturales según Common y Stagl (2008), se definen como todos aquellos bienes de que dispone el hombre como un “regalo de la naturaleza”. En nuestra sociedad, los recursos son escasos y las necesidades múltiples. El capital, el trabajo, los recursos naturales, la capacidad empresarial, que son los factores productivos, no se encuentran en forma ilimitada. A la vez cuando los tenemos debemos realizar una combinación tal de ellos que permita, por un lado maximizar la producción y además, y muy importante, realizarlo al mínimo costo monetario y ambiental.

Sathre y Gustavsson (2009) definen valor agregado como la diferencia en el valor económico entre las entradas físicas y salidas de un proceso de producción, señalando además que la fabricación de productos con estas características es considerado cada vez con mayor fuerza como un objetivo estratégico en la industria forestal.

Resultados del trabajo realizado por Sathre y Gustavsson (2009) mostraron que el tipo de biomasa forestal utilizado como insumo, influye fuertemente en el potencial para agregar valor. Trozas aserrables permiten la obtención de productos con un mayor valor agregado y por tanto son menos sensible a las fluctuaciones precios que la pulpa de madera y leña. Los productos estructurales de madera tales como madera aserrada y vigas laminadas proporcionan el mayor valor agregado en la industria.

Mathey *et al.*, (2009) en un estudio sobre la economía de la cadena de suministro de madera en Ontario, Canadá, determinaron que el factor que más influye en la rentabilidad de las empresas forestales corresponde a la accesibilidad, principalmente los desplazamientos por carreteras. Otros factores como políticas de cosecha, uso de normas de utilización no influyen tan significativamente en la rentabilidad. Otras consideraciones económicas que se debiesen tener en cuenta, son las relativas a los efectos provocados por el cambio climático, en la reducción de la rentabilidad como consecuencia de la caída de la productividad de las plantaciones forestales (Hanewinkel *et al.*, 2010).

Simonsen (2010) determinó que la fertilización es altamente rentable en plantaciones forestales de rápido crecimiento respecto de las de rotaciones más largas, ello debido a que el corto periodo de retorno de la inversión compensa el alto costo de los

fertilizantes. En tanto Toro (2004) considera que el empleo de una planta-tipo adaptada, con un material genético de alta calidad, e información del suelo y del sitio, son acciones que favorecen el aumento de la productividad de las plantaciones y del sitio, como también un mejoramiento de la rentabilidad.

Los indicadores de toma de decisiones son índices que nos ayudan a determinar si un proyecto es o no conveniente para el inversionista, permiten jerarquizar los proyectos en una cartera de inversión, permiten optimizar diversas decisiones del proyecto (ubicación, tecnología, reemplazo de equipos, segmentos de mercado a abordar, período óptimo de abandono del proyecto, estimación de sensibilidad de los beneficios ante variaciones en las variables relevantes, etc.).

Durante los últimos 60 años Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) se han convertido en la medición cuantitativa más utilizada para determinar la rentabilidad de las inversiones de las empresas modernas. A pesar de su popularidad actual, ni el VAN ni la TIR fueron diseñadas para hacer frente eficazmente a la gran mayoría de los problemas de inversión, es decir, aquellos en que los flujos de efectivo se generan entre el momento de la compra de activos y el momento de la venta. Un proyecto puede tener varias TIR si los flujos de caja van de negativo a positivo más de una vez. La Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM), tiene en cuenta estos flujos de efectivo (Kierulff, 2008).

Existen muchos modelos para determinar la tasa de descuento y ellos corresponden a las distintas formas que los proveedores del capital deducen el retorno o el costo del capital (Laborde, 2004). Los tres modelos más utilizados son:

- a) Tasa interna de retorno (TIR) del bono corporativo más premio por riesgo.
- b) Modelo de descuentos de dividendos.
- c) Modelo de valoración de activos financieros o *Capital asset pricing model* o (CAPM).

El modelo más robusto de éstos para determinar la tasa costo del capital es el CAPM, que parte de la base de que la tasa de rendimiento requerida de un accionista es igual a la tasa de rendimiento sin riesgo más una prima de riesgo, donde el único riesgo importante es el riesgo sistemático. Éste nos indica que cómo responde el rendimiento del título ante las variaciones sufridas en el rendimiento del mercado, lo cual viene medido a través del coeficiente de volatilidad ( $\beta$ ) (Brealey, 2001).

Las evaluaciones económicas en general son el reflejo de un conjunto de indicadores en un instante en el tiempo. La mayor parte de las variables son dinámicas y no controlables, lo que hace que el resultado final no necesariamente sea el definitivo. Con esta finalidad se realiza el análisis de sensibilidad de proyectos, que busca determinar cuánto incide en el resultado final un cambio en una o un conjunto de variables consideradas como relevantes para la evaluación económica.

Existen para este análisis dos enfoques que no necesariamente son excluyentes uno de otro: el unidimensional, que analiza el cambio en una variable y su impacto en el resultado final; éste se usa normalmente para dar respuesta a fenómenos que se producen en la economía y que describen el comportamiento de una variable manteniendo las demás constantes (*Ceteris paribus*). El enfoque multidimensional evalúa el cambio en más de una variable y su impacto conjunto en el resultado económico de una evaluación (Sapag, 2003).

Kangas *et al.* (2008) señalan que es difícil definir los límites entre el riesgo y la incertidumbre; cuando estas probabilidades se tornan a menudo en forma subjetiva es aconsejable integrarlas. Una manera de introducir el riesgo y la incertidumbre es a través de la simulación estocástica. Este método es muy flexible y se puede adaptar a diversas técnicas de optimización. El punto clave de la metodología es definir el problema como modelo de simulación estocástica (Lohmander, 2007). Algunos autores han aplicado la simulación por medio de los generadores de número al azar (González *et al.*, 2005), de las distribuciones de probabilidad (Pukkala, 1998) o de usar también las técnicas de Monte Carlo (Kaya and Boungiorno, 1987). Este método se ha utilizado ampliamente para integrar el riesgo (Möykkyinen *et al.*, 2000; González *et al.*, 2005;

González-Olabarría *et al.*, 2008; Hyytiäinen and Haigh, 2010) e incertidumbre (Pukkala and Miina 1997, Kaya and Boungiorno, 1987).

Markus *et al.*, (2010) determinaron las principales fuentes de incerteza que afectan el cálculo del valor neto presente en plantaciones forestales en Finlandia, estas son: errores en la toma de datos de terreno, imprecisión de los modelos estocásticos predictivos de precios de la madera, tasa de descuento utilizada, y errores de proyección de crecimiento del rodal. Esto concuerda en parte con Kallio (2010), quien señala que la impredecibilidad de los precios del mercado mundial para los productos forestales es una fuente importante de variación para los modelos de pronósticos. En este sentido, el Modelo de Montecarlo es una herramienta efectiva que contribuye a reducir estas incertezas. Por su parte Toro (2004), señala que el análisis de riesgos es un tema importante que sirve para prevenir o aminorar las pérdidas de productividad que pueden experimentar las plantaciones y mejorar así la rentabilidad.

La técnica de sensibilización utilizada en este estudio corresponde al denominado Método de Montecarlo. La principal razón para recurrir a este método es su flexibilidad, la que permite modelar adecuadamente todos los factores de riesgo que pueden afectar el valor de un activo, realizar simulaciones a plazos amplios, e incluir las interrelaciones entre los activos de un portafolio (Jorion, 2001).

Adicionalmente, el Método de Montecarlo posee las siguientes ventajas:

- Admite la posibilidad de que variables riesgosas subyacentes tengan efectos no lineales sobre los instrumentos del portafolio (Dancourt y Sotelo, 2004).
- Permite trabajar con funciones de distribución diferentes de la normal u otras funciones conocidas, y, en consecuencia, deja abierta la posibilidad de realizar análisis en los que se asocia a los eventos extremos con una mayor probabilidad de ocurrencia (Dancourt y Sotelo, 2004).
- Ofrece una buena aproximación, con la gran ventaja de ser flexible para simular el valor de los activos evaluados en aquellos casos en los que se presentan

discontinuidades o volatilidad estocástica o inclusive en aquellos casos en los cuales todo lo que se conoce es la distribución empírica del valor del activo o de sus retornos.

- Es muy versátil, dado que su aplicación es independiente del número de variables dinámicas considerada. De esta manera, el método de simulación de Monte Carlo es el método más robusto.

La metodología consiste en que luego de determinar la rentabilidad de cada tratamiento se realice un análisis de sensibilización de variables de impacto directo en la rentabilidad de un sistema productivo.

### **Hipótesis de la investigación**

---

De acuerdo a lo señalado anteriormente, son amplias las posibilidades de la especie *E. globulus* para la producción de madera con fines pulpables. Sin embargo, aún hay interrogantes en torno al efecto de factores que influyen en la rentabilidad del cultivo. Los factores considerados para este estudio fueron la fertilización, densidad de plantación, y riego.

Las preguntas a la base de esta tesis doctoral son:

- ¿La aplicación de fertilizantes contribuye a una mayor rentabilidad de las plantaciones de *E. globulus*?
- ¿El manejo de la densidad de plantación contribuye a una mayor rentabilidad de las plantaciones de *E. globulus*?
- ¿La aplicación de agua contribuye a una mayor rentabilidad de las plantaciones de *E. globulus*?

Con la finalidad de dar respuesta a estas hipótesis, se desarrollaron los siguientes capítulos que conforman el presente estudio:

**Capítulo 2.** Se efectuó una descripción de las técnicas silviculturales que afectan la productividad en *E. globulus*. Esta información proporciona un marco de referencia que fue útil para desarrollar los otros capítulos de este trabajo.

**Capítulo 3.** Se evalúa el efecto de la aplicación de distintas dosis de fertilizantes en la rentabilidad del cultivo.

**Capítulo 4.** Se evalúa el efecto de la aplicación de distintas densidades de plantación en la rentabilidad del cultivo.

**Capítulo 5.** Se evalúa el efecto de la aplicación de distintas técnicas de riego en la rentabilidad del cultivo.

**Capítulo 6.** Se presenta la discusión general de los resultados de la tesis.

**Capítulo 7.** Se presentan las conclusiones generales de la tesis.

**Capítulo 8.** Se presentan anexos con los flujos financieros para el cálculo de rentabilidad.

## Referencias

---

- Bleby, T. 2003. Water use, ecophysiology and hydraulic architecture of *Eucalyptus marginata* (Jarrah) growing on mine rehabilitation sites in the Jarrah forest of south-western Australia. Ph.D. Thesis. School of Plant Biology, The University of Western Australia. Australia. 250 p
- Brealey, R. 2001. Principios de Finanzas Corporativas. Quinta Edición. Editorial Mc Graw Hill. Barcelona. España. 805 p.
- Chao, W. and J. Buongiorno. 2002. Exports and growth: a causality analysis for the pulp and paper industries based on international panel data. Applied Economics 34: 1 - 13.
- Common, M. y S. Stagl. 2008. Introducción a la economía ecológica. Editorial Reverté. Barcelona. España. 562 p.

- Dancourt, D y S. Sotelo, 2004. Informe del Proyecto: Sostenibilidad Fiscal bajo Volatilidad Financiera: Una Aplicación de la Metodología Value at Risk para el Caso Peruano (2003). Universidad del Pacífico. Lima, Perú. 65 p.
- Eldridge, K., Davidson, J., Harwood, C., van Wyk, G., 1994. *Eucalypt Domestication and Breeding*. Clarendon Press, Oxford University Press. USA. 312 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 1981. El *Eucalyptus* en la repoblación forestal. Serie Montes 11. Roma, Italia. 723 p.
- Fumikazu, U. 2001. The Expansion of *Eucalyptus* Farm Forest and Its Socioeconomic Background: A Case Study of Two Villages in Khon Kaen Province, Northeast Thailand. *Southeast Asian Studies* 39 (3): 417-436.
- González E., Penalva Rodríguez F., Gómez Altamirano C. 1985. Exigencias nutritivas del *E. globulus* en el suroeste español comparadas con las de otras especies. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias* 9: 63-74.
- González, J.R., Pukkala, T. & Palahí, M. 2005. Optimising the management of *Pinus sylvestris* L. stand under risk of fire in Catalonia (northeast of Spain). *Annals of Forest Science* 62: 493-501.
- González-Olabarría, J.R., Palahí, M., Pukkala, T. & Trasobares, A. 2008. Optimising the management of *Pinus nigra* Arn. Stands under endogenous risk of fire in Catalonia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17 (1): 10-17.
- Hall, N; Johnston, R.D.; Chippendale, G.M. 1975. *Forest trees of Australia*. Canberra, Australia: Department of Agriculture, Forestry and Timber Bureau. Australia. 334 p.
- Hanewinkel M., Hummel S, and D. Cullmann. 2010. Modelling and economic evaluation of forest biome shifts under climate change in Southwest Germany, *Forest Ecology and Management* 259: 710-719.

- Hussain, I. and E. Biltonen. 2001, Irrigation against rural poverty: an overview of issues and pro-poor intervention strategies in irrigated agriculture in Asia - Proceedings of National Workshops on Pro-Poor Intervention Strategies in Irrigated Agriculture in Asia, Bangladesh, China, India, Indonesia, Pakistan and Vietnam IWMI Books, Reports International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. 284 p.
- Hyytiäinen, K. and Haight, R. 2010. Evaluation of forest management systems under risk of wildfire. *European Journal of Forest Research* 129: 909–919.
- INFOR (Instituto Forestal). 2000. Documento de Divulgación n°18. Establecimiento de plantaciones forestales. *Eucalyptus sp.* Santiago, Chile. 66 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2002. Manejo y Mantenimiento de Plantaciones Forestales, *Pinus radiata Eucalyptus sp.* Documento Divulgación N° 23. Santiago, Chile. 51p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2004. *Eucalyptus nitens* en Chile: Primera monografía. Informe Técnico N° 165. Valdivia, Chile. 143 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2011. Estimación de la superficie de bosques plantados. Centro de Información Forestal. Disponible en [¡Error! Referencia de hipervínculo no válida..](#) Fecha de consulta 22 de octubre de 2011
- INFOR-CORFO (Instituto Forestal–Corporación de Fomento de la Producción), 1991. *Eucalyptus*. Principios de silvicultura y manejo. Santiago, Chile. 198 p.
- Jorion P. 2001. Financial risk manager handbook 2001-2002. 2da Edición Ilustrada. Mac Graw-Hill. New York, USA. 345 p.
- Kallio, A.M.I., 2010. Accounting for uncertainty in a forest sector model using Monte Carlo simulation. *Forest Policy and Economics* 12(1): 9-16.

- Kangas, A., Kangas, J. & Kurttila, M. 2008. Decision support for forest management. *Managing Forest Ecosystems* . Ed. Springer. New York, USA. 236 p.
- Kaya, I. and Buongiorno, J. 1987. Economic Harvesting of Uneven-Aged Northern Hardwood Stands Under Risk: A Markovian Decision Model. *Forest Science* 33(4): 889-907.
- Kierulff, Herbert, (2008), MIRR: A better measure. *Business Horizons* 51(4): 321-329.
- Kirkpatrick, J.B. 1975. Geographical variation in *Eucalyptus globulus*. *Australian Forestry and Timber Bureau Bull.* 47. Canberra, Australia. 64 p.
- Knapp, K. and P. Sadorsky. 2000. Economics of agroforestry production in irrigated agriculture. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 25 (1): 286-306.
- Kardell, Lars, Steen, Eliel & Fabiao, Antonio, 1986. *Eucalyptus* in Portugal - A Threat or a Promise. *Ambio* 15(1): 6-13.
- Laaksonen-Craig, S. 2004. Foreign direct investments in the forest sector: Implications for sustainable forest management in the developed and developing countries. *Forest Policy and Economics* 6: 359–370.
- Laborde, P. 2004. Métodos prácticos de determinación de tasa de descuento. *Diario Financiero*. Santiago, Chile. *Management: Finanzas para emprendedores* 11: 10-13.
- Lohmander, P. 2007. Adaptive optimization of forest management in a stochastic world. In: *Handbook of operations research in Natural Resources*, Springer, Weintraub A., *et al* (EDS). Springer Science, International Series in Operations Research and Management Science. New York, USA: 525-544.
- Maestri R. 2003. Criterios de manejo forestal para la producción de madera sólida: el caso Aracruz. XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Argentina. 10 p.

- Markus H., Mäkinen A., Rasinmäki J., Hyytiäinen, K., Bayazidi S., and Il. Pietilä, 2010. Comparison of various sources of uncertainty in stand-level net present value estimates. *Forest Policy and Economics* 12(5): 377-386.
- Martínez R., Azpíroz H., Rodríguez J., Cetina V. y M. Gutiérrez. 2006. Importancia de las Plantaciones Forestales de *Eucalyptu*. Universidad Autónoma Indígena de México. *Ra Ximhai* 2(3): 815-846.
- Mathey A., Nelson, H, and C. Gaston. 2009. The economics of timber supply: Does it pay to reduce harvest levels?. *Forest Policy and Economics* Vol 11(7): 491-497.
- Montagu, K., Kearney, D., Smith, G. 2003. Pruning Eucalypts: The biology and silviculture of pruning planted *Eucalyptus* for clear wood production – a review. *Forest Ecology and Management* 179: 1–13.
- Möykkynen, T., Miina, J. & Pukkala, T. 2000. Optimizing the management of a *Picea abies* stand under risk of butt rot. *Forest Pathology* 30: 65-76.
- Muñoz, F. 2005. Evaluación de prácticas silvícolas en plantaciones de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden en Chile. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba, España. 166 p.
- Pampolina, N., Dell, B., N. Malajczuk. 2002. Dynamics of ectomycorrhizal fungi in an *Eucalyptus globulus* plantation: effect of phosphorus fertilization. *Forest Ecology and Management* 158 (1-3): 291-304.
- Potts B., Vaillancourt R., Jordan G., Dutkowski G., Costa E Silva J., Mckinnon G., Steane D., Volker P., López G., Apiolaza L., LI Y., Márquez C., Borralho N., 2004. Exploration of the *Eucalyptus globulus* gene pool. IUFRO Conference *Eucalyptus* in a changing world, Averio, Portugal. 11-15: 46-61.
- Prado, J., Toro J. A. V., 1996. Silviculture of eucalypt plantations in Chile. In: Nutrition of Eucalypts. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO, Melbourne, Australia. 12 p.

- Pukkala, T. 1998. Multiple risks in multi-objective forest planning: integration and importance. *Forest Ecology and Management* 111:265–284.
- Pukkala, T. and Miina, J. 1997. A method for stochastic multiobjective optimisation of stand management. *Forest Ecology and Management* 98: 189-203.
- Raga, F. 2002. Madera sólida de *Eucalyptus*: una tendencia para considerar.. Fundación Chile, Santiago, Chile. *Revista Lignum* N° 61. Disponible en <http://www.lignum.cl/revistas/index.php?id=62>. Fecha de consulta 15 de Enero de 2008.
- Roberts, S., Vertessy, R.A., Grayson, R.G., 2001. Transpiration from *Eucalyptus sieberi* (L. Johnson) forests of different age. *Forest Ecology and Management* 143(1): 153-161
- Rodríguez-Vicente, V y Marey-Pérez, M. 2009. Land-use and land-base patterns in non-industrial private forests: Factors affecting forest management in Northern Spain. *Forest Policy and Economics* 11(7): 475-490.
- Santelices, R. 2005. Desarrollo de una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. *Bosque* 26(3): 105-112.
- Sapag, N. 2003. Preparación y Evaluación de Proyectos. 3ª Edición. Editorial Mc Graw Hill Interamericana, S.A. Bogotá, Colombia. 404 p.
- Sathre, R. y Gustavsson, L. 2009. Process-based analysis of added value in forest product industries. *Forest Policy and Economics* 11(1): 65-75.
- Simonsen, R. 2010. Profitability of measures to increase forest growth. *Forest Policy and Economics* 12(6): 473-482.
- Soto, M.A. 2011. El problema de las plantaciones de eucalipto. Asociación Medio Ambiental IZATE. Disponible en <http://izate.blogspot.com/2011/03/problema-de-las-plantaciones-de.html>. Fecha de consulta 15 de octubre de 2011.

- Sotomayor, A., E. Helmke y E. Garcia. 2002. Manejo y mantención de plantaciones forestales: *Pinus radiata* y *Eucalyptus sp.* Documento de Divulgación N°23. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 56 p.
- Toro J. 2004. Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque* 25(2): 101-113.
- Touza, M. 2001. Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuados para procesar *Eucalyptus globulus* con tensiones de crecimiento. *Revista CIS – Madera* 6:8-37.
- Valencia B. y Cabrera P. 2008. *Eucalyptus nitens* en Chile: Desarrollando Silvicultura de alto valor. Informe Técnico n° 175. Santiago, Chile. INFOR. 107 p.
- Whittock, S., Greaves, B., Apiolaza, L. 2003. A cash flow model to compare coppice and genetically improved seedling options for *Eucalyptus globulus* pulpwood plantations. *Forest Ecology and Management* 191: 267–274.

**FACTORES SILVICULTURALES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD  
EN *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL.**

---

**CAPÍTULO 2**

## CAPÍTULO 2: FACTORES SILVICULTURALES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL.

### Introducción

Nambiar (1990), sostiene que las estrategias para el establecimiento de plantaciones envuelven combinaciones de diversas técnicas, entre ellas las de preparación física del suelo y la fertilización; y que la selección de una determinada combinación surge de considerar factores tales como características edáficas, topografía, requerimientos y tolerancia de la especie, el clima y los costos. Según Fox (2000), la productividad de una plantación está influenciada por cinco factores que deben ser considerados en la planificación de ésta previa a su establecimiento, teniendo presente el objetivo para el cual se planta. A saber: densidad de la plantación, control de malezas previo y post establecimiento, fertilización, genética de los individuos a plantar y calidad del suelo.

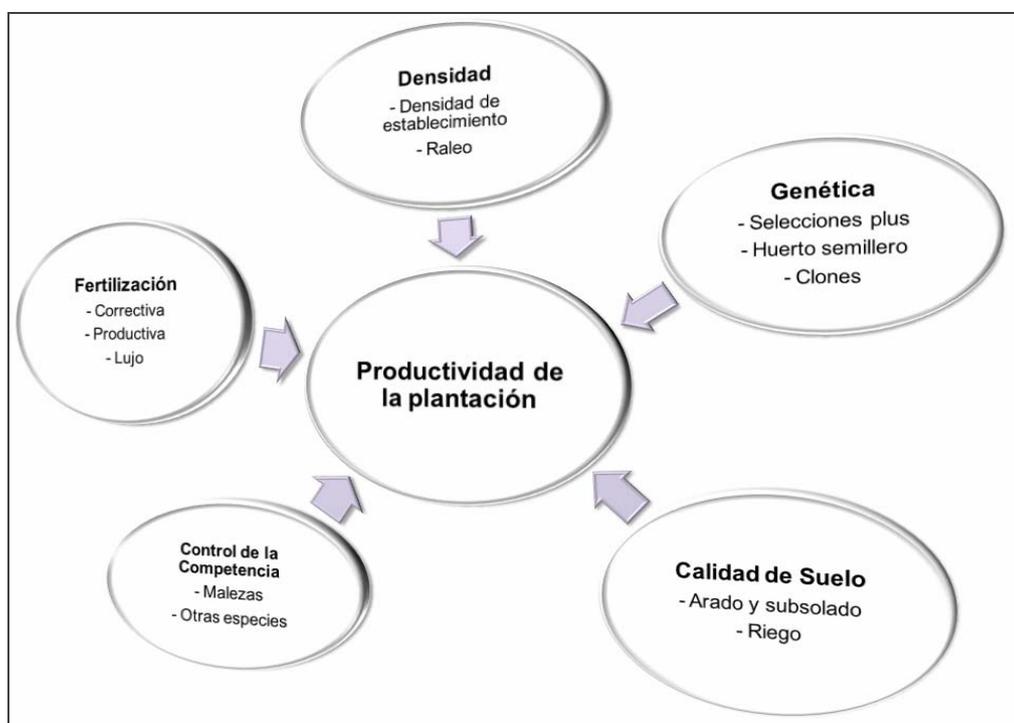


Figura 2-1. Factores que afectan la productividad de las plantaciones (Fox, 2000).

Los factores según Acosta (2008), se describen de la siguiente forma:

•**Densidad:** se refiere a la cantidad de plantas a establecer en una superficie determinada y su espaciamiento geométrico. Esto produce un efecto directo sobre la productividad del sitio. Al aumentar la densidad se aumenta igualmente la producción, hasta un cierto límite (antes de la competencia intraespecífica). También se considera el raleo, como una redistribución de recursos en un número reducido de individuos seleccionados bajo un cierto criterio.

•**Control de maleza:** consiste en la eliminación de vegetación indeseable para la plantación. Los recursos de un sitio (suelo) son limitados, por lo cual la competencia tanto intra como interespecífica son variables a manejar y controlar. Un control de maleza en los primeros años de la plantación libera directamente recursos como luz, agua y nutrientes a las especies deseada u objetivo de la plantación.

•**Fertilización:** consiste en la aplicación artificial de nutrientes al suelo. Comúnmente la demanda de recursos nutritivos, sobre todo en las fases iniciales de crecimiento, supera largamente la oferta que puede entregar el suelo. Por tanto, se hace necesario un aporte de nutrientes directo, normalmente acompañado de un control de malezas.

•**Genética:** consiste en la utilización de plantas con características extraordinarias obtenidas a partir de mejoramiento genético. La inversión en genética ha demostrado interesantes retornos. Individuos procedentes de material genético mejorado, muestran mayores tasas de crecimiento, mejores y homogéneas características de crecimiento, y resistencia a plagas y enfermedades.

•**Calidad del suelo:** se refiere a las características físicas, mecánicas y químicas del suelo. Afectan directamente la tasa de crecimiento de la plantación. Un suelo fértil permite un mayor crecimiento de una plantación. Como se observa en la figura 1, la combinación de estos factores afecta la productividad de una plantación en un sitio determinado. La combinación entre preparación del suelo, control de malezas y adición de fertilizantes ha dado como resultado una mejor supervivencia e incrementos

adicionales en el crecimiento inicial de las plantaciones. La preparación del suelo se potencia con la fertilización. Sin embargo, una apropiada preparación del suelo requiere conocer previamente las limitaciones existentes en un sitio determinado.

Nambiar (1990) sostiene que las estrategias para el establecimiento de plantaciones envuelven combinaciones de diversas técnicas, entre ellas las de preparación física del suelo y la fertilización; y que la selección de una determinada combinación surge de considerar factores tales como características edáficas, topografía, requerimientos y tolerancia de la especie, el clima y los costos.

Para el caso de la presente tesis, se consideran en los estudios realizados la densidad, el control de malezas, la fertilización, el uso de plantas mejoradas genéticamente y el tratamiento del sitio en lo que dice relación a su laboreo para mejorar sus condiciones para una mejor absorción de nutrientes y disponibilidad de agua. De esta forma, un esquema de manejo para el establecimiento de plantaciones debe considerar la combinación óptima de los factores descritos anteriormente y a su vez mejorar los que no se encuentren dentro de los parámetros ideales para un correcto desarrollo de los individuos. El objetivo de todas estas intervenciones está orientado a favorecer el crecimiento inicial, sobrevivencia y desarrollo de las plantas. Sin embargo, la adecuada selección de técnicas e intensidad silvícola debe ser evaluada en función de los retornos económicos esperados a la edad de rotación (Albaugh *et al.*, 2004). Por lo tanto, para la evaluación económica se deben considerar los impactos de las decisiones del esquema de manejo seleccionado en el sentido de las alteraciones que se producen en los costos, ya sea como reducciones o aumentos, de plantación, replantes, controles de malezas adicionales, sobrevivencia y calidad de la madera producida, además de las posibles interacciones con vientos, heladas, plagas o enfermedades, que puedan ser exacerbadas por alguna mala selección de estrategias. (Rubilar *et al.* 2008).

Además del apropiado esquema de manejo seleccionado, se debe tener en consideración el momento óptimo de su aplicación. La oportunidad temporal de la preparación del sitio, la época de plantación, de aplicación de fertilizantes y control de

malezas, exige que su ejecución deba ser planificada y ejecutada en las precisas ventanas de aplicación apropiadas para lograr las respuestas esperadas. El establecimiento de plantaciones forestales requiere de inversiones de largo plazo, por lo cual es crucial predecir respuestas específicas al sitio para poder realizar decisiones de manejo que sean efectivas en costo y económicamente rentables (Mason and Milne, 1999).

Por lo tanto, dentro de los mayores desafíos que enfrenta el establecimiento intensivo de plantaciones forestales se plantea la correcta definición de especies y genotipos junto con la adecuada combinación de técnicas silvícolas que permitan maximizar la rentabilidad del sitio de una manera sustentable o ecológicamente aceptable. El uso de sistemas de silvicultura de precisión apoyados por información de sensores remotos y programas de modelamiento espacial de información son herramientas de apoyo en la adecuada toma de decisiones, sin embargo, la efectividad de estas herramientas requieren de una adecuada comprensión de los procesos ecofisiológicos subyacentes en el desarrollo de especies y genotipos forestales (Rubilar *et al.* 2008).

Un ejemplo de lo señalado anteriormente se constata en un estudio realizado por Geldres y Schlatter (2004) en una plantación de *Eucalyptus globulus*. La falta de técnicas adecuadas al establecimiento sumado a bajas temperaturas del período invernal generaron un incremento medio anual de 10-12 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año, el nivel más bajo del crecimiento proyectado. Sin embargo, en plantaciones de la misma especie, establecidas en un sitio favorable de la misma zona y con técnicas silviculturales de establecimiento más exigentes, se logró un crecimiento muy superior: 32 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año. Los resultados obtenidos indican que en condiciones climáticas marginales para la especie se requiere una cuidadosa selección del sitio, momento de la plantación y aplicación de fertilizantes y herbicidas.

### **Preparación del sitio**

---

La preparación del suelo, ha sido profusamente recomendada como una de las principales técnicas silvícolas de establecimiento intensivo para lograr buenos

resultados en el desarrollo inicial de plantaciones de eucalipto. El objetivo de la preparación del sitio es suministrar a las plantas las mejores condiciones para lograr un buen desarrollo del sistema radicular que optimice el acceso al agua y a los nutrientes, además de brindar un buen anclaje (Larocca *et al*, 2004)

La intensiva preparación del suelo influye también directamente, y de manera sinérgica, con otras técnicas de tratamiento silvicultural (Pereira *et al.*, 1996). Una combinación entre preparación del suelo, control de malezas y adición de fertilizantes han dado como resultado incrementos en el crecimiento inicial y supervivencia en plantas de *E. globulus* y *E. delegatensis* (Lyon, 1990).

Una apropiada preparación de suelo requiere información previa de las limitaciones existentes del sitio destinado a plantar (Toro, 1995), ésta es de vital importancia para preparar las prescripciones que facilitarán la implementación de esquemas silvícolas específicos. Con ello se permite evitar o disminuir los riesgos que pueden afectar a las plantaciones (Bataglia *et al.* 2002). Según Allen (1987), los criterios de diagnóstico para la selección de sitios que presenten respuestas biológicas a la adición de fertilizantes y densidad de plantación incluyen: características del perfil de suelo, posición topográfica, provincia fisiográfica, niveles de fertilidad del suelo, concentraciones foliares, clase de sitio y densidad del rodal. Al respecto, Rubilar *et al.*, (2009) señalan que en la preparación del suelo deben también considerarse tareas de control de la erosión en sitios con pendiente, trabajos de drenaje en sitios con exceso de humedad, preparación de cubiertas de mulch en sitios con restricciones hídricas y establecimiento de especies fijadoras de nitrógeno (N) en sitios de muy baja fertilidad. En sitios de menor fertilidad se requiere favorecer la acumulación e incorporación de materia orgánica para maximizar la disponibilidad de los recursos nutricionales. Varios estudios han demostrado que entre el 5 al 50% del N del sitio puede estar almacenado en los residuos provenientes de la cosecha anterior (Rubilar, 2005). En sitios de menor fragilidad y que tengan altos niveles de materia orgánica en el suelo, se puede utilizar la quema controlada como estrategia de reducción de desechos. Sin embargo, tal como se señala más adelante, dadas las actuales investigaciones sobre su uso y también por

regulaciones ambientales, la quema de desechos no es una opción que se pueda utilizar extensivamente. Complementariamente, en suelos de bajo tenor de materia orgánica, se ha implementado el picado de desechos por medio de trituración mecánica como estrategia de reciclaje de nutrientes con menor impacto ambiental.

La bibliografía respecto de la intensidad de la intervención sobre el suelo en el que se va a establecer una plantación, presenta conclusiones contradictorias en cuanto a sus efectos sobre la producción final (Delgado *et al.*, 2006). Según, Ñancuvilu (1995), la preparación del suelo tiene un efecto de larga duración, teniendo mayor incidencia en el desarrollo que en la supervivencia de las plantas propiamente tal. Sin embargo, Pérez *et al.*, (2001) probaron en plantaciones de *Eucalyptus grandis*, que si bien es cierto se encontraron diferencias en supervivencia y crecimiento al año de la plantación, no las hubo al cabo de 9 años en que el volumen total por individuo fue el mismo con independencia de la intensidad de laboreo del suelo en el establecimiento. Algunos autores concluyen que una preparación intensiva del sitio mejora las tasas de crecimiento y supervivencia (Schönau and Herbert, 1993), en tanto otros, concluyen que el laboreo reducido es lo adecuado (Norris & Stuart, 1994; Madeira *et al.*, 2002). Esto, sumado a que desde la plantación hasta el cierre del dosel es el período de mayor riesgo de erosión (excluyendo el momento de la corta de los árboles), resalta la importancia de establecer prácticas de manejo de suelos que alcancen niveles de intensidad sobre éste que resulten ser adecuados, minimizando el riesgo de erosión (Martino *et al.*, 1997). Estas miradas nacen de posturas desarrollistas (máximo de productividad) versus las conservadoras o más ligadas a principios de largo plazo de sostenibilidad. En definitiva, las recomendaciones silvícolas deben ser específicas para cada sitio. Por lo tanto, no puede planificarse un sistema de preparación de terreno y plantación igual para los diferentes sitios ya que sus resultados pueden ser radicalmente distintos en cuanto a su comportamiento productivo así como económico. La planificación del establecimiento de plantaciones requiere de una buena clasificación de suelos y sitios y el desarrollo de una silvicultura apropiada para cada uno de ellos (Dalla Tea *et al.*, 1998).

La preparación del suelo incluye una fase previa a éste propiamente tal, denominada habilitación del terreno. Consiste en despejar al máximo la superficie a plantar de manera que se facilite la plantación o bien las otras faenas asociadas a ésta. INFOR (2002), señala que la actividad de habilitación de terrenos considera dos faenas: roce y ordenamiento de desechos en cordones o fajas. El roce se realiza cuando existe una cubierta vegetal que puede afectar el desarrollo de la futura plantación. Se debe considerar eso sí que en general en muchos países esta práctica está regulada para evitar daño sobre la vegetación nativa de conservación o protección que debe ser protegida. El roce se puede realizar por medios manuales (uso de herramientas cortadoras manuales), medios mecánicos (uso de maquinaria pesada); o medios químicos (uso de herbicidas).

El roce manual se realiza mediante el uso de herramientas manuales como el rozón, hacha o con maquinarias menores como la desbrozadora y motosierra. Los rendimientos varían de acuerdo al tipo y densidad de la vegetación del lugar, así como de las características topográficas del terreno. Principalmente se realiza en terrenos de pendientes fuertes o cuando la vegetación presente es poco densa y no representa problemas de competencia. En el roce mecánico se emplean una variedad de maquinarias que sirven para estos fines. Entre ellas destacan la excavadora con oruga, tractor picador y bulldozer. Estas máquinas tienen como restricciones la pendiente del terreno y la fragilidad del sitio, es así como el tractor y el bulldozer presentan limitaciones en pendientes mayores al 30%, mientras que la excavadora puede maniobrar hasta en pendientes del 50% (INFOR, 2002). El roce químico utiliza herbicidas sistémicos de amplio espectro tales como glifosato. Permite un adecuado control de malezas y se combina muchas veces con los otros roces mencionados anteriormente. Asimismo, minimiza el movimiento y tiempo de exposición de suelo desnudo reduciendo los riesgos de erosión. Estas aplicaciones conviene efectuarlas en primavera u otoño cuando las malezas están en activo crecimiento (Dalla Tea *et al.*, 1998).

Los desechos producto del roce son ordenados ya sea manual o mecánicamente. Estos pueden permanecer en el lugar e incorporarse paulatinamente al suelo por procesos de descomposición o bien ser tratados por maquinaria especializada que los transforma en astillas que se reparten homogéneamente por la superficie y de esta forma integrarse al suelo.

También los desechos pueden ser quemados y con ello reducir el stock de semillas de malezas en el suelo y liberar nutrientes no disponibles de la materia orgánica. La quema facilita el trabajo de los tractores para la preparación final del suelo previo a la plantación (subsolado, rotovator, etc.) y uniforma la cobertura de herbáceas anuales y perennes para el cultivo químico posterior (INFOR, 2002). Investigaciones sucesivas sobre los efectos de esta herramienta concluyen, en general, que su uso más allá de provocar beneficios, induce a pérdidas en el largo plazo, de manera que esta práctica ha quedado desarraigada de los esquemas más modernos (Lupi *et al.*, 2003). Estudios previos avalan lo señalado. Se ha observado que mediante las quemas y el consecuente incremento temporal en la disponibilidad de nutrientes se puede lograr un efecto positivo sobre el crecimiento inicial (Fernández *et al.*, 2000), a pesar de ello, está documentado que esta práctica puede causar cambios importantes en la solución del suelo, pérdidas directas de materia orgánica y de los nutrientes contenidos en los residuos y en los horizontes superficiales, llevando a una disminución en la oferta nutricional en el mediano y largo plazo (Khana y Raison, 1986). Especialmente la quema de residuos de cosecha después de la tala rasa puede producir pérdidas muy importantes de nitrógeno, fósforo y otros elementos. Es por ello que la quema comienza a ser reemplazada por el mantenimiento de los residuos en el terreno. La acumulación de materia orgánica en estos sistemas, comparado con sistemas convencionales, le confiere al suelo mejoras importantes en su calidad y aumentos en su capacidad de secuestro de carbono (Six *et al.*, 2000).

Una vez habilitado el terreno o despejada la vegetación indeseable o tratado los desechos existentes, se procede al laboreo del suelo. Esta faena puede realizarse de manera manual o mecanizada, dependiendo de las condiciones topográficas y/o

restricciones de carácter económico que pueden incidir en la toma de decisión por parte del silvicultor. La preparación manual consiste en la utilización de una pala plantadora que cultiva el suelo para formar una casilla donde se instalará la planta. Las dimensiones de ésta son generalmente de 40 cm de ancho por 40 cm de largo y 35 cm de profundidad. En terrenos menos compactos, se puede aplicar la técnica neocelandesa que consiste en la aplicación de un corte longitudinal de la tierra con la pala plantadora y dos cortes perpendiculares a éste con posterior remoción del suelo. (INFOR, 2002).

Aparicio (2006) señala que los sistemas de preparación de terreno son muy variados. El autor distingue los siguientes sistemas:

**Cultivo cero:** en algunos suelos muy arenosos y con escasa cobertura herbácea puede plantarse sin previo movimiento de suelo. Sólo se planta con pala o azadón sin remover la capa herbácea. Puede realizarse una aplicación de herbicidas preplantación. Con condiciones de humedad apropiada se logra una buena supervivencia de la plantación, aunque el crecimiento puede ser inferior al potencial del sitio.

**Arado de disco:** el uso de arado de discos tiene como principal objetivo el control de malezas. El barbecho así logrado permite también una buena acumulación de humedad y una rápida mineralización de la materia orgánica. Es muy común el uso de rastra "rome" de más de 20 discos y con gran peso. La arada con disco puede también contribuir a reducir la compactación del suelo que puede ser provocada por la cosecha en una tala rasa. Las mayores desventajas de la labranza mecánica están relacionadas al potencial efecto erosivo de lluvias y vientos con el terreno completamente desnudo. Estos problemas se maximizan en sitios de fuertes pendientes y/o con suelos sensibles a la erosión (suelos altamente susceptibles son comunes en la zona).

**Camellones (o mounding):** En sitios húmedos con suelos de pobre drenaje donde la napa de agua reduce el crecimiento radicular, el uso de camellones permite una mayor aireación de las raíces. Asimismo, se concentra la materia orgánica y nutrientes en la

línea de plantación. En suelos arcillosos densos, también se logra un efecto de aumentar el tamaño de macroporos y reducir la densidad del suelo, aumentando en consecuencia su aireación. El uso de camellones puede reemplazar y mejorar el efecto que se obtiene con sistemas de drenajes los que podrían ser muy costosos. En sitios secos, estos camellones pueden aumentar el stress hídrico al drenar el agua hacia fuera de la línea de plantación. Por este motivo, el uso de camellones debe restringirse a suelos con drenaje deficiente y que no sufran largas sequías estacionales. En sitios húmedos, los camellones mal orientados pueden limitar el drenaje natural del terreno y afectar el crecimiento. La formación de camellones puede realizarse con rastras modificadas con discos enfrentados; en cualquier caso van acompañados de un rolo convexo para completar la forma del mounding.

**Subsolado:** el uso de subsolador o ripper tiene como objetivo trabajar la línea de plantación en profundidades que van de 40 a 100 cm; el ripper tiene una púa en su extremo y 1-2 pares de aletas a distinta profundidad que permiten una cierta roturación. Se emplean también ripper con 2 púas laterales además de la central, para una mejor roturación de la línea pero requiriendo mayor potencia de los tractores. De acuerdo al tipo de suelo que se trabaja y la profundidad que se pretende subsolar puede utilizarse tractores agrícolas de 120 a 170 HP o bulldozer tipo D7 o D8.

De los señalados anteriormente, una de las estrategias más difundidas en la actualidad es el subsolado con rastraje previo a la plantación (Acevedo, 2008), ya que su acción permite romper el suelo en profundidad, fracturando capas de suelo de alta densidad y capas de concreciones con el objetivo de facilitar el libre desarrollo radicular, aumentando la capacidad de retención de agua y la velocidad de infiltración, debido a que se reduce la densidad y aumenta la porosidad de los horizontes del subsuelo. El subsolado siempre debe ser acompañado con otro tratamiento de suelo superficial o con algún método de control de competencia. Además, el subsolado puede tener efectos negativos en el desarrollo radicular. La raíz puede desarrollarse en un plano, en el mismo sentido del subsolado, lo cual disminuye la resistencia de los árboles al viento (Barros y Prado, 1989; Durán, 1995; Ibáñez *et al.*, 2004). Botta (1997) sostiene que el

peso del apero mecánico y de tracción producen algún grado de compactación y demostró que la misma es de carácter subsuperficial (debajo de los 40 cm) y es provocada por el peso del equipo, independientemente de la presión específica. Por ello recomienda que esta alternativa debería ser utilizada en casos excepcionales de acuerdo al tipo de suelo en la que se establecerá la plantación.

El subsolado debe hacerse con rastraje, que tiene por objetivo romper los terrones formados por el paso del subsolador y eliminar las bolsas de aire ocasionadas por la fractura del suelo (Durán, 1995). Actualmente la utilización de maquinaria que combina una púa de subsolado ajustable más el discado proporciona una manipulación de suelos más completa en un solo paso, reduciendo el costo y la compactación del suelo (Ibáñez *et al.*, 2004).

Según INFOR (2001), la preparación del suelo en Chile para especies del género *Eucalyptus*, debe realizarse en los meses de marzo a mayo, antes de comenzar las lluvias. Las hileras de plantación deben ser diseñadas en el sentido de las curvas de nivel, para evitar todo el arrastre de material, consecuencia de las lluvias. La legislación chilena impide la corta de formaciones nativas para que éstas sean reemplazadas por plantaciones exóticas, de tal modo que se debe considerar un roce liviano a moderado, evitando remover la vegetación nativa, especialmente en áreas de protección de cauces y quebradas. El suelo es intervenido mediante un subsolado de 40 a 50 cm de profundidad o arado total de la superficie. En casos de suelos que poseen un pan o pie de arado se realiza un subsolado profundo (60 – 80 cm) o escarificado (40 – 50 cm de profundidad). Según sea la profundidad del subsolado se hace más eficiente el uso del tractor agrícola a menor profundidad que el tractor oruga.

Tal como se señaló al comienzo de éste acápite, no existen recetas que puedan aplicarse libremente y obtener buenos resultados productivos y económicos. La gran variedad de factores que influyen en éstos indican que los estudios deben ser sitio-específicos.

## **Densidad de plantación**

---

Una de las ventajas de las plantaciones es que se puede controlar el número inicial de plantas por superficie y el espaciamiento entre ellas (Smith *et al.*, 1997). Sin embargo, el espaciamiento inicial no puede ser una simple regla o prescripción silvícola. Florence (1996) señala que el espaciamiento inicial óptimo puede ser influido por muchos factores, tales como las características de la especie, la calidad del sitio, la edad a la cual se pueden aplicar raleos comerciales, los métodos de cosechas y los objetivos del manejo y los productos esperados de éste (astillado, aserrado, debobinado, etc). Además, se debe considerar la distancia de mercado. En este sentido, esta elección ha llevado al silvicultor a un dilema productivo y económico, respecto de las opciones de manejo de la masa forestal desde el momento del establecimiento y durante el manejo de la misma (Lavery, 1986)

Maestri (2003) señala que la densidad de la plantación y el ritmo de crecimiento de las plantas de eucalipto son los principales condicionantes que determinan el momento de cierre del dosel. Hay menos espacio vital para cada árbol en condiciones de alta densidad de plantas. Como resultado, el cierre de las copas ocurre más temprano y la base de la copa asciende más rápidamente. La reducción de la densidad, por el contrario, permite mayor espacio para cada árbol posibilitando mayor intercepción de luz, atrasando el ascenso de la base de la copa y aumentando la asimilación individual de carbono.

El nivel de ocupación del rodal afecta la composición dasométrica del mismo a través de una serie de atributos, tales como su diámetro medio, volumen, conicidad media, longitud media de copa, tamaño de ramas, vigor de los árboles y longitud de la rotación. A la vez, estos atributos afectan la cantidad y calidad de la madera producida y por ende su valor comercial (Farndern, 1996). Al respecto Archibald (2005) señala que el conocimiento previo de los incrementos volumétricos y de la composición dasométrica para distintas densidades iniciales de plantación, es condición necesaria para evaluar todas las alternativas y realizar la elección más conveniente.

Muñoz (2005) y Marutani (2010) coinciden que en general la determinación de la densidad inicial de una plantación puede estar en función de la obtención de la máxima

productividad del sitio, no obstante, en el análisis de la rentabilidad se deben tener en consideración los costos de establecimiento y los de la cosecha futura. El rodal debe ser plantado con el menor espaciamiento posible cuando la especie es más tolerante a la competencia o la calidad del sitio es alta, o los raleos comerciales se pueden ejecutar antes de que se produzcan pérdidas de madera por mortalidad. Espaciamientos reducidos pueden ser apropiados cuando la calidad de la madera no es fundamental ya que probablemente sea deficiente o heterogénea y se dispone de muchos árboles que pueden ser seleccionados para la cosecha final. Por otra parte, los espaciamientos iniciales pueden ser más amplios cuando la especie es intolerante a la competencia, o la mortalidad se inicia a temprana edad, o los raleos comerciales deben ser propuestos por motivos económicos (Florence, 1996, Smith *et al*, 1997).

En los climas mediterráneos, el agua es el factor más importante que controla la productividad de los eucaliptos (Pacheco *et al.*, 1997), por lo que las sequías han sido un importante factor que ha limitado el crecimiento de estas especies (Pereira, 1994). Una forma de resolver este problema es establecer un marco de plantación adecuado, puesto que el monto de agua disponible por planta depende del espaciamiento de los árboles (Donner y Running, 1986; Aussenac y Granier, 1988; Pothier y Margolis, 1990). Por esto es necesario determinar un adecuado equilibrio de disponibilidad hídrica y competencia, mediante un espaciamiento que permita utilizar adecuadamente los recursos del sitio y que no provoque la muerte de los ejemplares plantados.

Jobet (1999), señala que para *E. globulus* el espaciamiento es un factor de importancia con el cual influir en la productividad del sitio, aunque no único, pues necesariamente debe hacerse una buena combinación, por ejemplo entre espaciamiento, edad de rotación y calidad de sitio. Es decir, en sitios de baja productividad se recomienda un espaciamiento inicial de 4 x 2,5 m, densidades del orden de los 1.000 arb<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>; en cambio para sitios de alta productividad se aconseja un espaciamiento inicial de 3 x 2 m, densidades de 1.600 arb<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>. Para sistemas silvopastorales las densidades varían desde 400 a 800 arb<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>.

Según INFOR (2001), el espaciamiento óptimo varía de acuerdo a los objetivos de la plantación ya que en un extremo está la maximización de la producción total de madera, la cual se consigue haciendo un uso intensivo del sitio a través de un manejo de la plantación con regímenes de raleos sucesivos, interviniendo cuando los niveles de competencia están al borde de la mortalidad de los árboles suprimidos o dominados, y mantenimiento de la mayor cantidad de copa viva por individuo posible (Avery y Burkhart, 1994). En el otro extremo está la maximización del diámetro promedio de los árboles de la plantación y la obtención de trozas basales libres de nudos, de manera de obtener en la cosecha final, madera de valor económico unitario alto a través de: a) manejo de la plantación de modo que con densidades bajas o intermedias se maximice el espacio disponible para cada individuo para desarrollar su copa sin competencia con los otros individuos de la misma, Daniel *et al.*, (1982), y b) prácticas de podas sucesivas de manera que al momento de la corta final se obtengan trozas basales donde las marcas o cicatrices de las ramas estén circunscritas a un cilindro central pequeño (Fassola, 1992). Es así como, el crecimiento en diámetro es más fácil de controlar en función de factores como la densidad de los árboles. A edades tempranas un espaciamiento inicial de 3 x 3 m muestra un crecimiento en diámetro superior al de otros espaciamientos como 2,5 x 2,5 m o 2 x 2 m, pero cuando los árboles entran en competencia estos incrementos disminuyen significativamente (Saavedra, 2004).

El aumento de la densidad de plantación afecta al crecimiento individual de los árboles manifestándose por una disminución en el diámetro y altura, debido a que se incrementa la proporción de árboles suprimidos o dominados. Por otra parte, lo anterior contrasta por un aumento de la biomasa total por hectárea (Pinilla y Ulloa, 2001). Además, cuando la densidad es excesiva la calidad del producto final, aserrío o chapa, podría llegar a compensar la pérdida productiva, si bien el turno o edad de corta es más largo que a densidades altas y con intervenciones de podas y raleos. Estas tendencias han sido reportadas para *Eucalyptus* (Shönau y Coetzee, 1989; Bernardo *et al.*, 1998) y específicamente en *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* (Mushove, 1991), *E. grandis* (Coetzee, 1991; Dalla-Tea, 1995), *E. nitens* (Neilsen y Gerrand, 1999) y *E. globulus* (Madrigal *et al.*, 1999; Pinilla y Ulloa, 2001). Sin embargo, el punto de compromiso para

conseguir el máximo de producción maderera puede estar condicionado no solo por la especie sino también por el sitio (Coetzee, 1991; Madrigal *et al.*, 1999), incluso más concretamente por la preparación del sitio, tal como menciona Mushove (1991).

Cockerman (2004), en un estudio de seis años en *E. camaldulensis* determinó que los rendimientos en volumen por hectárea son mayores a densidades más altas de plantación, esto es, densidades de 800 arb<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> arrojaron 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, mientras que densidades de 2.200 arb<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> alcanzaron 130 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, el volumen individual de los árboles fue mayor a bajas densidades de plantación, es decir, se obtuvo para las densidades señaladas volúmenes de 0,12 y 0,07 m<sup>3</sup> arb<sup>-1</sup> respectivamente.

Miranda *et al.*, (2003), señala que estos autores estudiando variación de densidad básica en *Eucalyptus grandis*, determinaron que tratamientos silviculturales que presentan altas tasas de crecimiento están asociados directamente con densidades básicas medias más altas. Miranda *et al.*, (2003), estudiando la influencia del espaciamiento sobre las propiedades de la madera de *E. globulus*, determinaron que existe una tendencia del peso específico a aumentar a medida que disminuye la densidad de plantación, encontrando una variación en valores promedios para árboles de 18 años, desde 565 kg m<sup>3</sup> a 594 kg m<sup>3</sup> para espaciamientos de 3 x 2 m y 4 x 5m respectivamente, sin embargo, su estudio no presentó valores estadísticamente significativos. Resultados similares fueron logrados para la misma especie por Saavedra (2004), que mediante un análisis de varianzas pudo establecer que existen diferencias significativas entre las medias de las parcelas con espaciamientos de 2 x 2 m y 4 x 4 m, pudiéndose determinar que éstas últimas presentan valores superiores en peso específico, a las parcelas plantadas con espaciamiento de 2 x 2 m, lo que concordaría en parte con los resultados obtenidos. A su vez, determinaron en su estudio que a mayores espaciamientos los valores de contenidos de extraíbles aumentan, lo que podría explicar lo antes señalado.

Otros efectos adicionales a la práctica de manejo de la densidad de plantación se evidencian en estudios de Hoodaa *et al.*, (2003), quienes probaron que el uso de esta

práctica no afecta los rangos de desnitrificación. Por otra parte, Ferrere *et al.*, (2005) indican que la densidad de plantación afecta levemente la densidad básica de la madera, siendo mayor ésta en los tratamientos más densos ( $2.083 \text{ arb}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ). El mismo autor concluye que la densidad de plantación  $1.095 \text{ arb}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  optimiza un buen crecimiento individual y de rodal.

La distribución espacial también provoca que los árboles con más espacio vital y que son de borde, a menudo presenta una gran copa pero asimétrica lo que puede originar otro defecto típico del género *Eucalyptus*, la presencia de elevadas tensiones de crecimiento en la madera que provocan defectos durante su aserrado y secado. (Nutto *et al.*, 2006). Neilsen y Pinkard (2000) determinaron que espaciamiento cuadrado o rectangular es indiferente para una misma densidad de plantación ya que no afecta el tamaño de la rama como tampoco el crecimiento de los árboles. Sin embargo, para Gerrand y Neilsen (2000), un aspecto importante en los costos de administración y manejo de las plantaciones comerciales es la distribución geométrica de la plantación.

El mercado objetivo al cual está orientada la plantación juega una importante función, es así como rodales destinados a la producción de pulpa tendrán el menor espaciamiento posible, de modo tal que su diámetro supere las exigencias de diámetro impuestas y se obtenga el mayor volumen posible en el menor tiempo, (Chaves , 1997). El espaciamiento inicial en eucalipto presenta intervalos similares en muchos países. En Portugal  $1.300 \text{ árb ha}^{-1}$  ( $4 \times 1,9 \text{ m}$ ) de *E. globulus* se plantan en las zonas más secas en los sitios ubicados al sur del país y  $1.600 \text{ árb ha}^{-1}$  ( $3 \times 2 \text{ m}$ ) en los sitios más húmedos en el norte. En Sudáfrica, el número de árboles que se establecen inicialmente varía entre  $1.372$  y  $1.736 \text{ árb ha}^{-1}$  que refleja la variedad de sitios presentes (Florence, 1996).

Saavedra (2004), señala que con un turno de corta de 26 años, es posible alcanzar un diámetro medio de 50 cm en los árboles existentes al final del turno siempre que se les facilite el espacio vital suficiente para expandir sus copas. Para ello será necesario disponer de 130 árboles por hectárea al final del ciclo de rotación (26 años) cuyas áreas de copa hayan podido desarrollarse de acuerdo con las estimaciones. En una

plantación con un espaciamiento 3 x 3 m la distribución teórica óptima sería poder seleccionar uno de cada tres árboles en una de cada tres líneas. A continuación, será necesario podar las ramas vivas de los árboles seleccionados. El modelo para estimar la altura de la base de la copa viva muestra que el proceso de la muerte de las ramas más bajas se inicia muy temprano. Con una edad de 2-3 años y alturas de 5 a 7,5 m en una plantación con un espaciamiento de 3 x 3 m ya es necesario realizar una primera poda. La primera poda puede hacerse desde el suelo hasta una altura de 2,5-3 m. Diversos trabajos (Dickinson *et al.*, 2001; Pinkard *et al.*, 1998; Pinkard & Beadle 1998) concluyen que podar un árbol hasta una altura equivalente al 50% de su copa viva no influye negativamente en su crecimiento, ya que la mayor parte de las ramas podadas son ramas bajas, con poco acceso a la luz y escasa contribución al crecimiento del árbol.

Como recomendación de carácter general para los fines de producción con fines pulpables en Chile, considerando el compromiso entre la producción en volumen y los diámetros de los árboles, la densidad idónea parece ser de 1.600 plantas por hectárea. El empleo de un marco regular de plantación favorece la uniformidad de los árboles. Para alcanzar la densidad de 1.600 plantas, un marco regular de 3 x 2 m puede resultar muy adecuado. Generalmente, la distancia entre líneas es de 3 metros, separando las plantas entre sí a 2 metros una de otra. Otros marcos que se utilizan son 3,5 x 2 m (1.400 plantas ha<sup>-1</sup>) y 3 x 3 m. En ningún caso deberían plantarse más de 1.600 ni menos de 1.100 plantas ha<sup>-1</sup>.

### **Control de malezas**

---

Durante los primeros 3 a 6 meses de la plantación la alta presencia de malezas pueden provocar pérdidas de plantas por lo que obligaría a replantar, mientras que después de este período hay una disminución del desarrollo debido al sistema radicular lateral de las plantas que se ven afectadas por la pérdida de nutrientes y humedad. Este efecto puede reflejarse en el crecimiento durante los dos primeros años desde la plantación. (INFOR, 2006). Coincide esto con otros estudios que señalan que el control de la

vegetación competidora debe mantenerse hasta el cierre del dosel en plantaciones de eucalipto, que de acuerdo a las condiciones del sitio y la respuesta al crecimiento puede ser entre los 2 a 4 años de realizada la plantación (Albaugh *et al.*, 2004)

El cultivo del eucalipto no está ajeno a las pérdidas ocasionadas por malezas, el control de su presencia en muchas situaciones puede definir la rentabilidad económica de una plantación al afectar tanto la sobrevivencia como el crecimiento de la plantación (Garau *et al.*, 2006). La magnitud de respuesta o ganancia económica del control de malezas esta modulada por las características del sitio y de las especies competidoras principales. Sitios donde existe una alta disponibilidad de recursos hídricos, y donde no existen grandes limitaciones nutricionales, generan una respuesta de menor magnitud en crecimiento comparada a la respuesta encontrada en sitios con limitaciones de recursos (Rubilar *et al.*, 2008). Por lo tanto, la rentabilidad que se puede obtener de una plantación esta en relación, entre otros factores, con la aplicación de un adecuado programa de control de malezas, que permita disminuir los costos incurridos en el establecimiento y el plazo de retorno de la inversión (Bravo *et al.*, 2008).

El efecto negativo de las plantas competidoras en el crecimiento de *Eucalyptus sp.* está ampliamente demostrado en estudios realizados en diversas partes del mundo. Las raíces del eucalipto recién plantado y de las malezas que se encuentran en el mismo sitio se concentran en el suelo superficial donde es más alta la disponibilidad de nutrientes (en particular N y P). Los eucaliptos compiten débilmente en los primeros meses, por lo que otras plantas más agresivas logran una ocupación más rápida del sitio, consumiendo agua y nutrientes, interceptando luz y ocupando espacio, de este modo se ve afectado su crecimiento y homogeneidad de desarrollo (Larocca *et al.*, 2004).

Respecto a la mejor estrategia de control de malezas, considerando intensidad y duración, esta presenta alta especificidad. En el caso de especies del género *Eucalyptus* o clones de *Pinus* con altas tasas de crecimiento, se requiere de un intensivo control de malezas que acompañe hasta el cierre de copas del cultivo dada la alta demanda de recursos (Pezzutti y Caldato, 2004). Los sistemas de control de las

malezas durante el establecimiento, pueden ser manual, mecánico o químico. El control manual se realiza a través de mano de obra, con herramientas manuales o maquinarias livianas. Aunque el control tiene efecto directo sobre las malezas ya instaladas y de hoja visible, no impide la reaparición de éstas uno o dos meses después, ya sea producto de semillas que germinaron o de rebrotes de las propias malezas, se considera una alternativa válida para plantaciones en pequeñas propiedades (INFOR, 2002).

En control mecánico, puede realizarse con numerosos tipos de maquinarias entre las que se incluye arados, cinceles y rastras; el subsolado también es efectivo contra las malezas pero en menor grado (Dalla Tea y Larocca, 1998).

El alto costo que significa el uso de maquinaria, el continuo rebrote de numerosas malezas perennes, muchas de ellas en mayores poblaciones aún, y la dificultad de estas labores en terrenos con pendiente, ha producido un desplazamiento de estos sistemas por el control químico, el cual tiene como principal ventaja, además de la rapidez, la mejor relación costo-efectividad. Así, el uso de herbicidas ha desplazado rápidamente al resto de los sistemas de control, ya que su versatilidad le permite adecuarse a diferentes situaciones y a diferentes problemas de malezas y casi siempre a un menor costo efectivo (Larocca *et al.*, 2004).

El término herbicida define los productos químicos que puestos en contacto con las plantas, le producen la muerte o alteraciones que evitan su crecimiento normal y producen deformaciones y al final la muerte (García, 2002).

Entre los herbicidas, se distinguen los pre emergentes, que se aplican antes de la plantación y emergencia de las malezas y los de post emergencia que se aplican después de la plantación y emergencia de las malezas. Todos se pueden aplicar a toda la superficie o la hilera de plantación, usándose en este último caso, un tercio de la cantidad de herbicida; pero es necesario considerar algún sistema de control entre las hileras ya que las malezas rápidamente invaden la hilera de plantación (INFOR, 2006).

Los herbicidas pueden ser clasificados de acuerdo a su función como sistémicos, de contacto o suelo activos. En Chile, las investigaciones con relación a nuevos productos para ser usados en plantaciones de eucalipto buscan reemplazar algunos compuestos antiguos, que están siendo cuestionados desde el punto de vista ambiental. Así durante la última década, han sido desarrollados compuestos más activos con un alto grado de selectividad para el control de malezas en eucalipto y pino, éstos tienen la característica de que finalmente son degradados en el suelo a dióxido de carbono y agua debido a la acción de microorganismos (García, 2008).

Entre los herbicidas con uso potencial en Chile para el control de malezas en eucalipto, se destacan los señalados en la Tabla 2 – 1.

Tabla 2-1. Herbicidas con uso potencial en eucalipto en Chile.

<b>Ingrediente activo</b>	<b>Productos comerciales</b>	<b>Época de aplicación</b>	<b>Principales malezas controladas</b>
Acetochlor	Guardian, Harness, Surpass	Pre emergente	Gramíneas y de hoja ancha anuales
Amitrol	Azolan, Azote plus	Post emergente	Hoja ancha y gramíneas
Atrazina	Atrazina, Gesaprim	Pre emergente	Hoja ancha anuales
Clethodim	Centurion	Post emergente	Gramíneas
Clopyralid	Lontrel, Pirel	Post emergente	Hoja ancha
Diclosulam		Pre emergente	Hoja ancha y ciperaceas
Fluazifop-p-butil	Hache uno 2000	Post emergente	Gramíneas
Fluroxypir	Starane	Post emergente	Hoja ancha
Glufosinato	Basta	Post emergente	Hoja ancha y gramíneas
Glifosato	Baundap, Glifosato, Glifos, Panzer, Rango, Roundup,	Post emergente	Gramíneas y hoja ancha
Haloxyfop metil-r	Galant plus r	Post emergente	Gramíneas
Metsulfuron	Ajax, Aliado, Ally	Post emergente Pre emergente	Hoja ancha
Oxifluorfen	Enmark, Espada, Galigan, Goal	Pre emergente	Hoja ancha y gramíneas
Pendimethalin	Herbadox, Spectro	Pre emergente	Hoja ancha y gramíneas
Propaquizafop	Agil	Post emergente	Gramíneas
Quizalofop etil	Flecha	Post emergente	Gramíneas
Quizalofop-p-etil		Post emergente	Gramíneas
Quizalofop-p-tefuril	Sector T	Post emergente	Gramíneas

Simazina	Gesatop, Simanex, Simazina, Sipcazin	Pre emergente	Hoja ancha y gramíneas
Sulfosato	Touchdown	Post emergente	Gramíneas y hoja ancha
Terbutilazina	Terbutilazina, Tillanex	Pre emergente	Hoja ancha y gramíneas
Triclopyr	Garlon, Trident, Triptic	Post emergente	Hoja ancha

(INFOR, 2006)

Respecto de la forma de aplicación de los herbicidas, estudios realizados por Gaitán, *et al.*, (2004) y García (2008), muestran en general que la aplicación realizada a mayor ancho de la banda de control de malezas alrededor de la planta, produce mayor crecimiento del eucalipto. Debe notarse que el ancho óptimo estará dado por una evaluación conjunta de la respuesta en crecimiento con factores económicos y ecológicos. Gaitán *et al.*, (2004), obtuvieron buenos resultados en un sistema de control diferenciado de una banda de 1 - 1,2 m de ancho (0,5-0,6 m a cada lado del eje de la línea de plantación) y la entrelínea (espacio comprendido entre dos bandas 3 m). La banda se puede tratar con herbicidas pre-emergentes en pre plantación o apenas plantados los eucaliptos a lo que se le da continuidad con aplicaciones dirigidas de post emergentes protegiendo a los plantines forestales.

Evaluaciones realizadas en Chile, indican un efecto negativo de las malezas en la altura total, el diámetro basal, el área foliar, el peso seco y el contenido total de nutrientes en plantas de eucalipto con disminuciones que variaron entre un 29% y un 77%. El área foliar y el peso seco fueron los parámetros más afectados. También se reporta una interacción entre las malezas y la fertilización ya que al faltar este último y no controlar malezas afectó aún más a las plantas disminuyendo el diámetro basal en un 47%, el área foliar en un 89% y peso seco en un 90% (Sanchez, 1997) . Diferentes autores demostraron que al comparar una plantación de *E. globulus* de dos años de edad con control total de malezas durante 24 meses, versus una plantación sin control de malezas, se logró un incremento de 75% en el diámetro (Goncalves *et al.*, 2004; Toro, 2004; Adams *et al.*, 2003).

En la Tabla 2-2 se presentan resultados de investigaciones sobre el efecto negativo de las malezas sobre el crecimiento en el año de plantación del eucalipto. Cada caso representa un trabajo experimental en el que se estudiaron diferentes estrategias de control (Kogan *et al*, 1995). Sólo se han incluido las dos situaciones extremas, el crecimiento de las plantas sometidas a competencia de las malezas (sin control), y el crecimiento logrado con el mejor tratamiento herbicida (con control).

Tabla 2-2. Efecto del control de malezas sobre la supervivencia y biomasa en *E. globulus* al primer año de plantación en Mulchén y Mafil (VIII y X Regiones, Chile).

Localidad- Nº Días después Plantación (DDP)	Con Control		Sin Control	
	D2H (cm <sup>3</sup> )	Supervivencia %	D2H (cm <sup>3</sup> )	Supervivencia %
Máfil (Monte Verde) -215 DDP	181,9	96	36,3	94
Mulchén -150 DDP	14,1	77	1,3	11
Máfil - 175 DDP	104	95	27,1	92
Máfil -175 DDP	80	96	20	95

Modificado de: Kogan *et al*. 1995.

Sin embargo, las malezas no sólo compiten durante el establecimiento del eucalipto, sino que también lo hacen en el año posterior a la plantación. En la Tabla 2-3 se presenta el efecto de la falta de control de malezas en el segundo año de crecimiento del eucalipto. En ambas localidades, tan sólo 60 días de competencia, fueron suficientes para reducir el volumen fustal aproximadamente entre el 20 y el 30% (García, 2008).

Tabla 2-3. Efecto del control de malezas sobre la biomasa en el segundo año de plantación de *E. globulus* en dos lugares en la localidad de Mulchén (VIII Región, Chile).

Herbicidas	Dosis	D <sup>2</sup> H (cm <sup>3</sup> )
------------	-------	-------------------------------------

	(Kg. ha <sup>-1</sup> )	Santa Cristina	San José
Simazina + glifosato	2,0 + 1,92	5.117 (125%)	4.700 (120%)
Terbutilazina + glifosato	2,0 + 1,92	5.511 (131%)	4.926 (124%)
Testigo (sin control)		3.827 (100%)	3.757 (100%)

Modificado de: Kogan *et al.* 1995.

Cualquiera sea el esquema de utilización y aplicación empleado, se debe destacar los positivos efectos del control de maleza respecto de la sobrevivencia y el crecimiento en biomasa experimentado por las plantas, de manera que no está en duda su utilidad. No obstante, dado que se dan estos resultados por la vía de aplicación de herbicidas, lo importante es analizarlos más allá de su efectividad física, sino que también en su dimensión ambiental y en su rentabilidad económica.

## Fertilización

La fertilidad del suelo está directamente relacionada a la productividad del sitio, factor que es factible de ser controlado por los silvicultores al aportar elementos nutritivos en cantidades, formas y proporciones requeridas para lograr un máximo crecimiento de las plantas. (Misra *et al.*, 1998; Smethurst *et al.*, 2004). De esta forma la calidad del sitio llega a ser modificada al aplicar fertilizantes en suelos con limitaciones nutritivas, lo que implica cambiar la distribución relativa de la biomasa de los árboles (Misra *et al.*, 1998)

Las mayores demandas nutricionales ocurren en la primera fase de crecimiento, desde la plantación hasta el cierre del dosel, donde predomina la formación de follaje y tejidos jóvenes (Aparicio, 2001). Sin embargo, Oliva *et al.*, (1995), señalan que las aplicaciones realizadas solo al momento de la plantación no son suficientes para responder a la demanda de nutrientes durante toda la rotación. La fertilización va a contribuir en que el árbol mantenga una copa vigorosa y no pierda las hojas en la zona baja de ésta por deficiencias nutricionales, ya que al no existir los elementos necesarios, el árbol recicla los elementos nutritivos hacia las zonas de crecimiento activo, en decir, la copa alta para luego botar las hojas más antiguas (Will, 1985).

Con el cierre del dosel se produce el reciclaje de nutrientes dado el aporte de las hojarasca al suelo, éste depende de la calidad y cantidad de material vegetal depositado y de la velocidad de su descomposición. La velocidad de los procesos de descomposición depende del tipo de biomasa (hojas, ramas, etc.), la temperatura, precipitaciones, composición química de la hojarasca y microorganismos Ferreira *et al.*, (1995) y Laclau *et al.*, (2001), señalan que el flujo de nutrientes en el suelo de una plantación de *Eucalyptus* es muy dinámico dado que la cantidad de nutrientes aportados por la hojarasca es significativa, lo cual indica un ciclo biológico alto en este ecosistema, pero a su vez, también la cantidad de nutrientes absorbida por la plantación es muy alta. Entre los elementos que aporta la hojarasca se pueden mencionar el fósforo, calcio, magnesio, nitrógeno y potasio.

Las plantaciones de rápido crecimiento están fuertemente condicionadas a sus rotaciones cortas por la disponibilidad de nutrientes para ellas. Por otra parte, los suelos disponibles para plantíos forestales son marginales a la agricultura y poseen en la mayoría de los casos deficiencias nutricionales que obligan a la aplicación de fertilizantes. Sus dosis deben basarse en una base experimental sólida que permita un análisis con resultados ciertos y una proyección en el tiempo (Puentes y Suárez, 2001).

A su vez, en las plantaciones establecidas, la cantidad de nutrientes existentes en el suelo y la exportada durante la explotación forestal son de gran importancia en la definición del balance de nutrientes y en la eventual necesidad de aplicación de fertilizantes (Melo *et al.*, 1995). Deficiencias de elementos nutricionales en sitios forestales están altamente relacionadas al uso anterior del terreno y su grado de erosión. Suelos altamente erosionados, o abandonados debido a un intensivo y extractivo uso anterior agrícola, presentan en muchos casos buenas respuestas a la fertilización. Las actuales tendencias en los programas de fertilización al establecimiento son el desarrollo de programas de manejo nutricional específicos al sitio. En estos se consideran variables del potencial de crecimiento del material genético en un sitio con un clima determinado, las prácticas de manejo previos, además de propiedades físicas y químicas específicas de suelo (Rubilar *et al.*, 2008).

Según Rubilar (1998), la respuesta a un fertilizante será mayor donde la presencia de otros factores de crecimiento sea beneficiosa para el cultivo, con la limitante de la conocida ley de Mitscherlich que señala que a cada incremento del factor limitante, elemento nutritivo que se encuentra en menor cantidad, corresponden incrementos de rendimientos en las cosechas cada vez más inferiores, hasta llegar a un incremento de rendimiento nulo. Incluso se puede llegar a un nivel tal, que altas concentraciones de nutrientes pueden ser perjudiciales o tóxicas para el crecimiento, pudiendo producir hasta la muerte de la planta (Weetman, 1989).

Según Pozo (2005), existen distintas oportunidades para fertilizar de acuerdo al desarrollo cronológico de la plantación, las aplicaciones pueden ser inicialmente durante la fase de establecimiento, la cual está destinada básicamente a apoyar el crecimiento inicial de las plantas y permitir que la fase de construcción del aparato fotosintético se desarrolle en forma normal, lo que se logra a través de fertilizaciones correctivas y de apoyo. Otra oportunidad de aplicación de fertilizantes ocurre en el momento de los raleos con el cierre de copas, con las cuales se logran importantes volúmenes adicionales. La última oportunidad se produce algunos años antes de la cosecha final, se denomina, fertilización precosecha. La aplicación de fertilizantes cinco o seis años antes de cosechar un bosque ha entregado incrementos en volumen significativos.

Binkley (1993), señala que la fertilización precosecha puede ser muy provechosa por el aumento de la producción, y que además la biomasa incrementada puede ubicarse en categorías productivas de primera calidad. La fertilización precosecha se concreta con la aplicación de fertilizantes 3 a 4 años antes de cosechar un bosque, alcanzando incrementos en volumen de hasta  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  en plantaciones de *Eucalyptus* destinadas a la producción de chapas. En atención a que el crecimiento dada la cercanía a la edad de rotación se concentra principalmente en el diámetro del árbol, cualquier incremento en el diámetro medio del rodal hace que aumente el valor de la madera en pie (Pozo, 2005).

Demostrado está que la fertilización de las plantaciones de *Eucalyptus* afectan incluso la mejor forma de los árboles una vez establecidos éstos en el campo, tal como lo demostraron Ferreira y Da Silva (2002), al comprobar un aumento de la cilindridad de los árboles expresado como un cambio del factor de forma de 0,84 a 0,90  $\text{cm m}^{-1}$  a los 6 años de edad.

Con respecto a la duración de la respuesta a la fertilización, según Allen (1987) varía dependiendo: del sitio, de la técnica de preparación de sitio, de los tratamientos intermedios, y del patrón de crecimiento de las especies. Dentro de este contexto, la respuesta a la fertilización en sitios de baja precipitación o donde esta variable es incierta, no puede ser asegurada debido a las condiciones críticas de humedad que no permiten una adquisición del fertilizante por parte de las plantas (Ballard, 1984).

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

Los elementos nutritivos considerados esenciales para el crecimiento de las plantas suman alrededor de 16 (Rodríguez, 1993). Sin embargo, las mayores demandas en el establecimiento de las plantaciones se concentran en unos pocos elementos, tales como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y Boro (B) (Aparicio y López, 1998).

Las funciones de los principales elementos nutritivos señalados, según Acosta (2008), considerando a Lugo (1986), Binkley (1993) y Gerding y Grez (1996), son:

- Nitrógeno (N): es el motor de crecimiento de la planta, siendo absorbido desde el suelo en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En la planta se combina con componentes de carbohidratos producidos por la fotosíntesis para formar compuestos orgánicos de importancia general (aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos). De este modo, es el constituyente esencial de las proteínas y está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y es un factor decisivo en el rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también

para la elaboración de otros compuestos. Su requerimiento máximo es en la época de mayor desarrollo foliar y es un elemento móvil en la planta. Se estima que las masas forestales absorben por hectárea, anualmente, de 30-55 kg de N, retornando al suelo el 80% de esta cantidad por la caída de las hojas, quedando el 20% restante en la madera.

- Fósforo (P): está relacionado con el almacenamiento y la transferencia de energía, por lo que es esencial en la fotosíntesis y en otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. Su requerimiento máximo es en la etapa juvenil para el desarrollo de raíces y posteriormente en la fase generativa. Es un elemento móvil en la planta. Los árboles absorben de 4-12 kg<sup>-1</sup> por año de P, retornando el 80% con la caída de las hojas.

- Potasio (K): cumple una función iónica en general, activa más de 60 enzimas.

Por ello juega un rol fundamental en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El K mejora el régimen hídrico de la planta (regula la apertura y cierre de estomas) y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Además, las plantas, con adecuadas concentraciones de K sufren menos de enfermedades. Es un elemento móvil en la planta. Los árboles pueden absorber entre 6 y 30 kg<sup>-1</sup> por año de K, retornando un 50% con las hojas caídas.

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

Otros elementos juegan también un rol pero que no se encuentran lo suficientemente estudiados para las plantaciones forestales son el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre

(Cu), Zinc (Zn) y Manganese (Mn). La reserva de Ca en los suelos ácidos de las zonas húmedas se encuentra en forma de silicatos. Facilita la absorción de otros nutrientes (P, Mo), neutraliza el aluminio (Al) y el Manganese (Mn), y activa la vida microbiana, al modificar el pH. El Mg desempeña un papel importante en la fisiología de la planta: por su presencia en la clorofila; interviene en el metabolismo del P y en la síntesis de glúcidos, prótidos y grasas. Este elemento se encuentra en el suelo formando parte de silicatos y carbonatos. El Mn está implicado en los procesos de respiración y actúa como catalizador en la síntesis de clorofila. Teóricamente no presenta problemas de asimilación en suelos con pH entre 5 y 6 (Pozo, 2005).

Las mayores deficiencias de microelementos están asociadas a suelos de origen granítico, metamórfico y de cenizas volcánicas antiguas de bajo contenido de B, las cuales se intensifican en años secos (Gerding *et al*, 1985). Sin duda la adición de 2 a 3 g de B por planta es fundamental para lograr el establecimiento y adecuado desarrollo de *P. radiata* y *Eucalyptus sp.*, dada su conocida deficiencia en la mayoría de los sitios donde se establecen estas especies (Toro y Gessel, 1999). De esta manera, la fertilización con B se ha transformado en una herramienta preventiva básica al establecimiento (Alvarez *et al.*, 1999). Respuestas a otros microelementos, como Cu y Zn, a pesar de ser testeados, no han sido claramente reportadas en la literatura forestal y no permiten conclusiones tan claras como las existentes para B. Sin embargo, estos microelementos pueden condicionar, cuando se encuentran en bajas cantidades, la eficiencia de macroelementos como N y P (Turnbull *et al*, 1994).

No obstante lo anterior, se debe tener en consideración, tal como lo señala McLaughlin (1996), el ciclo de nutrientes relacionados a la plantación. Brañas *et al.*, (2000) determinaron el nivel de nutrientes y su acumulación en las diferentes fracciones de la biomasa arbórea aérea, así como en el horizonte orgánico y en los horizontes minerales del suelo. Las cantidades de P, K, Ca y Mg total encontradas en la biomasa aérea de plantaciones de fin de turno son superiores a las cantidades disponibles de estos elementos en el suelo. Los restos de corta (corteza, ramas y hojas) de las plantaciones maduras, que representan el 25 % de la biomasa, acumulan más de la

mitad de las cantidades de N, K, Ca y Mg que la plantación absorbe durante el turno. El horizonte orgánico de las plantaciones maduras constituye una reserva importante de elementos limitantes, puesto que las cantidades de algunos de ellos (P, Ca, Mg) superan a las cantidades disponibles en el suelo. Estos datos sugieren la necesidad de mantener los restos de corta y horizonte orgánico sobre el terreno tras el aprovechamiento de estas masas para mantener el nivel de fertilidad de los suelos.

En comparación con los suelos agrícolas cultivados, los suelos forestales generalmente presentan bajos niveles de P disponible. Los bosques de eucaliptos crecen relativamente bien en suelos con baja oferta de P, donde la vegetación nativa se mantiene con bajas tasas de productividad. Además del P, existen evidencias en plantaciones de *Eucalyptus spp.* y *Pinus radiata* que indican limitaciones nutritivas de B, en contraste con los bosques naturales de eucaliptos en Australia. Esto se explica ya que una gran extensión de suelos presenta agotamiento de nutrientes debido al uso agrícola extractivo que se le dio a éstos (Pozo, 2005).

En Chile, la investigación en fertilización de plantaciones forestales se ha venido realizando desde hace más de 30 años. Prado y Wrann (1988) encontraron que en ensayos en los cuales se aplicó superfosfato triple, urea y boro, las tasas de crecimiento de los tratamientos con fertilización se mantienen superiores a los no fertilizados, sin embargo en términos más precisos se puede señalar que la respuesta a la fertilización de plantaciones forestales establecidas intensivamente en Chile ha sido variable (Rubilar, 2008). Las causas de tal variabilidad en las respuestas radican en una serie de factores donde se conjugan: baja demanda nutricional de algunas especies en etapas de desarrollo temprano y altos niveles de disponibilidad en el sitio; desconocimiento de las limitaciones nutricionales efectivas del sitio; pérdidas por volatilización (Kissel *et al*, 2004); interacción entre disponibilidad nutricional e hídrica dentro de la temporada de crecimiento.

Varios investigadores coinciden en que el elemento que genera la mayor respuesta es el N, mientras que el P produce un menor efecto en el crecimiento del *Eucalyptus*. En Chile las respuestas son generalizadas a la adición de P y en menor proporción al N;

aunque la mayoría de las veces se produce una acción sinérgica a la incorporación en conjunto (Allen y Colbert, 1998; Aparicio *et al.*, 1999). Esta afirmación coincide con Aggangan *et al.*, (1998), que señalan que ambos elementos deben ser considerados como los principales nutrientes que limitan el crecimiento de las plantas. El efecto conjunto de ambos elementos quedó demostrado por Misra *et al.*, (1998), en un ensayo establecido el año 1992 de *E. nitens* en Westfield, Tasmania, ya que la respuesta a la fertilización de N y P fue superior a la obtenida con la aplicación de P solamente. El N mineralizado de la materia orgánica del suelo es la principal fuente de N de la planta y está disponible en la mayoría de los ecosistemas forestales y la tasa de este proceso, a menudo, limita la productividad forestal (Aggangan *et al.*, 1998). Smethurst *et al.*, (2004) en Australia obtuvieron incrementos en biomasa de un 60% a un 85% en plantaciones de *Eucalyptus* al aplicar dosis de N de 100 kg ha<sup>-1</sup> y P 400 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Resultados de un estudio de Aparicio (2001), en plantaciones de *E. nitens* en Chile, mostraron una acumulación de macronutrientes en la primera fase de crecimiento de 485 kg ha<sup>-1</sup> de N, 26 kg ha<sup>-1</sup> de P, 300 kg ha<sup>-1</sup> de K, 450 kg ha<sup>-1</sup> de Ca y 38 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, donde predominó la formación de tejidos productores de clorofila. Estudios realizados por Misra *et al.*, (1998) sobre *E. nitens* registraron aumentos de hasta 30% en el diámetro del fuste aún después de 36 meses de establecida la plantación.

Fertilizaciones con N, han mostrado incrementos en la producción de biomasa, particularmente en el follaje de *E. globulus* (Carvalho, 1993). Asimismo, ensayos de fertilización evaluados a los cuatro años que combinaron N con P (202 kg de N y 90 kg de P) aplicados a *E. globulus* al momento de la plantación, mostraron incrementos de biomasa 4,8 veces superior al tratamiento testigo (Hillis y Brown, 1978).

Mc Laughlin (1996), señala que el P es uno de los principales nutrientes que imponen restricciones a la productividad en las plantaciones de especies del género *Eucalyptus* en muchas partes del mundo. El autor señala que la presencia de P intercambiable en el suelo no es un buen indicador de la productividad del sitio, esto debido a que la mayor parte del P es absorbido por los árboles a partir de la rotación de nutrientes a

través de la mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, la inmovilización neta de este elemento puede ocurrir durante la descomposición, debido a la baja concentración de P disponible en el suelo. En el caso de su estudio, todos los tratamientos que contemplaron la aplicación de P, reflejaron un aumento de volumen. Goncalves (1997), al referirse a la cantidad de P, indica que sobre 8 ppm P-Olsen no hay respuesta a la fertilización. Por otro lado, en el proyecto de fertilización del eucalipto realizado en Chile entre Forestal y Agrícola Monteáguila y la Pontificia Universidad Católica (1994-1997), no hubo respuesta a la fertilización fosforada en el ecosistema del Valle Central seco y de la Precordillera con 5 ppm y con 8 ppm P-Olsen respectivamente. Por lo anterior, se estima que bajo 4 ppm la respuesta es probable, entre 4 y 8 ppm poco probable y sobre 8 ppm improbable (Marín, 2002).

Estudios realizados por Cromer *et al.*, (2002) en Tasmania, Australia, sobre plantaciones de *E. globulus* demostraron un bajo crecimiento al no fertilizar con N y P, al hacerlo los árboles respondieron rápida y fuertemente, alcanzando incrementos marginales de  $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , aplicando dosis de  $400 \text{ kg N ha}^{-1}$  y de  $200 \text{ kg P ha}^{-1}$ , sin encontrarse evidencia de que la mayor respuesta se obtuvo con la aplicación de la dosis más alta.

En un estudio de fertilización realizado por Bennett *et al.*, (1996), en *E. globulus*, se mencionan incrementos significativos en crecimiento a los 14 meses por la adición de 100 kg de N con 50 kg de P. La agregación de fertilizantes posterior al año resultó también significativa, con dosis de 400 kg de N y 200 de P evaluado a los 45 y 71 meses. Otro ensayo similar de fertilizaciones para la misma especie, realizado por Judd *et al.*, (1996), sugieren altos requerimientos de N y P al primer año a una razón 1:1, mientras que se incrementa a una razón de 2:1 en aplicaciones sucesivas. En ambos estudios la combinación de elementos (N y P), fue superior en crecimiento a los ensayos aplicados en forma individual.

En el proyecto FONDEF (2002) se lograron aumentos de productividad que alcanzaron hasta un 45%, según distintos esquemas de fertilización, tipos de manejo y condiciones de sitio. Adicionalmente, se determinó que era económicamente suficiente una

aplicación de dosis bajas de N y P para un óptimo crecimiento de las plantaciones en la mayoría de los sitios estudiados, lo que a su vez trajo aparejado un ahorro del 30% de los costos de productos fertilizantes en el momento del establecimiento de la plantación. Particularmente, de los resultados obtenidos para *E. globulus* en el ensayo en el Valle Central en la zona centro-sur de Chile, es posible suponer, que la dosis económica óptima para los grupos de experimentos es de 25 g N planta<sup>-1</sup> y 25 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> planta<sup>-1</sup>. La respuesta en los experimentos a bajos niveles de fertilización con N y P en estas condiciones descartaría definitivamente la respuesta a dosis altas de estos nutrientes al establecimiento. Por otra parte, en la Costa (Lago Lleu-Lleu), dentro de la misma experimentación, hubo una respuesta a niveles de fertilización más altos; 50 g N planta<sup>-1</sup> y 100 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> planta<sup>-1</sup> al establecimiento más 50 g N planta<sup>-1</sup> al primer año, posiblemente por la alta tasa de crecimiento inicial observado en este experimento durante los primeros años de crecimiento, con estos resultados se alcanzaron diferencias en el incremento de volumen de un 68% con respecto al testigo (sin fertilización). La reducción de las dosis a aplicar aporta una externalidad ambiental positiva a la plantación. Bajas dosis pueden reducir hasta en un 40% el costo de la aplicación de fertilizantes y eliminar el costo de la refertilización en las plantaciones de Eucalipto (FONDEF, 2002).

Marín (2002), señala que en dos ensayos en la VII Región del Maule, Chile, en sitios que poseían diferentes características se aplicaron fertilizantes en forma localizada de N en forma de urea, y P, además se adicionó boro (B) como boronatrocalcita y potasio (K) como sulfato de potasio. Se determinó que la fertilización con N, P, K y B dieron las mejores respuestas al igual que las combinaciones NP y NPB; en cambio, al combinar P, K y B excluyendo N, los incrementos obtenidos fueron inferiores en altura y diámetro a los logrados en los testigos.

Lyon (1990), determinó que la mezcla de fertilizantes que contenía superfosfato (150 grs. planta<sup>-1</sup>), supernitro (80 g planta<sup>-1</sup>), sulpomag (10 g planta<sup>-1</sup>) y boronatrocalcita (20 g planta<sup>-1</sup>) permitió la mejor respuesta a la fertilización, específicamente para el método

de aplicación del fertilizante en un surco subterráneo, ubicado aproximadamente a 25-30 cm de profundidad.

En España, fertilizaciones hechas con NPK ( $150 \text{ kg}^{-1}$ ) sobre rebrotes de *E. globulus* muestran efectos positivos, pero estos efectos dependen del tipo de suelo (Ruiz *et al.*, 2001). En suelos arenosos se produjo un aumento en el crecimiento volumétrico bajo cierta cantidad de N aplicado y en suelos metamórficos el mismo efecto se consigue con cierta cantidad de N y otra de K, lo cual sugiere una respuesta muy dependiente de los niveles nutritivos de los suelos. También se produjo una escasa respuesta a la aplicación de P, aún cuando en ambos suelos éste elemento se presenta con baja disponibilidad, lo que podría llevar a pensar que este nutriente es limitante (Ruiz *et al.*, 2001). Un estudio orientado a la formación de un modelo de silvicultura para la producción de madera aserrable de *E. globulus*, situado al norte de Galicia, presentó en promedio para una rodal de 6 años un crecimiento en altura de 14 m y un DAP de 10,9 cm, sin tratamiento de fertilización (Nutto y Touza, 2006). En Portugal, se han realizado numerosos ensayos de fertilización en plantaciones jóvenes de *E. globulus* en suelos de baja disponibilidad de fósforo. En uno de ellos se aplicó dosis de fertilizantes de  $23 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de P y  $19 \text{ kg ha}^{-1}$  de K al momento de la plantación con adiciones de N de 23 y  $41 \text{ kg ha}^{-1}$  a los 1 y 4 años respectivamente. Estos tratamientos dieron como resultado diferencias en altura entre el tratamiento control y los fertilizados, las cuales disminuyeron hacia los 4 años siendo las diferencias en diámetro relativamente constantes, con incrementos en volumen a los 5 años de un 33%, sobre el testigo (Pozo, 2005).

Existen una gran cantidad de ejemplos como los presentados en los párrafos anteriores, tal como señala Fox (2000), no es posible abordar fórmulas únicas que sean aplicables a las distintas condiciones en las que se establecen las plantaciones, las prescripciones son sitio-específicas y tanto sus recomendaciones como resultados no son extrapolables.

## Riego

---

El aumento en la productividad de las plantaciones forestales, como fin último por parte de silvicultores e investigadores, es lo que sustenta el desarrollo de estudios y ensayos tendiente al logro de este objetivo. Es así como hoy en día, estos esfuerzos se centran en la búsqueda de nuevas tecnologías que desarrollen al máximo variables del cultivo, fundamentales en el ciclo de vida de la planta, como es el caso de la nutrición y el agua (Maestri, 2003).

Las relaciones suelo-agua-planta se contemplan de un modo mucho más dinámico, como un sistema más unificado en el que todos los procesos son interdependientes y denominados el continuo suelo-planta-atmósfera. En este continuo, la disponibilidad de agua en el suelo no sólo es función de éste sino del conjunto suelo-planta-clima (Cadahia, 1998).

La disponibilidad de agua se considera el principal factor ambiental que limita la fotosíntesis y con ello el crecimiento y producción de biomasa (Lawlor, 1995). La respuesta más importante de las plantas al déficit hídrico, de acuerdo con Taiz y Zeiger (2004), es la disminución de la superficie de la hoja, lo que afecta entre otros las características de la tasa de fotosíntesis. El balance de agua de la planta es controlada por transpiración de la hoja y la absorción de agua en el suelo, que en condiciones adversas, tales como la deficiencia de agua disminuye el contenido de agua relativa en la hoja y su turgencia (Smit y Singels, 2006). En las plantas de *E. camaldulensis* sometidas a estrés hídrico, Jesús (2009) obtuvo menor concentración de clorofila, y con ello una disminución de la biomasa respecto del testigo. A su vez, el estrés hídrico, también puede tener un efecto sobre la dinámica de copas al disminuir la masa foliar con la consecuente pérdida de productividad (Maestri, 2003).

Por otra parte, el consumo de agua de las plantaciones sugiere que, en el largo plazo, el decrecimiento en las reservas de agua del suelo puede tener efectos negativos sobre el rendimiento hídrico de las cuencas hidrográficas con extensivas plantaciones exóticas de crecimiento rápido. Esta situación tendrá especial relevancia en aquellas regiones con escasas y/o moderadas precipitaciones, ya que además del consumo por evapotranspiración hay que considerar las pérdidas por interceptación, especialmente

importantes en zonas con escasas precipitaciones (Oyarzún y Huber, 1999), lo que podría provocar estrés hídrico.

Como manera de aliviar el estrés hídrico y sus efectos en la productividad de plantaciones forestales, se adiciona agua al suelo mediante un proceso artificial denominado “riego”. Huber y Trecaman (2004), señalan que es importante conocer la relación que existe entre el consumo de agua de las plantaciones y el correspondiente incremento volumétrico y establecer la influencia que tienen las características edafoclimáticas y el manejo silvícola sobre estos resultados.

El riego, se refiere al reparto más o menos uniforme del agua sobre la línea de plantación y/o parcela, de tal forma que todas las plantas reciban una cantidad similar de agua. La eficiencia de aplicación de agua es la proporción entre la cantidad de agua que aprovechan las plantas y la que se aplica en la línea de plantación y/o parcela (Fuentes, 1999). La falta de uniformidad en la distribución del agua ocasiona una baja eficiencia de aplicación, ya que habrán plantas que reciben menos cantidad de la que requieren para cubrir sus necesidades versus otras que la tendrán en exceso lo que ocasiona pérdidas de agua y nutrientes, aparte de otros inconvenientes. Las pérdidas de agua más importantes se producen por escorrentía superficial y por percolación en profundidad, en tanto que la escorrentía puede ocasionar problemas de erosión. La percolación produce lavado de nutrientes y de sales del suelo, lo que provoca un deterioro de las aguas de drenaje cuando éstas retornan al regadío (FONDEF, 2005).

Se entiende por técnica de riego, la forma o estrategia de aplicar el agua, y por sistema de riego a la metodología con que se aplica el agua para manejar la estrategia en oportunidad y cantidad de agua a aplicar. Berlijin (2006) plantea que los sistemas o métodos de riego se refieren a las distintas formas de aplicar el agua sobre el cultivo, que viene condicionado por varios factores como pendiente del terreno, la capacidad del suelo para retener el agua, permeabilidad del suelo, suministro de agua, inversión y costo de mantenimiento, disponibilidad de mano de obra, etc.

Los principales métodos de riego se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) *Riego por gravedad o superficie*: es un sistema donde el agua fluye por su propio peso, utilizándose la superficie del suelo para la distribución del agua. Se puede aplicar por manta, en donde se moja toda la superficie del suelo; y por surcos, donde el agua se distribuye por surcos paralelos, y se va infiltrando por el fondo y costado de los mismos, sin que la superficie del suelo quede mojada en su totalidad. Este sistema está limitado a terrenos con pendientes suaves, teniendo el inconveniente de que es muy difícil aplicar dosis bajas de agua. La mayor ventaja de este sistema es el bajo costo de instalación y conservación, en relación a otros sistemas. La eficiencia de este sistema oscila entre un 40% y un 70% (Gurovich, 2002).
- b) *Riego forzado*: el agua se distribuye a presión mediante un sistema de tuberías en donde se instalan los emisores. En este tipo encontramos el *riego por aspersión* y el *riego localizado*.

*El riego por aspersión*, con respecto al riego por gravedad, ofrece una serie de ventajas como una menor necesidad de mano de obra, no necesita preparación previa del terreno, se puede utilizar en una gran diversidad de suelos, incluso en aquellos muy permeables que exigen riegos frecuentes y poco copiosos, la eficiencia es del orden del 80%, existiendo la posibilidad de mecanizar los cultivos (Watts y Holzapfel, 1999). Entre las desventajas de este sistema se pueden considerar el elevado costo de instalación y la energía necesaria para asegurar la presión requerida, la posibilidad de aumento de enfermedades en algunos cultivos debido al mojado de las plantas, dificultad de un reparto uniforme del agua con presencia de viento, posibilidad de quemadura en hojas de algunas especies sensibles cuando se riega con aguas salinas (Etchevers, 1999).

*El riego localizado* lo conforma el riego por goteo o por micro-aspersión. Se caracteriza porque no se moja la totalidad del suelo, se utilizan pequeños caudales a baja presión y el agua se aplica con alta frecuencia (Ferreyra, 1999). El agua es distribuida usando un

extensa red hidráulica que conduce el agua desde su fuente hasta donde se encuentra la planta. Entre las ventajas de este tipo de riego destacan el fácil control de la uniformidad y la obtención de una eficiencia de aplicación superior al 85%. Además, provee un mayor un mejor aprovechamiento del agua y nutrientes, ahorro en mano de obra y disminuye la presencia de malezas. Dentro de los inconvenientes está la exigencia de personal calificado, control permanente de la calidad del agua y un mayor costo inicial (FONDEF, 2005).

Al-Jamal, *et al.*, (2002) desarrollaron un modelo de riego para una plantación de *E. camaldulensis* utilizando aguas servidas basados en las necesidades de agua de los árboles. Este modelo fue recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de México como un método para reciclar nutrientes y materia orgánica, y a la vez conservar los recursos hídricos.

En Australia se midieron durante los cuatro primeros años, luego del establecimiento, los patrones de crecimiento ante el uso de riego en plantaciones de *E. globulus* y *E. nitens*, encontrándose diferencias significativas en los crecimientos de dichas especies. En cuanto al crecimiento en altura en *E. globulus* se obtienen mejores resultados como consecuencia del riego, a diferencia de *E. nitens* que tiene una mejor respuesta en el incremento en diámetro (Honeyosett *et al.*, 1996). Posteriormente, White *et al.*, (2000) determinaron que *E. globulus* es más eficiente en el uso del agua para la producción de biomasa que *E. nitens*.

Pereira *et al.*, (1996), en una zona con clima mediterráneo, en Portugal, probó el efecto del riego en la producción de biomasa de *E. globulus*, en donde aquellos tratamientos que presentaron riego incidieron en la producción de biomasa. Después de 11 y 23 meses, los incrementos de biomasa en árboles con riego fueron de 91% y de 85% mayores que en aquellos sin riego, respectivamente. En cuanto a la relación biomasa tronco/biomasa hojas, los árboles presentaron un mayor crecimiento del tronco en relación a la biomasa de las hojas.

Antecedentes recopilados sobre riego en plantaciones de eucaliptos dan cuenta del efecto de éste sobre la productividad del cultivo, tal es el caso de experiencias desarrolladas en Pakistán, donde una plantación a la edad de nueve años obtuvo rendimientos de  $19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Hussain y Abbas, 1983). También en Israel, plantaciones de eucaliptos regadas registraron rendimientos de  $14,6$  a  $16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (FAO, 1987). Tewari *et al.*, (2002) en ensayos realizados en el norte de India, mostraron rendimientos en volumen desde  $1,82$  hasta  $24,82 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  dependiendo de la edad, la densidad y calidad del sitio. Por su parte, Moroni *et al.*, (2003) en Tasmania, probaron que en ensayos de riego en *E. globulus* es posible aumentar el diámetro a la altura del pecho hasta en un 20% respecto de no regar.

En suelos arroceros del distrito de riego de Digua, al sur del secano interior del valle central de Chile, la forestación con *E. globulus* se ve positivamente influenciada por el riego. Los mejores resultados de este ensayo bajo frecuencia de riego por surco se obtienen al regar dos veces al mes. Con este tratamiento se supera el 90% de supervivencia y el crecimiento en diámetro es el doble que los tratamientos sin riego (Cisterna, 1999). En el secano costero de la VIII Región, Chile, se determinó que el agua consistentemente se manifiesta como el factor que más incide en el crecimiento de *E. globulus*. El efecto promedio del riego a los 24 meses sigue siendo mucho mayor a la fertilización alcanzando un incremento de crecimiento de 58% contra un 19% del efecto promedio de la fertilización (FONDEF, 2002).

En un estudio realizado por Huber y Trecamán (2004), demostraron que la cantidad de agua necesaria para producir un  $\text{m}^3$  de volumen fustal en plantaciones de *Pinus radiata* en la zona centro sur de Chile osciló entre los  $241$  y  $717 \text{ m}^3$ . Estos valores estuvieron influidos por la densidad de las plantaciones, temperatura estival y por las características del suelo y vegetación acompañante. Por otra parte, Gonzalez (2003), registró valores de tasa de transpiración que indican que para *E. globulus* se requieren  $354,6 \text{ m}^3$  de agua para producir  $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de madera.

---

## Mejoramiento genético

---

Junto a las prácticas silviculturales señaladas, se puede facilitar la obtención de altas tasas de productividad por medio del mejoramiento genético, ello debido a que éste permite capturar y transferir ganancias de características deseables, que por su baja heredabilidad, no se traspasan eficientemente a la descendencia por vía sexual, como normalmente son el crecimiento, peso seco, contenido de celulosa y otros caracteres de interés forestal (Gutiérrez, 2005).

La genómica será herramienta de primer orden para la conservación y sostenibilidad forestal a largo plazo. Permitirá entender a los fisiólogos como los genes y sus productos determinan la forma en que funcionan las células, éstas forman los organismos y estos responden al ambiente (Wullschleger *et al.*, 2002). El esclarecimiento del genoma del eucalipto permitirá sentar las bases genéticas de los mecanismos fisiológicos que controlan el desarrollo (fotosíntesis y respiración, reguladores del crecimiento, formación de la madera y su calidad, etc), la identificación de genes que codifican caracteres de enraizamiento (Bhalerao, 2002), así como otros determinantes de sus respuestas a agentes bióticos y abióticos (resistencia a sequía, heladas, salinidad, insectos, hongos etc.) e identificación de los asociados a la variación adaptativa y la caracterización de sus efectos fenotípicos.

Ello acortará sustancialmente los tiempos requeridos para el mejoramiento genético de árboles, hará posible la selección de los individuos mejor adaptados a ambientes específicos, de especial significación ante estreses como la polución y el cambio climático; y la información obtenida podrá ser usada para desarrollar diagnósticos precisos para el seguimiento del estado sanitario y productividad forestal. En conjunción con la biotecnología de la micropropagación se podrá abordar la regeneración de plantas transgénicas y su producción masiva, procesos en los que deberá tenerse muy en cuenta el estudio de la expresión de los genes insertos y, en general, la validación de estudios de genómica (Pardos, 2007)

El extenso ciclo de vida de los árboles, determina que un programa clásico de mejoramiento genético requiera de mucho tiempo para ser desarrollado, en este contexto la propagación vegetativa se convierte en una herramienta muy útil para el

mejorador por su rapidez en la obtención de resultados y su aplicabilidad masiva (Ortiz y Koch, 2011). Durante las últimas décadas, estas tecnologías de propagación han experimentado un intenso desarrollo en lo que dice relación a la silvicultura clonal en especies de importancia comercial, como pinos y eucaliptos, además de numerosos híbridos (Bettinger *et al.*, 2009; Assis, 2011). Para el caso del *E. globulus* el éxito de una empresa de base forestal productora de celulosa y papel depende de la selección continua de materiales genéticos, ya que éstos deben presentar excelente productividad silvicultural y una adecuada calidad tecnológica de la madera (densidad básica, rendimiento gravimétrico en celulosa, etc.). A lo anterior, se suma la mayor tolerancia la sequía, heladas y resistencia al ataque de agentes bióticos (Bassa, 2005).

Algunos ejemplos de resultados clonales demuestran su creciente uso por parte de los silvicultores y empresas forestales. En plantaciones masivas de clones de *E. globulus* en España se obtuvieron crecimientos, a los 4 años de plantación, mayores a los 16 metros de altura (Cogolludo, 2009). En estudios realizados por Sanhueza y otros, en Chile, se obtuvieron ganancias en volumen del 34,3% y en densidad de fibra del 7,1%. Se ha logrado con clones de *E. globulus* aumentar la tolerancia a heladas por sobre los -7°C con un total acumulado de 415 horas (Gallino *et al.*, 2007). Estudios realizados por Fernández (2008) demostraron que clones de *E. globulus* son más tolerantes a ataques de *Phoracantha sp.* debido a que son capaces de poseer un contenido hídrico de la corteza por sobre el 50%, umbrales menores, junto con la acumulación de fenoles, facilitan la parasitación por parte del insecto y la destrucción del árbol.

Se han obtenido, y usados comercialmente, algunos híbridos interespecíficos para zonas mediterráneas: *E. camaldulensis* x *E. globulus* (la procedencia Albacutya de *E. camaldulensis* proporciona mayor resistencia a la sequía y a la salinidad) y *E. viminalis* x *E. globulus* (*E. viminalis* proporciona cierta tolerancia a la helada y algunas procedencias resistencia a *Gonipterus scutellatus*), pero las producciones son inferiores a *E. globulus*. Con los cruzamientos *E. globulus gunnii*, *E. gunnii* x *E. globulus* *E. nitens* x *E. globulus* se ha pretendido una mayor resistencia al frío, aunque su éxito expresado en porcentaje de cruzamientos conseguidos, número de semillas por flor y

supervivencia de las plántulas obtenidas, es sensiblemente menor que el obtenido en los cruzamientos inter e intra procedencias de *E. globulus* x *E. globulus* (Potts y Dungey, 2004). Los cruzamientos interespecíficos en el marco del complejo *globulus* y más aún, y con mayor interés, entre individuos seleccionados pertenecientes a procedencias seleccionadas de *E. globulus*, resultan más eficaces y prometedoras en la consecución de incrementos de la ganancia en términos productivos.

En Chile, el año 2006, comenzó a funcionar el Consorcio Genómica Forestal, iniciativa financiada en parte por el Estado y las principales empresas forestales a partir de una propuesta formulada por la Universidad de Concepción. Se han definido dos áreas prioritarias para la investigación en *E. globulus* que se encuentran en pleno desarrollo. La primera es desarrollar herramientas de genómica que permitan mejorar la habilidad pulpable del *E. globulus*. A la fecha ya se han identificado 20 mil genes, corresponde en esta etapa caracterizar cuáles de ellos interactúan en la formación de la madera. La segunda área prioritaria trata de mejorar la resistencia al frío por parte de la especie, esto es más complejo debido a que depende la fenotipificación de las condiciones climáticas. Hasta el momento se han podido identificar 6 genotipos, al menos 3 de ellos con tolerancia a la helada. A la fecha no existen resultados concluyentes de estos proyectos y se espera antes de su validación para masificarlos.

## Referencias

---

- Acevedo, E. 2008. Efectos del establecimiento en el crecimiento y rentabilidad de plantaciones de *Eucalyptus* en el sur de Chile. Memoria para optar al título profesional de ingeniero forestal. Departamento de Silvicultura. Escuela de Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 76 p.
- Acosta, C. 2008. Evaluación de una fertilización en *Eucalyptus globulus* Labill aplicada en la etapa de máxima acumulación nutritiva, Valdivia, Chile. Trabajo de titulación para optar al título de ingeniero forestal. Escuela de Ingeniería

Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 64 p.

Adams, P., Beadle C., Mendham N. and P. Smethurst. 2003. The impact of timing and duration of grass control on growth of a young *Eucalyptus globulus* Labill plantation. *New Forests* 26(2): 147-165.

Aggangan, R., O'connell, A., Mcgrath, J., Dell, B. 1998. Fertilizier and previous land use effects on C and N Mineralization in soils from *Eucalyptus globulus* plantations. *Soil Biology & Biochemistry* 30(13): 1791-1798.

Albaugh T., Rubilar R., Alvarez J. and H. Allen. 2004. Radiata pine response to tillage fertilization and weed control in Chile. *Bosque* 25(2): 5-15.

Al-Jamal M, Sammis, T., Mexal, J., Picchioni, G. and W. Zachritz. 2002. A growth-irrigation scheduling model for wastewater use in forest production. *Agricultural Water Management* 56: 57-79.

Allen H. 1987. Forest Fertiliziers. *Journal of Forestry* 85 (22) 37- 46.

Allen H. and S. Colbert. 1998. Nutricional management of southeast USA pine plantations: practice and oportunity. *Actas X Silvotecnia de Chile*: 374-383.

Alvárez, J., Rodríguez J. y D. Suárez. 1999. Mejoramiento de la productividad de plantaciones de *Pinus Radiata d.Don*, a través de un método racional de fertilización. *Bosque* 20(1):23-36.

Aparicio, J. y J. López . 1998. Respuesta de *Pinus taeda* a la fertilización con fosfato diamónico y al agregado de una cubierta de aserrín a los 36 meses de crecimiento. *Actas II Jornada Forestal*. EEA INTA. Bella Vista, Argentina. 12 p.

Aparicio, J., López , J., Dalla Tea, F., Finker L. y C. Monticelli. 1999. Respuesta de las especies de mayor importancia foresto-industrial a la fertilización con NPK en los suelos arenosos de la provincia de Corrientes. Informe Final. SAGP y A-BID. Proyecto Forestal de Desarrollo. Buenos Aires, Argentina. 25 p.

- Aparicio, J. 2001. Rendimiento y Biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Tesis Magíster en Ciencias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 234 p.
- Aparicio, J. 2006. Efecto de tres técnicas de preparación de terreno y control de malezas en la productividad de *Eucalyptus grandis* en el sudoeste de Corrientes. Actas Jornadas Forestales 2006 de Argentina: 15-24.
- Archibald, R. 2005. Managing blue gum (*Eucalyptus globulus*) coppice. Department of Conservation and Land Management. Kensington, South Africa. 12 p.
- Assis T. F. 2011. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the *Eucalyptus* clonal forestry. IUFRO Tree Biotechnology Conference 2011: From Genomes to Integration and Delivery Arraial d'Ajuda, Bahia, Brazil. 19 p.
- Aussenac G., and A. Granier. (1988). Effects of thinning on water stress and growth in Douglas-fir. Canadian Journal of Forestry Research 18: 100-105.
- Avery, T., and H. Burkhart. 1994. Forest Measurements, 4th edition. Mc Graw Hill, New York, USA. 407 p.
- Ballard, R. 1984. Fertilization of plantation. In: Chapter 12. Nutrition of Plantation Forest. London, England. 1a ed., Academic Press Inc. 505 p.
- Bhalerao, R. 2002. Genomics in forest biotechnology. Forest Biotechnology in Europe. Impeding barriers, policies and implications. Forum Symposium. Edinburgh, England: 333-347.
- Barros, S. y J. Prado, 1989. *Eucalyptus*: Principios de Silvicultura y Manejo. CONAF – INFOR. Santiago, Chile. 199 p.
- Bassa A. 2005. Selección y caracterización de clones de eucalipto considerando parámetros silviculturales, tecnológicos y de producto final. II Coloquio

- Internacional sobre Celulosa de Eucalipto. Actas ATCP Chile 2005. Concepción, Chile. 15 p.
- Battaglia M, Mummery D., and A. Smith. 2002. Economic analysis of site survey and productivity modelling for the selection of plantation areas. *Forest Ecology and Management* 162: 85-195.
- Bennett, L., Weston, C., Judd, T., Attiwill, P., and P. Whiteman. 1996. The effects of fertilisers on early growth and foliar nutrient concentrations of three plantation *Eucalyptus* on high quality sites in Gippsland, southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 89, 213–226.
- Berlijin, J. 2006. Riego y Drenaje. Editorial Trillas. Ciudad de México, México. 101p.
- Bernardo A., Reis M., Reis G., Harrison R., and D. Firme. 1998. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management* 104(1-3): 1-13.
- Bettinger, P., Clutter, M., Siry, J., Kane, N. and J. Pait. 2009. Broad Implications of Southern United States Pine Clonal Forestry on Planning and Management of Forests. *International Forestry Review* 11(3):331-345.
- Binkley, D. 1993. Nutrición Forestal. Practicas de Manejo. Limusa y Grupo Noriega. México D.C., México. 340 p.
- Botta, G. 1997. Armonización del peso y rodado del tractor para reducir la compactación del suelo. Tesis de Magister Scientiae. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. La Plata, Argentina. 61 p.
- Brañas, J., González-Río F. y A. Merino. 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la península ibérica. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 9 (2).

- Bravo, T. Muñoz, F. y M. Sanchez-Olate. 2008. Efecto de la aplicación del herbicida metsulfuron metil en mezcla con glifosato, en el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Actas 4º Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Sociedad Chilena de Ciencias Forestales. Talca, Chile. 12 p.
- Cadahia, C. 1998. Fertirrigación en cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 p.
- Carvalho, L. P. 1993. Divergencia genética e análise dialética de *Gossypium hirsutum* L. var. *Latifolium Hutch*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Vicosa, Brazil. 202 p.
- Chaves, R. 1997. Espaçamento em *Eucalyptus*. Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of *Eucalyptus*. Salvador, Brazil. Vol 3: 180-185.
- Cisterna, O. 1999. Efectos de distintas frecuencias de riego en la supervivencia de *Eucalyptus globulus* Labill., en los suelos arroceros, VII Región. Monografía Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción, Chile. 31 p.
- Cockerham, S. 2004. Irrigation and planting density affect river red gum growth. California Agriculture, USA. 58(1).
- Coetzee, J. 1991. The influence of stand density on the yield of *Eucalyptus grandis*: a comparison between a good site and a poor site at age 4 years. IUFRO Symposium. Intensive Forestry. The role of *Eucalyptus*. Durban, South Africa. Vol. 2: 901-916.
- Cogolludo, M. 2009. Reconversión de una plantación clonal de *E. globulus*. Curso superior de silvicultura. Junta de Galicia, Dirección General de Montes. España. 10 p.

- Cromer, R., R. Turnbull, A. LaSala, P. Smethurst and A. Mitchell. 2002. *Eucalyptus* Growth in relation to combined nitrogen and phosphorus fertilizer and soil chemistry in Tasmania. *Austrian Forest*. 65(4): 256 – 264.
- Dalla Tea F. 1995. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos, Argentina. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 4(1): 57-71.
- Dalla Tea, F y F. Larocca. 1998. Manual de Producción de Eucalipto en la Mesopotámica Argentina. INTA E.E. Concordia, Argentina. 40 p.
- Daniel, P.W., U.E. Helms y F.S. Baker. 1982. Principios de Silvicultura. Segunda edición. McGraw-Hill, México. 492 p.
- Delgado, S., Alliaume, F., García, F. y J. Hernández. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus sp.* sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia*. 2: 95 – 107.
- Dickinson, G., Lewty, M., and P. White. 2001. Growing eucalypt plantations in southern Queensland: current forestry description and new directions. *Farm Forestry and Local Government*. Queensland, Australia. ITEM 118: 381-388.
- Donner, B.. and S. Running. 1986. Water stress response after thinning *Pinus contorta* stands in Montana", *Forest Science* 32 (3): 614-625.
- Duran, M. 1995. Preparación de sitios en establecimiento de plantaciones en el Noroeste de Corrientes, Argentina. *Actas V Silvotecnica*. Establecimiento de Plantaciones. Concepción, Chile. 16 p.
- Etchevers, B. 1999. Indicadores de calidad de suelos. In: Conservación y restauración de Suelos. Siebe C., Rodarte, H., Toledo, G., Etchevers J. D., Oleschko, K. (eds.) Universidad Nacional Autónoma de México. Actas Programa Universitario del Medio Ambiente, México.: 239-262.

- Farndern, C. 1996. Stand density management diagrams for lodgepole pine, white spruce and interior *Douglas-fir*., Canadian Forest Service. Pacific Forestry Centre. Victoria, British Columbia, Canada. 14 p.
- Fassola, H. 1992. Regímenes silvícolas con producción de madera libre de nudos en *Pinus elliottii* Engelm en la zona central de la Prov. de Corrientes. Primer informe de avance: El control del diámetro sobre muñón en 15 cm con tratamientos silvícolas directos. UNAM. Revista Ivyraretá 3: 28-62.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1987. Efectos ecológicos de los eucaliptos. Estudio FAO Montes 59.106 p.
- Fernández, R., Lupi A., Azame, S.; M. Real De Azua y H. Reis. 2000. Técnicas de establecimiento de mínimo impacto y sus efectos sobre el crecimiento del *Eucalyptus grandis* y las condiciones químicas de los suelos rojos del noreste argentino. Actas XI Conferencia de la Organización Internacional para la Conservación del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 127: 145.
- Fernandez, M. 2008. Utilidad de parámetros hídricos de árbol para la selección clonal de *Eucalyptus globulus* Labill frente al ataque por larvas de *Phoracantha* spp. Universidad de Huelva, España. Boletín del CIDEU 6-7:57-68
- Ferreira, C., Da Silva, H., Bellote, A. y G. Andrade. 1995. Efecto de la aplicación de ceniza y residuos de celulosa en la descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca en plantaciones de *E. grandis*. Actas Simposio IUFRO. Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales. Valdivia, Chile.: 335-338.
- Ferreira, C. y H. Da Silva. 2002. Afilamento e forma do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* e suas variações com a adubação. Boletín Pesquisa Florestal 44: 87- 106.
- Ferrere, P., Lopez, G., Boca, R., Galetti, M., Esparrach, C. y P. Pathauer. 2005. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un

- ensayo Nelder modificado. Argentina. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 14 (2): 174-184.
- Ferreira, V. 1999. Equipos de Riego localizado de alta frecuencia, Equipos, Manejo y Mantenimiento. Boletín INIA Chile. No. 35. 75 p.
- Florence, R. 1996. Ecology and silviculture of eucalypt forest. CSIRO Publishing. Australia. 414 p.
- FONDEF (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico). 2002. Universidad Católica de Temuco. Aumento de la productividad de plantaciones de eucalipto a partir de técnicas racionales de manejo del sistema suelo-agua-planta. D97I2009 Informe Final. Temuco, Chile. 100 p.
- FONDEF (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico). 2005. Universidad Católica de Temuco. Desarrollo de sistemas de riego destinados a aumentar la productividad en *Eucalyptus*. D01I1140 Informe Final. Temuco, Chile. 86 p.
- Fox, T. 2000. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. Forest Ecology and Management 138: 187-202.
- Fuentes, J. L. 1999. El Suelo y los Fertilizantes. Ediciones Mundi-Prensa. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 5a Edición. Madrid, España. 352 p.
- Gaitán, J., Larocca F. y F. Dalla Tea. 2004. Fertilización inicial de *Eucalyptus grandis*: dinámica de la respuesta durante la rotación. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos. Paraná, Argentina. 10 p.
- Gallino, J., Fernández, M Tapias, Alcuña R. y I. Cañas. 2007. Aclimatación al frío en diferentes clones de *Eucalyptus globulus* Labill durante el régimen natural de endurecimiento. Boletín del CIDEU 4: 77-83.

- Garau A., G. Meyer y D. De Filippini. 2006. Establecimiento de *Pinus taeda* en la provincia de Corrientes (Argentina): Efecto del herbicida metsulfurón-metil sobre el crecimiento y la sobrevivencia de los plantines. *Bosque* 27(2):108-114.
- García, A. 2002. Gestión y conservación del suelo. En [www.unex.es/edafo/GCSL4CEPestHerbicidas.htm](http://www.unex.es/edafo/GCSL4CEPestHerbicidas.htm). Fecha de consulta 4 de abril de 2009.
- García, F. 2008. Evaluación de la selectividad del herbicida suelo activo diclosulam en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Escuela de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 52 p.
- Gerding, V., Fuentes O., J. Schlatter y P. González. 1985. Fertilización con boronotrocalcita en plantaciones jóvenes de *Pinus Radiata* en suelos graníticos. *Bosque* 6(2):100-112.
- 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, Chile. 22 p.
- Geldres, E. y J. Schlatter. 2004. Crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* sobre suelos rojo arcillosos de la provincial de Osorno, Décima Región. *Bosque* 25 (1):95-101.
- Gerrand, A. and W. Neilsen. 2000. Comparing square and rectangular spacings in *Eucalyptus nitens* using a Scotch plaid design. *Forest Ecology and Management* 129: 1–6.
- Gonçalves, J. L. de M., 1997. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. Anais do 10 Seminário Sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas. Curitiba, Brazil: 43-45.

- Goncalves, J., J. Stape, J. Laclaub, P. Smethurst, and J. Gavad. 2004. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management* 193: 45–6.
- Gonzalez, A. 2003. Comparación de la eficiencia del uso de agua entre una plantación de *Pinus radiata* y una de *Eucalyptus globulus* en la zona del secano interior de la VII Región de Chile. Tesis Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 52 p.
- Gurovich, L. 2002. "Riego Superficial Tecnificado". Cuarta Edición ampliada. Colección Textos Universitarios. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 650 p.
- Gutiérrez B. 2005. Propagación vegetativa y silvicultura clonal: Antecedentes generales. En: Clonación de raulí, estado actual y perspectivas. Editado por Braulio Gutiérrez, Oriana Ortiz y María Paz Molina. CEFOR, INFOR, UACH. Santiago, Chile: 19-40.
- Hillis. W. and , A. Brown. 1978. Eucalypts for wood production. CSIRO. Australia. 434 p.
- Honeysett, J., White, D., Worledge, D. and C. Beadle. 1996. Growth and Water use of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* in irrigated and rainfed plantations. CSIRO, Division of Forest Products and the Cooperative Research Centre for Temperate Hardwood Forestry. Locked bag. N°2, Standy Bay, Tasmania, Australia. 10 p.
- Hoodaa, A., Westona C., and D. Chenb. 2003. Denitrification in effluent-irrigated clay soil under *Eucalyptus globulus* plantation in south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management* 179: 547–558.
- Huber, A. y R. Trecaman. 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque* 25 (3): 33-43.
- Hussain, R. and S. Abbas. 1983. Provisional yield table of *Eucalyptus camaldulensis* in Pakistan. *Journal of Forestry* 33: 55–64.

- Ibañez, C. Nuñez, P., Pezzutti, R. y F. Rodriguez. 2004. Efectos de la roturación del suelo y fertilización con fósforo en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus taeda*, en suelos rojos del Norte de la provincia de Corrientes, Argentina. *Bosque* 25 (2): 69-76.
- INFOR (Instituto Forestal). 2001. Manual N°30. Manual de plantaciones forestales para pequeñas propiedades. Santiago, Chile. 65 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2002. Manejo y Mantención de Plantaciones Forestales, *Pinus radiata Eucalyptus sp.* Documento Divulgación N° 23. Santiago, Chile. 51p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2006. Antecedentes de alternativas de control de malezas y herbicidas usados en el sector forestal. Proyecto Innova Bío Bío-Infor 05-B1-340 L6: Alternativas de control de malezas a herbicidas cuestionados por los sellos de certificación. Santiago, Chile. 13 p.
- Jesús, F. 2009. Efeito do estresse hídrico na qualidade nutricional de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn (Myrtaceae) e no ataque de *Glycaspis Brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psyllidae). Dissertação (Mestrado em Ciências biológicas) Universidade Estadual de Montes Claros. Montes Claros, Brazil. 56 p.
- Jobet, J. 1999. Estudio del Efecto del Espaciamiento Inicial Sobre el Crecimiento y Rendimiento de *Eucalyptus nitens* Plantados en Suelo Trumao. XII Silvotecnia. Realidad y Potencial del Eucalipto en Chile. Concepción, Chile. 12 p.
- Judd, T., Bennet, L., Weston, C., Attiwill, P., Whiteman, P., 1996. The response of growth and folk nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland, southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 82: 87-101.
- Khana P., and R. Raison. 1986. Effect of fire intensity on solution chemistry of surface soil under a *Eucalyptus pauciflora* forest. *Australian Journal of Soil Research* 24: 423-434.

- Kissel, D., Cabrera M., Vaio N., Craig J., Rema J. and L. Morris. 2004. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a Loblolly pine plantation. Soil Science Society of America Journal 68:1744-1750.
- Kogan, M., Lira J., Figueroa, R. y P. Gómez. 1995. Proyecto: Biología de malezas, herbicidas y estrategias de control en plantaciones forestales. Actividades de Investigación, Temporada 1994/1995. Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 218 p.
- Laclau, J., Ranger, J., Nzila, J., Bouillet, J. and P. Deleporte, P. 2001. Nutrient cycling in *Eucalyptus* plantations in Congo. Consequences for the management of the stands. In : Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 14 p.
- Larocca, F., Dalla Tea F. y J. Aparicio. 2004. Técnicas de implantación y manejo de *Eucalyptus grandis* para pequeños y medianos forestadores en Entre Ríos y Corrientes. XIX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Argentina. 16 p.
- Lavery, P. 1986. Plantation forestry with *Pinus radiata*: review papers. Paper N° 12. School of Forestry, University of Canterbury. Christchurch, New Zealand. 255 p.
- Lawlor, D. 1995. The effects of water deficit on photosynthesis. Environment and plant metabolism-flexibility and acclimation. Oxford: Bios Scientific Publisher : 129-160.
- Lugo, A. 1986. Solos, interpretación físico-química. Cátedra de Química Xeral e Agrícola, E.U.I.T.A. España. En [http:// webdelprofesor .ula.ve/ingenieria /marquezronald /wp-content/uploads/An\\_341lisis-Laboratorio.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/An_341lisis-Laboratorio.pdf). Fecha consultada 23 de junio de 2010.
- Lupi, A., Fernández M., Real De Azua R., Azame M., Reis S., H. Reboratti, y R. Martiarena. 2003. Preparación del terreno para la segunda rotación de

*Eucalyptus grandis*. Efecto sobre la condición química. VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Buenos Aires, Argentina. 6p.

Lyon, A. 1990. Análisis del efecto de la fertilización en plantaciones de un año de *Eucalyptus globulus* Labill., en los suelos volcánicos de la VIII Región. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 112 p.

Madeira, M., Azevedo, A., Soares P. y M. Thomé, 2002. Efeito da laboura e da gradagem nas características do solo e na produtividade de plantações de *Eucalyptus globulus*. Revista de Ciências Agrárias 25: 158-169.

Madrigal, A., J. Álvarez, Rodríguez R., y A. Rojo. 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Fundación de Conde del Valle de Salazar. España. 253 p.

Maestri, R. 2003. Criterios de manejo forestal para la producción de madera sólida: el caso Aracruz. XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Argentina. 18 p.

Marin, H. 2002. Efecto de la técnica de aplicación de fertilizantes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill y *Eucalyptus nitens* Maiden en suelos del Secano Costero y Precordillera de la VIII Región. Tesis, Ingeniero Forestal. Temuco. Universidad Católica de Temuco. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Escuela de Ciencias Forestales. Temuco, Chile. 69 p.

Martino, D., Bennadji, Z., Pagliano, D. y E. Van Hoff. 1997. La forestación con Eucaliptos en Uruguay ; su impacto sobre los recursos naturales y el ambiente. Montevideo, Uruguay. INIA Serie Técnica N° 88. 24 p.

Marutani, T. 2010. The effect of site quality on economically optimal stand management, Journal of Forest Economics 16: 35-46.

Mason, E. and P. Milne. 1999. Effects of weed control, fertilisation and soil cultivation on the growth of *Pinus radiata* D.Don at mid-rotation in Canterbury. Canadian Journal of Forest Research 29: 985-982.

- Mc Laughlin. 1996. Phosphorus in Australian forest soils. Nutrition of *Eucalyptus*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 30 p.
- Melo, V., Ferreira, R., De Barros, N., Ferreira, M. y L. Da Costa. 1995. Balance nutricional, eficiencia de utilización y evaluación de la fertilidad del suelo en P, K, Ca y Mg, en parcelas con *Eucalyptus saligna*, en Río Grande do Sul, Brasil. Actas Simposio IUFRO. Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales. Valdivia, Chile.: 181-184.
- Miranda, I., Tome M. y H. Pereira. 2003. The Influence of Spacing on Wood Properties for *Eucalyptus globulus* Labill Pulpwood. *Appita Journal* 56 (2): 140 – 144.
- Misra, R., R. Turnbull, A. Cromer, A. Gibbons and A. La Sala. 1998. Bellow – and above – ground growth of *Eucalyptus nitens* in a young plantation. I. Biomass. *Forest Ecology and Management* 106: 283 – 293.
- Moroni, M., Worledge D. and C. Beadle. 2003. Root distribution of *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* in irrigated and droughted soil. *Forest Ecology and Management* 177:399–407.
- Muñoz, F. 2005. Evaluación de prácticas silvícolas en plantaciones de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden en Chile. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 166 p.
- Mushove, P. 1991. Comparison of three Eucalypt species in Nelder wheel spacing trials on four Zimbabwean sites. IUFRO Symposium. Intensive Forestry. The role of Eucalypts. Durban, South Africa, 2-6 de septiembre. Vol. 2: 940-951.
- Nambiar, E. 1990. Interplay between nutrients, water, root growth and productivity in young plantations. *Forest Ecology and Management* 30:213-232.
- Neilsen, W. and A. Gerrand. 1999. Growth and branching habit of *Eucalyptus nitens* at different spacing and the effect on final crop selection. *Forest Ecology and Management* 123(2-3): 217-229.

- Neilsen, W. and E. Pinkard. 2000. Developing silvicultural regimes for sawlog and veneer production from temperate eucalypt plantations in Tasmania. In: The Future of Eucalypts for wood products, Eds. L. Henderson, G. Waugh, G. Nolan and P. Bennett. Proceedings of IUFRO Conference, 19-24 March 2000, Launceston, Australia.: 335-348.
- Norris, C. and R. Stuart. 1994. Establishment and regeneration. In : Institute for Commercial Forestry Research – South Africa. Annual Research Report 1994: 19-37.
- Nutto, L., Touza, M. y J. Delgado. 2006. Modelos de producción de madera sólida de plantaciones de *Eucalyptus globulus* de Galicia. Boletín del CIDEU 2:37-50
- Ñancuvilu, J. 1995. Efecto de la preparación del suelo y del tipo de planta en el primer año de establecimiento de *Eucalyptus globulus* (Lab.) spp. *globulus* y *Eucalyptus nitens* en suelos ñadis de la comuna de Calbuco, Décima Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 72 p.
- Oliva, M., De Barros, N. y M. De Mouza. 1995. Interacción Ca – P y déficit hídrico en la “Seca de Ponteiros” de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. In: Simposio IUFRO. Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales. Valdivia, Chile: 125-132.
- Ortiz, O. y L. Koch. 2011. Estudio de masificación clonal de genotipos forestales selectos generados en programas de mejoramiento genético. INFOR MINAGRI. Santiago, Chile. 21p.
- Oyarzun, C. y A. Huber. 1999. Balance hídrico en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* en el sur de Chile. Terra 17(1): 35-44.
- Pacheco, C., M. Tome, Delgado J., Silva P. and J. Tome. 1997. Pattern of water extraction, water availability and growth in young *E. globulus* planted with different spacing. Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of *Eucalyptus*. Salvador, Brazil. Vol 4: 188-195.

- Pardos, J. 2007. Perspectiva fisiológica en la producción y mejora del eucalipto (con énfasis en *Eucalyptus globulus* Labill Boletín del CIDEU 3: 7-55.
- Pereira, J. 1994. *Eucalyptus* for biomass production. In Europe. *Eucalyptus* for Biomass Production. Commission of the European Communities.:5-10.
- Pereira, H., Pardos, J., Boudet, A. M., Mitchell, P., Mughini, G., Kyritsis, S. & Dalianis, C. 1996. Eucalypt plantations for production of raw-material for industry and energy in Europe. In: Biomass for energy and the environment. Chartier, P., Ferrero, G. L., Henius, U. M., Hultberg, S., Sachau, J., Wiinblad, M. (Eds) Pergamon, Elsevier Sci. Ltd. Oxford, England.: 84-89.
- Pérez, M., García, F. & R. Methol. 2001. Longterm effect of tillage intensity for *Eucalyptus grandis* planting on some soil physical properties in an uruguayan Alfisol. In 3rd International Conference on Land Degradation and Meeting of the IUSS Subommission C- Soil and Water Conservation. September 17-21, 2001, Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 1 disco compacto, 8 mm.
- Pezzutti, R. y S. Caldato. 2004. Efecto del control de malezas en el crecimiento de plantaciones de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* y *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Bosque 25(2):77-87.
- Pinilla, S. y I. Ulloa. 2001. Nuevos resultados en un ensayo de espaciamiento y raleo con *Eucalyptus globulus* en Constitución (VII Región). IUFRO Conference. The Eucalypts of the future. Valdivia, Chile. 14 p.
- Pinkard, E., Battaglia, C., Beadle, C. and P. Sands. 1998. Modelling the effects of physiological responses to green pruning on net biomass productions of *Eucalyptus nitens*. Tree Physiology 12: 119-129.
- Pinkard, E. and C. Beadle. 1998. Regulation of Photosynthesis in *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden following green pruning. Trees: Structure and Functions 12: 366-376.

- Pothier, D. and H. Margolis. 1990. Changes in the water relations of balsam-fir and white birch saplings after thinning. *Tree Physiology* 6: 371-380.
- Potts, B. and H. Dungey. 2004. Interspecific hybridization of *Eucalyptus*: key issues for breeders and geneticists. *New Forests* 27: 115-138.
- Pozo, E. 2005. Efecto de la fertilización sobre plantaciones de *Eucalyptus globulus* (Labill.) y *Eucalyptus nitens* (Maiden) de siete años de edad en la comuna de Máfil, provincia de Valdivia. Tesis, Ingeniero Forestal. Santiago Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ciencias Forestales Departamento de Silvicultura. Santiago, Chile. 107 p.
- Prado, J. y J. Wrann. 1988. La importancia de la preparación del sitio y la fertilización en el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus*. In: Actas Simposio Manejo Silvícola del Género *Eucalyptus*. Viña del Mar, Chile.: 266-285.
- Puentes, G. y D. Suárez. 2001. Efecto de la dosis de N y P al establecimiento y post-establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus nitens* Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill en dos ecosistemas de la VIII Región. IUFRO Conference. The Eucalypts of the future. Valdivia, Chile. 10 p.
- Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos, un método racional. Santiago. Chile. Pontificia Universidad Católica, de Chile. Santiago, Chile. 291 p.
- Rubilar R. 2005. Environmental constraints on growth phenology, leaf area display, and above and belowground biomass accumulation of *Pinus radiata* (D. Don) in Chile. Ph.D. Dissertation. Dept. of Forestry and Environmental Resources, North Carolina State Univ. Raleigh, USA. 190 p.
- Rubilar, R. 1998. Control de malezas y fertilización de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don establecidas en suelos metamórficos del predio Quivolgo II, Constitución, VII Región. Memoria Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 116 p.

- Rubilar, R., Toro J., y A. Vita. 2008. Respuesta temprana de *Pinus radiata* al control de malezas y la fertilización en suelos metamórficos de la Cordillera de la Costa de la Región del Maule. *Bosque*. 29(1): 74-84.
- Rubilar R., Fox T., L. Allen, Albaugh, T. y C. Carlson. 2009. Manejo Intensivo al Establecimiento de Plantaciones Forestales de *Pinus sp.* y *Eucalyptus sp.* en Chile y Argentina. *Informaciones Agronómicas* N° 40 del Cono Sur. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas. Argentina. 6 p.
- Ruiz, F., Soria, F., Pardo, M y G. Toval. 2001. Ensayos factoriales de fertilización en masas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) de mediana edad. Análisis de rentabilidad de inversión por fertilización. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 9 p.
- Saavedra, C. 2004. Determinación de peso específico y de algunas propiedades biometricas en *Eucalyptus globulus* (Labill) como materia prima pulpable Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero de la Madera. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 98 p.
- Sanchez, L. 1997. Interferencia de las malezas sobre la absorción de nutrientes y el crecimiento inicial de *Eucalyptus globulus* Labill. spp. *globulus*. Tesis Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 65 p.
- Six, J., Elliott E. and K. Paustian. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 2099-2103.
- Schönau A. and J. Coetzee. 1989. Initial Spacing, stand density and thinning in Eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management* 29(4): 245-266.
- Schönau, A., and M. Herbert. 1993. Relationship between growth rate, fertilizing and foliar nutrient concentration for *Eucalyptus grandis*. *Fertilizer Research Journal*. 4: 369-380.

- Smethurst, P., G. Holz, M. Moroni and C. Baillie. 2004. Nitrogen management in *Eucalyptus nitens* plantations. *Forest Ecology and Management* 193: 63-80.
- Smit, M. y S. Singels. 2006. The response of sugarcane canopy development to waterstress. *Field Crops Research* 98 (2):91-97.
- Smith, D., Larson, B., Kelty, M. and M. Ashton. 1997. *The practice of silviculture: applied forest ecology*. Ninth Edition. John Wiley y Sons. New York, USA. 538 p.
- Taiz, L. y, E. Zeiger. 2004. *Fisiología vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed Editora. Brasil. 583 p.
- Tewari, V., Verma, A. and V. Kumar. 2002. Growth and yield functions for irrigated plantations of *Eucalyptus camaldulensis* in the hot desert of India. *Bioresource Technology* 85: 137–146.
- Toro, J. 1995. Avances en fertilización de *Pinus radiata* y *Eucalyptus*. In: Schlatter J.y V. Gerding (Eds). *Actas Simposio IUFRO para el Cono Sur Sudamericano. Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales*. Valdivia. Chile 25-30 Abril 1995. Fac. Cs. Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 393 p.
- Toro, J. y S. Gessel. 1999. Radiata pine plantations in Chile. *New Forests* 18:33-44.
- Toro, J. 2004. Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque* 25(2): 101-113.
- Turnbull, C., Beadle L., West, P. and R. Cromer. 1994. Copper deficiency a probable cause of stem deformity in fertilised *Eucalyptus nitens*. *Canadian Journal of Forest Research* 24(7): 1434-1439.
- Watts, D. y E. Holzapfel. 1999. Riego por Aspersión, Sistema Fijo y Pivote Central. XI Jornadas de Extensión Agrícola “Avances en Tecnología de Riego y Mecanización”. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile. 26 p.

- Weetman, G. 1989. Graphical vector análisis technique for testing stand nutritional status. W. J. Dyck and C. A. Mees (Ed.). Forest Research Institute, New Zealand, Bulletin 152: 93-109.
- White, D., Beadle, C. and Worledge, D. 2000. Control of transpiration in an irrigated *Eucalyptus globulus* Labill. plantation. Plant, Cell & Environment 23:123–134.
- Will, G. 1985. Nutrient deficiencies and fertiliser use in New Zeland exotic forests. Bulletin N° 97, Forest research Institute. Rotorua, New Zeland. 53 p.
- Wullschleger, S., Tuskan, G. and S. Difazio. 2002. Genomics and the tree physiologist. Tree Physiology 22: 1273-1276.

**CAPÍTULO 3. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA  
RENTABILIDAD DE PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS  
GLOBULUS LABILL.***

---

---

**(Publicado en Agrociencia 41: 797-804. 2007)**

**RENTABILIDAD DE LA FERTILIZACIÓN AL ESTABLECIMIENTO DE  
PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS GLOBULUS***

**ESTIMATING PROFITABILITY OF ESTABLISHMENT FERTILIZATION IN *EUCALYPTUS  
GLOBULUS* PLANTATIONS**

Emilio **Guerra**<sup>1</sup>, Miguel Ángel **Herrera**<sup>2</sup> y Fernando **Drake**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias Forestales, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco. Casilla 15-D. Temuco, Chile. (eguerra@uct.cl).

<sup>2</sup>Universidad de Córdoba, Córdoba, España. (mherrera@uco.es)  
(fdrake@udec.cl)

## RESUMEN

La aplicación de fertilizantes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill es fundamental para aumentar su productividad. Se determinó la rentabilidad de dosis de fertilización de nitrógeno y fósforo en el establecimiento, en una plantación de cinco años en el sector costero de la VIII Región de Chile. Los tratamientos (T) fueron: T1 (N<sub>50</sub>P<sub>50</sub>); T2 (N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>); T3 (N<sub>200</sub>P<sub>100</sub>); T4 (N<sub>200</sub>P<sub>200</sub>); T5 (N<sub>300</sub>P<sub>200</sub>); T6 (N<sub>300</sub>P<sub>400</sub>); T7 (N<sub>300</sub>P<sub>400</sub> + K<sub>2</sub>O); T8 (N<sub>300</sub>P<sub>400</sub>+ FGC) y un testigo T0 (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>). Las variables proyectadas a la edad de cosecha fueron el crecimiento volumétrico de los árboles y la rentabilidad (valor actual neto, VAN; tasa interna de retorno, TIR; valor económico del suelo, VES). Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ; Tukey) en todas las variables estudiadas. Los mejores tratamientos en crecimiento volumétrico al momento de la cosecha fueron T3 y T8. Para rentabilidad, los mejores valores de VAN fueron US\$ 717 ha<sup>-1</sup> y US\$ 530 ha<sup>-1</sup> para T3 y T1, donde la fertilización produjo un incremento de US\$ 415 ha<sup>-1</sup> y US\$ 228 ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Se concluye que al aplicar bajas dosis de fertilización, T3 y T1, se obtienen aumentos en la productividad y rentabilidad del cultivo. Aumentar las dosis de fertilización implicaría disminuir la rentabilidad.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, Chile, nutrición forestal, rentabilidad de fertilización.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la productividad en el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill (eucalipto) está influenciado por las técnicas silviculturales que permiten obtener altos rendimientos en rotaciones cortas. Dentro de estas técnicas, la fertilización permite una mejor utilización de los recursos del suelo y la oportunidad de su aplicación es crítica para obtener una respuesta óptima (Turner, 1982). Según Ruiz, *et al.* (2001), la fertilización es la técnica más eficiente para acelerar el crecimiento y aumentar la supervivencia, tanto de la planta en vivero como de las masas de eucaliptos una vez establecidas en el campo. Muchos autores concuerdan en la conveniencia de ajustar los esquemas de fertilización en función de los requerimientos de la plantación, buscando un equilibrio con las técnicas operacionales de aplicación, las que reducirían pérdidas de elementos a causa de volatilización, lixiviación, inmovilización y erosión (Aparicio *et al.*, 2001). Se han obtenido mejores resultados cuando el fertilizante se aplica en los primeros seis meses de la plantación; la aplicación un año más tarde no produce los mismos resultados, y el efecto es mínimo o inexistente (Schönau *et al.*, 1984), lo que concuerda con Ruiz, *et al.* (2001), quienes afirman que a medida que mayor es la edad de las masas forestales de eucaliptos, menor es la exigencia nutricional. Por otro lado, estudios realizados por Merino *et al.* (2003) indicaron que repetidas fertilizaciones mejorarían la nutrición y el crecimiento de los eucaliptos sobre suelos pobres y poco profundos, en conjunto con adecuadas prácticas de preparación del terreno. Misra *et al.* (1998), señalan que la mayor respuesta se obtiene con nitrógeno (N), mientras que el fósforo (P) produce un menor efecto en el crecimiento y que en conjunto estos elementos incrementarían la biomasa aérea. En un ensayo con *Eucalyptus nitens*, Turnbull *et al.* (1997) encontraron diferencias significativas al fertilizar con altas tasas de N y P. En Botadura, VII Región, Chile, la mezcla NPK causó una reacción favorable en eucalipto y todas las parcelas fertilizadas acumularon 15 a 50 veces más biomasa que las no tratadas (INFOR-CORFO,

1991). Estos aumentos significativos en las tasas de crecimiento permiten cosechar trozas de tamaño comercial e incrementar los ingresos futuros (Moore *et al.*, 1998). Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de ocho dosis de fertilización en el crecimiento volumétrico a la edad de cosecha (año 10), así como en los costos y beneficios para determinar la rentabilidad en el establecimiento de plantaciones de eucalipto en la costa de la VIII Región de Chile. La hipótesis fue que la aplicación de fertilizante durante el establecimiento aumenta la rentabilidad de las plantaciones de eucalipto.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se usó una plantación establecida manualmente en agosto de 1998, con una densidad de plantación estandarizada en 1.428 plantas ha<sup>-1</sup>, con espaciamiento de 2 m entre plantas y 3,5 m entre hileras. Los fertilizantes utilizados fueron: superfosfato triple (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), urea (46% N) y sulpomag (22% K<sub>2</sub>O). Las mezclas de fertilizantes se aplicaron en dos bandas de 60 cm, a 15 cm del eje de la planta y a 20 cm de profundidad, a excepto el N que se aplicó al voleo mediante un anillo de cobertera. La evaluación se realizó en el quinto año (septiembre de 2003): se delimitaron parcelas de 16 x 21 m (336 m<sup>2</sup>), donde se evaluó el efecto de la fertilización con N y P sobre el crecimiento de los árboles. Las variables fueron diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (HT), se calculó el área basal (G) y el volumen (VOL).

Luego de analizar la respuesta a la fertilización, el crecimiento se proyectó al momento de la cosecha (año 10). Para la proyección y cálculo del volumen comercial de madera susceptible de convertirse en pulpa se usó el simulador Eucalipto (Eucasim) facilitado por Forestal y Agrícola Monteáguila S.A. (FAMASA S.A.).

El diseño experimental fue en bloques completamente al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones (Tabla 3-1). Se realizó un análisis de varianza (A de V) de un factor y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) utilizando el software JPM 5.0.1.

Tabla 3-1. Dosis de fertilización, año de aplicación y el total aplicado por tratamiento (Ti).

Ti	Dosis	Año 0		Año 1		Año 2		Total 3 años	
		(kg ha <sup>-1</sup> )		(kg ha <sup>-1</sup> )		(kg ha <sup>-1</sup> )			
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
0	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
1	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub>	50	50	0	0	0	0	50	50
2	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub>	50	100	50	0	0	0	100	100
3	N <sub>200</sub> P <sub>100</sub>	50	100	100	0	50	0	200	100
4	N <sub>200</sub> P <sub>200</sub>	50	100	100	100	50	0	200	200
5	N <sub>300</sub> P <sub>200</sub>	50	100	100	100	50	100	200	300
6	N <sub>300</sub> P <sub>400</sub>	100	200	100	100	100	100	300	400
7	N <sub>300</sub> P <sub>400</sub> + K <sub>2</sub> O	100	200	100	100	100	100	300	400
8	N <sub>300</sub> P <sub>400</sub> + FGC	100	200	100	100	100	100	300	400

<sup>1</sup>FGC: Formulación general completa

Fuente: FONDEF, 2002.

<sup>1</sup> Mezcla constituida por micronutrientes esenciales tales como MgO, S, B, Zn y Cu, aplicada con el objetivo de que la ausencia de alguno de ellos no enmascare la respuesta a los nutrientes evaluados.

### **Cálculo de la productividad y evaluación financiera**

La productividad se calculó según FONDEF (1997):

$$\text{VOL (m}^3\text{)} = 0,00756 + 0,0000297 * \text{DAP}^2 * \text{HT} \quad (1)$$

Para determinar el volumen pulpable se aplicó el factor de descuento de 5,8% (FAMASA S.A.).

La rentabilidad se evaluó mediante los indicadores valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), valor económico del suelo (VES), usando un flujo de proyecto. La tasa de descuento ( $T_c$ ) se calculó con la siguiente fórmula:

$$T_c = r_f + \beta[E(R_m) - r_f] \quad (2)$$

Donde,  $r_f$  = rendimiento del activo sin riesgo;  $E(R_m)$  = rendimiento esperado del mercado durante el periodo de tiempo considerado;  $[E(R_m) - r_f]$  = valor de la prima de riesgo que rige en el mercado.  $\beta$  se determinó usando los cierres mensuales de precios de las acciones de la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones S.A. (CMPC), y del Índice Selectivo del Precio de las Acciones (IPSA), de los últimos 60 meses.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis de las variables de crecimiento**

En la Tabla 3-2 se presentan los resultados de las variables de crecimiento para las dosis de fertilización después de cinco años de establecimiento.

Tabla 3-2. Variables de crecimiento para las distintas dosis de fertilización después de cinco años de establecimiento.

Ti	Dosis	DAP Promedio (cm)	HT Promedio (m)	G Total (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL promedio (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
0	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub>	12,7	18	24	157
1	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub>	12,6	19	23	172
2	N <sub>100</sub> P <sub>100</sub>	14,6	18	27	186
3	N <sub>200</sub> P <sub>100</sub>	15,6	20	30	237
4	N <sub>200</sub> P <sub>200</sub>	14,4	19	28	206
5	N <sub>300</sub> P <sub>200</sub>	15,0	19	29	209
6	N <sub>300</sub> P <sub>400</sub>	14,3	20	29	220
7	N <sub>300</sub> P <sub>400</sub> + K <sub>2</sub> O	15,2	20	31	229
8	N <sub>300</sub> P <sub>400</sub> + FGC	14,6	20	30	234

DAP = Diámetro a la altura del pecho; HT = Altura total; G = Área basal; VOL = Volumen.

El DAP varió de 12,6 y 15,6 cm; la HT de 18 y 20 m; el G de 23 a 31 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y el VOL de 157 a 237 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. La máxima diferencia volumétrica fue 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> entre los tratamientos T0 y T3; así, la mejor respuesta se obtuvo con esta dosis de fertilización.

Las mejores dosis de fertilización ( $p \leq 0.05$ ) fueron de los tratamientos T3 y T7 para DAP; T3, T6, T7 y T8 para HT; T3, T7 y T8 para G; T3 y T8 para VOL. La dosis N<sub>200</sub>P<sub>100</sub> (T3) se repitió dentro de los mejores resultados para las cuatro variables, dando soporte estadístico a los altos valores volumétricos encontrados. Los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación continua de fertilizantes durante los dos primeros años, confirmando la respuesta a la fertilización en el crecimiento de la plantación. Sin embargo, la mejor dosis corresponde al tratamiento T3, porque se aplica una menor cantidad de fertilizante y este resultado no fue significativamente diferente de T8.

La respuesta a la fertilización se esperaba, ya que plantaciones en sitios de mejor calidad, como es el caso en estudio, demandan mayor cantidad de nutrientes para generar una mejor respuesta (Puentes y Suárez, 2001) y, por tanto, necesitan una fertilización acorde a esta demanda (Cromer, 2002). Igualmente se esperaba una respuesta favorable a la fertilización con fósforo, debido a la importancia de aplicar este elemento al momento de la plantación en el desarrollo del árbol (INFOR, 1991). Según González (1997), la respuesta al P es factible bajo 4 ppm de P-Olsen y en este suelo había 1,6 ppm de P-Olsen. Respecto a lo señalado por Cromer *et al.* (2002), en este estudio el resultado fue mejor con 200 kg ha<sup>-1</sup> de aplicación de N, o sea, 100 kg ha<sup>-1</sup> menos de lo indicado por esos autores.

Según Puentes *et al.* (2002), en sitios costeros de la VIII Región las tasas de fertilización deben ser más altas para obtener una mejor respuesta, lo que concuerda con lo observado en la presente investigación respecto a la buena calidad del sitio. La demanda generada por el crecimiento de una plantación no es cubierta por el suministro de los suelos del secano costero de la IX Región (Suárez *et al.*, 1997). Ésto anticipa una respuesta favorable a la fertilización y también a la refertilización en estos sitios de buena calidad, ya que para lograr las tasas de crecimiento las plantas demandan mayor cantidad de nutrientes que la proporcionada por el suelo.

### **Proyección volumétrica al año de cosecha**

Según el análisis de los resultados proyectados a la edad de cosecha de 10 años (Tabla 3-3), los tratamientos T3 y T8 tuvieron los mejores resultados (476 y 477 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), con diferencias de hasta 128 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> respecto al testigo T0 (349 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Ésto indicaría que las diferencias (80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) al momento de la evaluación (año 5) aumentarían en la cosecha.

Tabla 3-3. Volumen ( $m^3 ha^{-1}$ ), proyectado para los tratamientos al año de cosecha y costo total de establecimiento y fertilización para los tratamientos.

Tratamientos	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Vol ( $m^3 ha^{-1}$ )	349	409	388	476	424	431	459	457	477
Costo Total (US\$ $ha^{-1}$ )	800	918	1.037	1.150	1.204	1.258	1.356	1.373	1.627

En la Figura 3-1 se observa la evolución del crecimiento acumulado; la diferencia volumétrica entre los tratamientos en los primeros años aumenta con el tiempo.

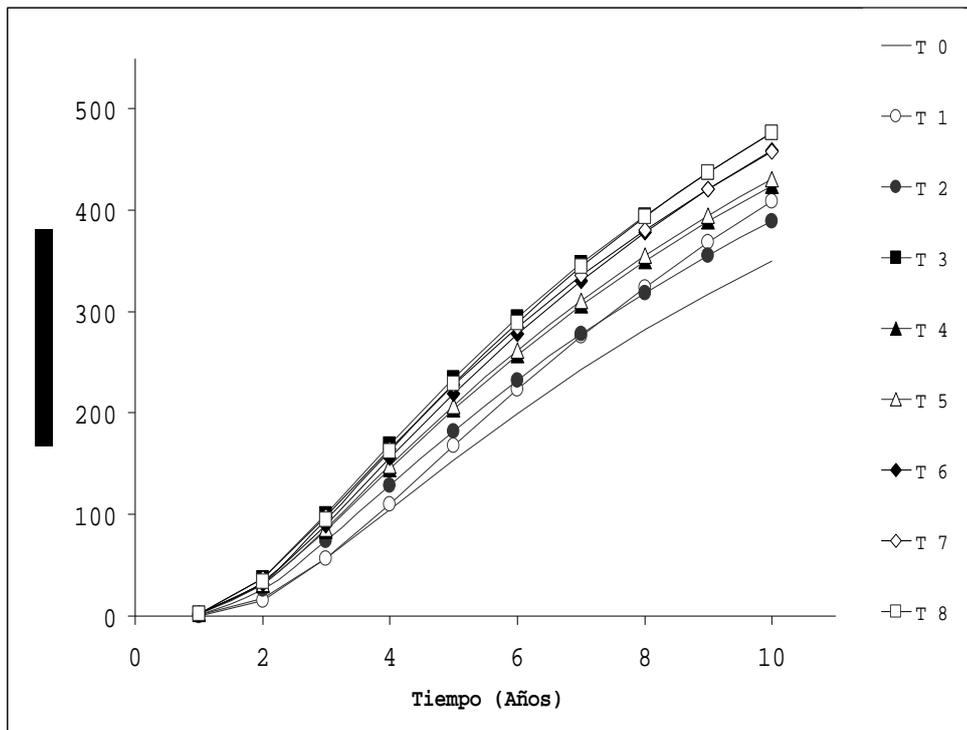


Figura 3-1. Proyección del crecimiento en volumen acumulado ( $m^3 ha^{-1}$ ) a los 10 años para los distintos tratamientos.

En la Figura 3-2 se muestra el crecimiento anual corriente, con un máximo entre los años 3 y 4. La mayoría de los tratamientos causó el máximo crecimiento en

períodos similares, pero hay diferencias en las tasas de crecimiento anual. Así, los tratamientos T3 y T8 tuvieron las tasas más altas y T2 y T0 las más bajas, con una diferencia de hasta  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  entre estos dos grupos.

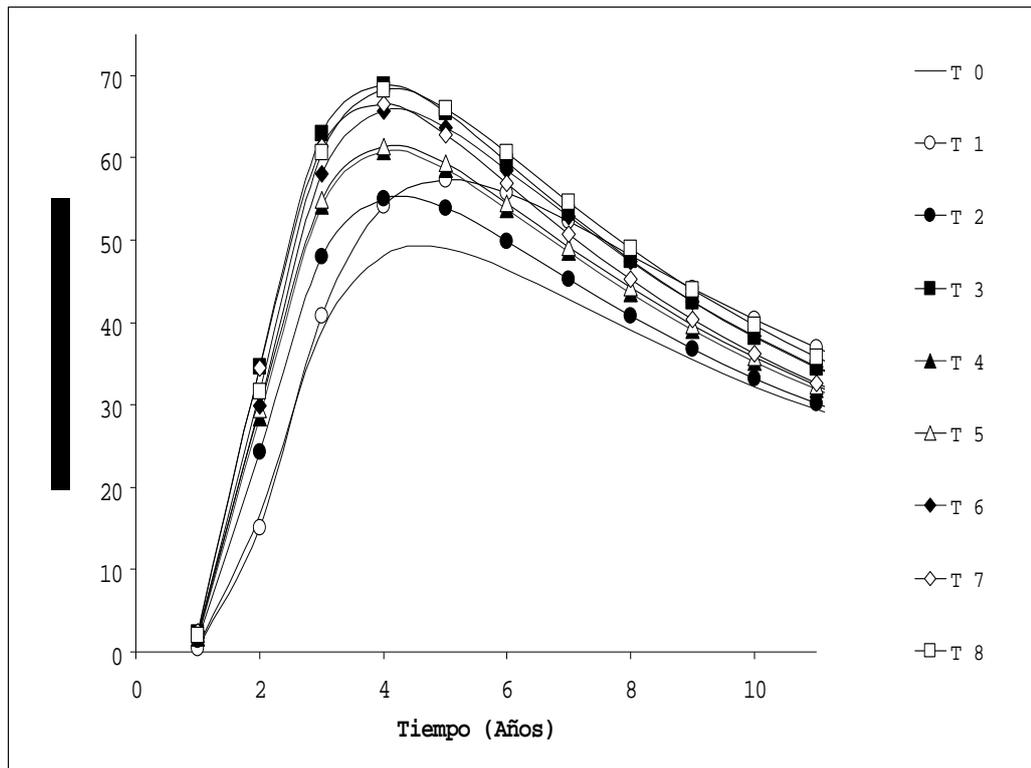


Figura 3-2. Crecimiento volumétrico corriente ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), para los distintos tratamientos en estudio.

### Análisis de rentabilidad de las dosis de fertilización en 10 años

Para el análisis de la rentabilidad la tasa de descuento ( $T_c$ ) fue calculada mediante la ecuación (2) de 8,7%, y la tasa de referencia de la industria forestal chilena (8 y 10%). Con los datos de los costos (Tabla 3-4) durante la evaluación y el cálculo de los ingresos por la venta de madera susceptible de convertirse en pulpa (US\$ 35  $\text{m}^3$ ), se calculó la rentabilidad de cada tratamiento.

Tabla 3-4. Rentabilidad del proyecto de plantación, para cada tratamiento (Ti), según VAN, TIR y VES, para tres tasas de descuento.

INDICADOR		TRATAMIENTOS								
		T0 (N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> )	T1 (N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> )	T2 (N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> )	T3 (N <sub>200</sub> P <sub>100</sub> )	T4 (N <sub>200</sub> P <sub>200</sub> )	T5 (N <sub>200</sub> P <sub>300</sub> )	T6 (N <sub>300</sub> P <sub>400</sub> )	T7 (N <sub>300</sub> P <sub>400</sub> + K2O)	T8 (N <sub>300</sub> P <sub>400</sub> + FGC)
VAN (US\$ha <sup>-1</sup> )	8%	472	723	486	934	559	554	636	610	477
	10%	11	200	-14	345	26	15	68	43	-108
	8,7%	302	530	301	717	363	365	427	401	261
TIR (%)		10,2	10,9	9,9	11,4	10,1	10,1	10,3	10,2	9,6
	8%	2.379	1.379	2.405	3.24	2.543	2.533	2.686	2.636	2.39
	10%	1.518	1.826	1.476	2.062	1.542	1.525	1.612	1.571	1.323
VES (US\$ha <sup>-1</sup> )	8,7%	2.034	2.439	2.033	2.768	2.142	2.129	2.255	2.209	1.962

El tratamiento con la más alta rentabilidad fue T3, con un VAN de 717 US\$ ha<sup>-1</sup>, una TIR del 11,4% y un VES de 2.768 US\$ ha<sup>-1</sup>. Con el tratamiento T8 se obtuvo el mayor volumen a la edad de cosecha, pero su rentabilidad es más baja que la del testigo. Esto es relevante porque los silvicultores tradicionales obtienen un alto volumen de biomasa por unidad de superficie, sin considerar los costos asociados. En este caso, se comprobó que no siempre los mayores volúmenes aseguran la mejor rentabilidad.

Al aumentar la Tc, disminuye la rentabilidad del proyecto, debido a una relación inversa. Al utilizar distintas tasas varía la magnitud de los resultados, pero hay cambio en la jerarquía de los lugares con respecto a los indicadores de rentabilidad.

Los análisis posteriores sólo se refieren al VAN, ya que los otros indicadores son complementarios. Así, se clasificaron los tratamientos en relación con la rentabilidad alcanzada, y se puede ver que no se debe fertilizar plantaciones con N<sub>100</sub>P<sub>100</sub> y

N<sub>300</sub>P<sub>400</sub>+FGC, ya que se invertiría en fertilizar y la rentabilidad sería inferior a la alternativa de no fertilizar (T0). Esto concuerda con Cromer *et al.* (2002, quienes señalan que en sitios de buena calidad, al aumentar las dosis de fertilización la rentabilidad es positiva, aunque disminuye considerablemente. Se puede concluir que la mejor dosis de fertilización corresponde al Tratamiento 3 (200 kg N ha<sup>-1</sup> y 100 kg P ha<sup>-1</sup>).

Para la dosis T3 se realizó un análisis de sensibilidad del precio, con valores de US\$ 30 m<sup>-3</sup> y US\$ 40 m<sup>-3</sup> de madera susceptible de convertirse en pulpa. Los resultados obtenidos muestran que para un precio de US\$ 30 m<sup>-3</sup> la rentabilidad cae a US\$ -140 ha<sup>-1</sup> (8,7%), aunque al invertir en esta alternativa se logra un valor incremental de US\$ 187 ha<sup>-1</sup> (8,7%) con respecto al tratamiento testigo que también es negativo. Con el precio de US\$ 40 m<sup>-3</sup>, la rentabilidad aumenta a US\$ 1.574 ha<sup>-1</sup>, esto es un incremento de US\$ 642 ha<sup>-1</sup> con respecto a la alternativa de no invertir.

Es necesario resaltar que la fertilización, para la dosis N<sub>200</sub>P<sub>100</sub>, explica US\$ 415 ha<sup>-1</sup> de los US\$ 717 ha<sup>-1</sup> que obtiene el proyecto, ésto es 58% de los retornos obtenidos. Si la inversión en fertilizantes para la dosis N<sub>200</sub>P<sub>100</sub> es US\$ 350 ha<sup>-1</sup> y el ingreso es US\$ 415 ha<sup>-1</sup>, el retorno es US\$ 1,18 ha<sup>-1</sup> por cada dólar invertido.

De mantenerse la tendencia actual, con respecto al aumento del precio de la celulosa, se espera que esta alza se transmita finalmente al precio de la madera convertida en pulpa. Así, con este régimen de fertilización, se favorecerían los proyectos de plantación porque un aumento de US\$ 5 m<sup>-3</sup> en el precio de la madera causaría un aumento de poco más del 50% en la rentabilidad.

## CONCLUSIONES

La mejor dosis de fertilización, en resultados volumétricos y de rentabilidad corresponde al tratamiento 3, es decir la aplicación de 200 kg N ha<sup>-1</sup> y 100 kg P ha<sup>-1</sup>. Los resultados volumétricos están relacionados con la ubicación geográfica, que es una de las mejores del país para el establecimiento de eucaliptos.

Según el análisis económico, se recomienda aplicar bajas dosis de fertilización. Aumentar las dosis en estos proyectos podría reducir la rentabilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Nacional de Investigación Ciencia y Tecnología (CONICYT-CHILE).

## REFERENCIAS

- Aparicio, J., V. Gerding, J. Schlatter, y R. Grez. 2001. Dinámica de elementos nutritivos en la biomasa de *Eucalyptus nitens* al cuarto año de crecimiento, en un suelo rojo arcilloso del sur de Chile. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 12p.
- Cromer, R., R. Turnbull, A. LaSala, P. Smethurst, and A. Mitchell. 2002. *Eucalyptus* Growth in relation to combined nitrogen and phosphorus fertilizer and soil chemistry in Tasmania. *Austrian Forest* 65(4): 256 – 264.
- FONDEF (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico). 1997. Proyecto Aumento de la productividad de plantaciones de Eucalipto a partir de técnicas Racionales de Manejo del sistema Suelo-Agua-Planta. Informe Final. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile 283 p.

- FONDEF (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico). 2002. Proyecto Aumento de la productividad de plantaciones de Eucalipto a partir de técnicas Racionales de Manejo del sistema Suelo-Agua-Planta. Parte 1ª: Método de la experimentación. Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile. 45 p.
- González, L. 1997. El Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) gigante de Australia en México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México. 49p.
- INFOR (Instituto Forestal). 1991. *Eucalyptus*. Principios de silvicultura y Manejo. Santiago, Chile. 199 p.
- Merino, A., A. Lopez, J. Branas, y R. Rodriguez. 2003. Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. *Annals of Forest Science* 60 (6): 509-517.
- Misra R., R. Turnbull, A. Cromer, A. Gibbons, and A. LaSala. 1998. Bellow – and above – ground growth of *Eucalyptus nitens* in a young plantation. I. Biomass. *Forest Ecology and Management* 106: 283 – 293.
- Moore, J., D. Hanley, H. Chappel, J. Shumway, S. Webster, and J. Mandzak. 1998. Fertilizing eastern Washington coniferous forest. A guide for nonindustrial private forest landowners. Washington State University Cooperative Extensión. Pullman, USA. 18 p.
- Puentes, G. y D. Suárez. 2001. Efecto de las dosis de N y P al establecimiento y post-establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus nitens* Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill en dos ecosistemas de la VIII Región. Informe final de resultados. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Depto. de Ciencias de los Recursos Naturales. Santiago, Chile. 215 p.

- Puentes, G., J. Rodríguez, and D. Suárez. 2002. Increasing of productivity from establishment practices for *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus globulus* in Chile. EucProd. 2002. Hobart, Australia. IUFRO. Hobart, Australia. 11 p.
- Ruiz, F., F. Soria, M. Pardo y G. Toval. 2001. Ensayos factoriales de fertilización en masas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) de mediana edad. Análisis de rentabilidad de inversión por fertilización. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 9p.
- Schönau, A., C. Schutz, and A. Van Laer. 1984. Symposium on Site and Productivity of Fast Growing Plantations. Pretória, South Africa. V. 1: 847-856.
- Suárez, D., J. Rodríguez, y G. Puentes. 1997. Fertilización del pino: Fundamentos y Aplicación. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Depto. de Ciencias de los Recursos Naturales. Santiago, Chile. 143 p.
- Turnbull, R., C. Beadle, R. McLeod, and M. Cherry. 1997. Clearing with excavators and nitrogen fertilizer increases the yield of *Eucalyptus nitens* in plantations established on a native forest site in south Tasmania. Austrian Forest 60(2): 109 – 115.
- Turner, J. 1982. A review of forest fertilization program in Australia. In: IUFRO Symposium on forest site and continuous productivity. Seattle, Washington. pp: 293 – 356.

**CAPÍTULO 4. EFECTO DE LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN LA  
RENTABILIDAD DE PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS*  
*GLOBULUS LABILL***

---

---

(En revisión en Agrociencia 2011)

**EFECTO DE LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN LA RENTABILIDAD DE  
PLANTACIONES DE EUCALIPTO**

**EFFECT OF THE STAND DENSITY IN THE PROFITABILITY OF *EUCALYPTUS*  
PLANTATIONS**

Emilio **Guerra**<sup>1</sup>, Miguel Ángel **Herrera**<sup>2</sup> y Fernando **Drake**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias Forestales, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco. Casilla 15-D. Temuco, Chile. (eguerra@uct.cl).

<sup>2</sup>Universidad de Córdoba, Córdoba, España. (mherrera@uco.es)  
(fdrake@udec.cl)

## RESUMEN

La densidad de plantación afecta el crecimiento de los árboles en la producción de volumen y en consecuencia en la rentabilidad del cultivo. En este estudio se evaluó económicamente la respuesta de diferentes densidades de plantación. Se usó la técnica de Montecarlo para examinar el efecto de las variaciones de precios y de la tasa de descuento sobre la rentabilidad. El ensayo fue establecido en el predio Santa Rosa, ubicado en el sector de Traiguén, IX Región de La Araucanía, Chile. Los tratamientos (T) fueron: (T1) 1.000 árboles ha<sup>-1</sup>; (T2) 1.428 árboles ha<sup>-1</sup>; (T3) 1.667 árboles ha<sup>-1</sup>; y (T4) 2.000 árboles ha<sup>-1</sup>. Se analizó el efecto de la aplicación de éstas densidades de plantación sobre el crecimiento de los árboles, y posteriormente se realizó un análisis financiero, lo que permitió obtener su rentabilidad (valor actual neto, VAN; valor económico del suelo, VES; tasa interna de retorno modificada, TIRm). Los mejores tratamientos en crecimiento volumétrico al momento de la cosecha fueron T4 (223 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y T3 (209 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Para rentabilidad, los mayores valores de VAN fueron de T1 (330 US\$ ha<sup>-1</sup>) y T4 (322 US\$ ha<sup>-1</sup>). Los pronósticos para el VAN de T1 mostraron una probabilidad de ocurrencia de 73%, resultando ser la opción menos riesgosa para inversión. El estudio reveló que el precio de la madera pulpable está altamente correlacionado con la rentabilidad del cultivo. Esto implica que los mayores rendimientos volumétricos (T4 y T3) no propician las mayores rentabilidades, toda vez que el incremento de la densidad de plantación aumenta los costos por unidad de planta en relación al manejo de suelos, control de malezas y fertilización.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, espaciamiento, rentabilidad de la densidad de plantación.

## INTRODUCCIÓN

En la maximización de la producción forestal para obtener madera, los tratamientos silvícolas tienen una función fundamental en las plantaciones. La densidad de plantación es una de las variables con mayor incidencia en el logro de este objetivo, debido a que produce un significativo efecto sobre el crecimiento del bosque (Bailey, 1986; INFOR, 1995). Además, la importancia del efecto de la densidad sobre el crecimiento de los árboles no sólo se traduce en la producción de mayor o menor volumen, sino que también tiene un efecto importante sobre la rentabilidad del negocio para el cual fue establecida la plantación.

Según Jobet (1999), el espaciamiento es uno de los factores más importantes en la productividad del sitio por lo que es un factor estratégico para el silvicultor pues debe hacerse una buena combinación entre espaciamiento, edad de rotación, calidad de sitio y tratamientos al establecimiento de la plantación (manejo del suelo, control de malezas y fertilización). Esto concuerda con Bailey (1986), quien afirma que la decisión más crítica en las plantaciones forestales se produce cuando los árboles son plantados y cosechados, ya que las variables controlables más influyentes en el valor del cultivo son la densidad de plantación y la edad de rotación.

La importancia del espaciamiento en el manejo de bosques se debe principalmente a que afecta al grado de competencia entre los árboles y de éstos con las malezas, y además influye en la tasa de crecimiento, el cierre del dosel, el desarrollo y longevidad de las ramas, y el volumen total producido (INFOR-CORFO, 1991). Montagu *et al.* (2003) destacan que la densidad de la plantación y el ritmo de crecimiento de las plantas de eucalipto son los principales condicionantes que determinan el momento de cierre del dosel. Martínez *et al.* (2006) señalan que la elección de la densidad de plantación adecuada influye en el crecimiento y

condiciona las labores de mantenimiento y aprovechamiento. También tiene incidencia en las características propias del árbol, ya que puede afectar la densidad básica de la madera y la proporción de madera juvenil (INFOR-CORFO, 1991). El espaciamiento también tiene un efecto importante sobre el rendimiento y costo de la cosecha, así como sobre el costo del establecimiento, el cual es más relevante al considerar preparación de suelo, control de malezas y fertilización. Por tanto, deben ser factores a considerar al hacer la evaluación económica de una plantación (Jobet, 1999).

Este estudio tiene como objetivo evaluar económicamente el efecto de la aplicación de distintas densidades iniciales de establecimiento en el crecimiento de una plantación de *Eucalyptus globulus*, considerando proyectar el crecimiento en volumen de los tratamientos a la edad de cosecha (10 años) y determinar la rentabilidad de madera pulpable. La hipótesis fue que una plantación establecida a distintas densidades, genera rentabilidades diferentes para un objetivo de producción de madera pulpable.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El ensayo se estableció en el predio Santa Rosa, propiedad de Bosques Cautín S.A., ubicado en el sector de Traiguén en el Valle Central de la IX Región, a una altitud de 175 m.

El clima es templado cálido lluvioso con estaciones secas y húmedas semejantes, con una precipitación promedio anual de 1.241 mm. Las temperaturas medias mensuales más altas se producen en enero y febrero con 17,9 y 17,4 °C; los promedios mensuales más bajos son en julio y agosto con 7,7 y 8,1 °C. El viento del área presenta una velocidad anual promedio de 108 Km d<sup>-1</sup>; el periodo más ventoso es de mayo a agosto, con una velocidad promedio del viento que varía de 142 a 147 Km d<sup>-1</sup> (Di Castri y Hajek, 1976).

El suelo en el predio es transicional, de la serie Santa Sofía (CIREN 2002). Son suelos de posición baja de terraza fluvial, plano a ligeramente ondulado.

La plantación se realizó manualmente con plantas de *E. globulus*. La preparación de suelo del ensayo se realizó por medio de un subsolado a 80 cm de profundidad con rastraje. Donde hubo mortandad de plantas, se efectuaron replantes sucesivos a modo de alcanzar el objetivo de máxima supervivencia. Las plantas fueron fertilizadas 50 g N planta<sup>-1</sup> y 100 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> planta<sup>-1</sup>. Se realizaron controles de malezas en forma periódica, hasta que se determinó improbable el surgimiento de competencia para las plantas. El promedio de sobrevivencia de todos los ensayos, luego de seis meses de plantación, superó el 94 %.

El ensayo tuvo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron T1 (1.000 árboles ha<sup>-1</sup>); T2 (1.428 árboles ha<sup>-1</sup>); T3 (1.667 árboles ha<sup>-1</sup>) y T4 (2.000 árboles ha<sup>-1</sup>). La superficie de las parcelas fue 336 m<sup>2</sup> con un número variable de árboles en cada una, de acuerdo con la densidad inicial de establecimiento. Las plantas centrales fueron medidas, en tanto que las plantas que se situaron en el borde de la parcela correspondieron a plantas buffer. Adicionalmente, se procedió a la marcación de la primera y última planta (1 y 24) para efecto de ubicación al momento de las mediciones.

### **Cálculo y proyección de volumen**

El crecimiento se proyectó al momento de la cosecha, 10 años de edad. Para la proyección y cálculo del volumen comercial de madera susceptible de convertirse en pulpa se usó un simulador facilitado por Forestal y Agrícola Monteáguala S.A. (FAMASA S.A.).

La función de volumen ajustada se presenta en la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = 0,0223486 + 0,0000268176 \times \text{DAP}^2 \times \text{HT} \quad (1)$$

La proyección del volumen con objetivos de producción de madera pulpable no consideró ningún tipo de manejo.

### **Cálculo de la rentabilidad**

La rentabilidad se calculó utilizando los indicadores valor actual neto (VAN), valor económico del suelo (VES) y la tasa interna de retorno modificada (TIRm). El criterio del VAN consiste en obtener la diferencia de los beneficios y los valores actualizados de los costos, la decisión es buena si  $VAN > 0$  y mala si  $VAN < 0$ . Brealey (2001) señala que el criterio del VAN es aceptado por los economistas, y es el método más apropiado para calcular el beneficio de cualquier proyecto. El VES calcula la rentabilidad del proyecto para infinitas rotaciones del cultivo, situación común en la actividad forestal en Chile por estar obligada por ley la reforestación de los terrenos cosechados (MINAGRI, 1974). Por otra parte, es un indicador que tiene gran utilidad para determinar el monto máximo de dinero que se está dispuesto a pagar por un terreno destinado a infinitas rotaciones (Chacón, 1995). En relación a la TIRm, Kierulff (2008) señala que es el indicador más adecuado para evaluar flujos de estas características, ya que convierte el flujo financiero heterogéneo original en uno de carácter homogéneo, actualizando todos los costos a una tasa de financiamiento, y capitaliza todos los ingresos a una tasa de reinversión (Biondi, 2006). Al respecto, Guerra *et al.* (2010), calcularon una tasa de descuento de 8,7% para la industria forestal en Chile a través del modelo de valoración de activos financieros (CAPM), uno de los métodos más usados para determinar la esperanza de retorno del mercado (Laborde, 2004).

La tasa obtenida a partir del cálculo de la TIRm corresponde a la tasa que hace al VAN igual a cero (Brealey, *et al.* 2006; Hartman y Schafrick, 2004). Si ésta se compara con las tasas de descuento utilizadas para sensibilizar el VAN, el criterio de decisión es: si la tasa es igual o mayor que ésta, el proyecto debe aceptarse y si es menor, conviene rechazarse (Sapag, 2003).

### **Análisis de sensibilidad**

El análisis de inversiones forestales es complejo debido, entre otras razones, al horizonte de planificación, a la incertidumbre incorporada en sus flujos de caja y sobre todo a que en este tipo de decisiones la flexibilidad juega un papel muy

importante. Al utilizar únicamente los criterios clásicos de evaluación y selección de inversiones no se considera la posibilidad de contemplar nuevas oportunidades, infravalorando los proyectos (Amram y Kulatilaka, 1999). Dado que algunas de las variables y parámetros empleados en el análisis están sujetas a fluctuaciones evidentes, como es el caso del precio de la madera y la tasa de descuento (Díaz-Balteiro y Rodríguez, 2007), se integra a la evaluación una simulación de tipo Monte Carlo, con el fin de determinar la flexibilidad de las diferentes alternativas de densidad de plantación, tomando estas variables como estocásticas.

Kongsom y Munn (2003), utilizaron una distribución de probabilidad del tipo triangular para el precio de la madera pulpable y un rango de variación de la tasa de descuento de 5,6% a 11,6%, para simular la rentabilidad de diferentes tratamientos de densidad de plantación en *Eucalyptus camaldulensis*. Hänninen *et al.* (2006), usaron una distribución del tipo lognormal para la variación del precio de madera en Finlandia.

En este estudio para el precio de la madera pulpable se aplicó un modelo de distribución estadístico de tipo triangular, que se construyó sobre la base de información de precios del mercado interno chileno durante el periodo 2005 y 2009. Los valores utilizados fueron un mínimo de 30 US\$ m<sup>-3</sup>, un máximo de 50 US\$ m<sup>-3</sup>, y un precio promedio de mercado de 35 US\$ m<sup>-3</sup>.

Para el análisis de sensibilidad de la tasa de descuento se aplicó un modelo de distribución triangular con un mínimo de 7,9 %, un máximo de 9,6 %, y como promedio se usó la tasa de la industria forestal chilena de 8,7 %

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Proyección del volumen al momento de la cosecha.**

Los volúmenes acumulados estimados por el simulador hasta los 10 años de edad, para las distintas densidades iniciales de plantación, se presentan en la Figura 4-1.

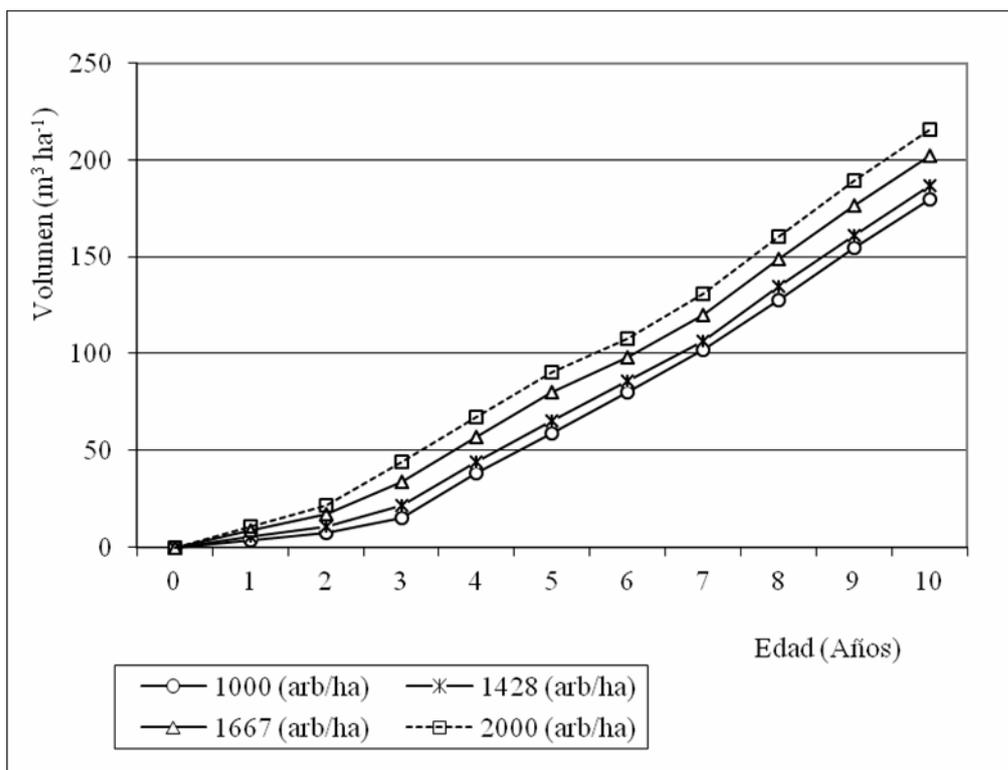


Figura 4-1. Proyección del crecimiento en volumen acumulado ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) a los 10 años para los distintos tratamientos.

Los volúmenes proyectados para cada tratamiento a la edad de cosecha fueron de  $183 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  para una densidad de  $1.000 \text{ árboles ha}^{-1}$  (T1),  $195 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  para una densidad de  $1.428 \text{ árboles ha}^{-1}$  (T2),  $209 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  para una densidad de  $1667 \text{ árboles ha}^{-1}$  (T3), y  $223 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  para una densidad de  $2.000 \text{ árboles ha}^{-1}$  (T4). La mayor diferencia en volumen a la edad de cosecha se presenta entre los tratamientos T1 y T4, que es de  $40 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ .

En la Figura 4-2, se expresa el crecimiento corriente de los diferentes tratamientos a través del tiempo. De estos resultados y del comportamiento observado, se puede inferir que la competencia entre los individuos de los tratamientos establecidos a una mayor densidad no ha sido lo suficientemente intensa como para que los individuos establecidos a densidades menores los hayan superado significativamente en volumen.

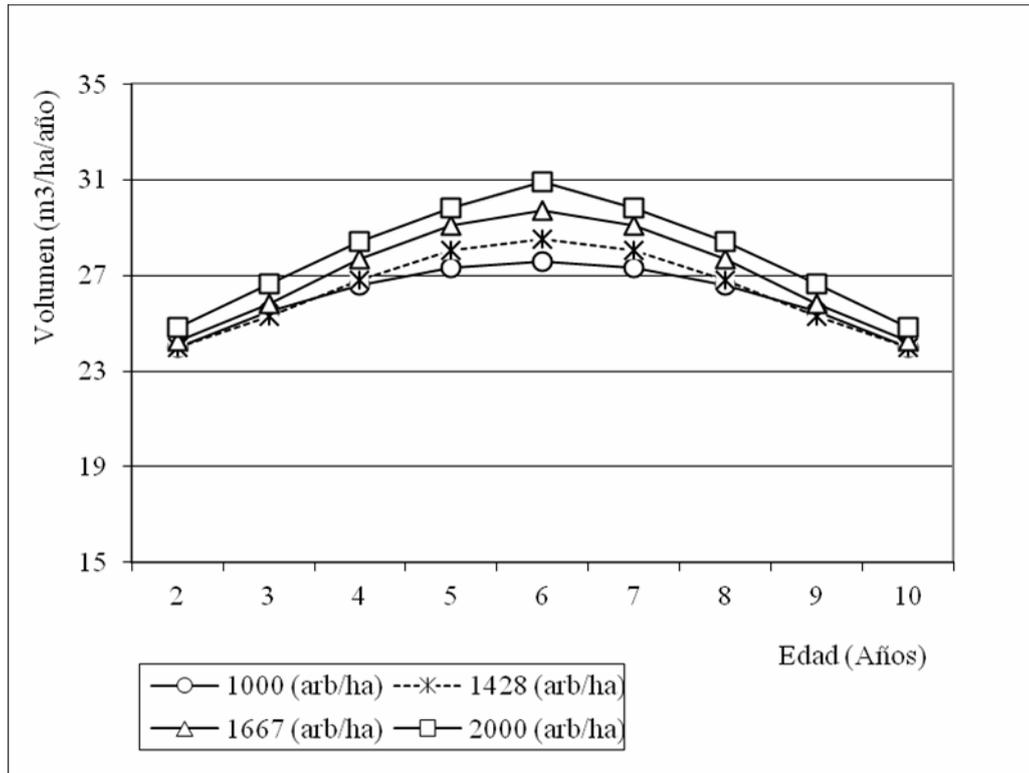


Figura 4-2. Crecimiento volumétrico corriente ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ), para los tratamientos.

Al observar las pendientes de las curvas al año 6, las plantaciones se encuentran en su máximo crecimiento, donde las mayores densidades obtienen los incrementos más altos. Sharma *et al.* (2002) sostienen que la densidad del rodal y el crecimiento del volumen aumentan juntos hasta llegar a un máximo, momento en el cual el crecimiento comienza a disminuir. En este sentido es posible observar que la pendiente de la curva entre los 6 y 7 años de edad es más pronunciada en las mayores densidades, al contrario de las menores densidades. Esto se hace más notorio aún en la densidad de 1.000 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , donde claramente la curva de crecimiento es prácticamente plana en el período.

Geldres y Schlatter (2004) determinaron que el incremento medio anual ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ) en *E. globulus* se maximiza a densidades entre los 1.271 y 1.508 árb  $\text{ha}^{-1}$ . Para el caso de este estudio, el máximo ocurre a la densidad de plantación de 2.000 árb  $\text{ha}^{-1}$ . Lo anterior coincide con Jobet (1999), quien determinó que densidades

superiores a los 2.000 árb ha<sup>-1</sup> provocan un quiebre en la relación densidad - volumen.

### Análisis financiero

Para la construcción de los flujos financieros se utilizaron los volúmenes a la edad de cosecha (10 años) y los costos de cada tratamiento (Tabla 4-1). Para el análisis de rentabilidad se utilizó la tasa de descuento (Tc) de 8,7%, calculada mediante el método CAPM, y el precio de mercado de la madera pulpable de US\$ 35 m<sup>3</sup>.

Tabla 4-1. Volumen (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) proyectado para los tratamientos al año de cosecha y costo total de establecimiento y densidad para los tratamientos.

Tratamientos	T1	T2	T3	T4
Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	183	195	209	223
Costo total (US\$ ha <sup>-1</sup> )	756	959	1.074	1.233

El aumento de la densidad trae consigo un aumento de volumen por unidad de superficie. Así, el tratamiento con menor densidad de plantación T1 (1.000 árboles ha<sup>-1</sup>) alcanzó un volumen de 183 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, para alcanzar con el tratamiento T4 (2.000 árboles ha<sup>-1</sup>), el mayor volumen 223 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. El aumento de la densidad también implica un aumento de los costos, debido a que se requieren más plantas por unidad de superficie, así mismo como la utilización de mayor cantidad de fertilizantes, más mano de obra y más control de maleza.

La rentabilidad, calculada a través del VAN, alcanzada por los distintos tratamientos varía de 270 a 330 US\$ ha<sup>-1</sup> (Tabla 4-2), el VES de 477 a 584 US\$ ha<sup>-1</sup> y la TIR varía de 9,7 % a 10,1 %. El tratamiento con la rentabilidad más alta fue T1 (1.000 árboles ha<sup>-1</sup>), con un VAN de 330 US\$ ha<sup>-1</sup>, un VES de 584 US\$ ha<sup>-1</sup> y una TIR de 10,1 %. Con el tratamiento T4 (árboles ha<sup>-1</sup>) se obtuvo el mayor volumen a la edad de cosecha, pero su rentabilidad es más baja que la del T1.

Tabla 4-2. Rentabilidad del proyecto de plantación para cada densidad (árb ha<sup>-1</sup>) según VAN, VES y TIR, para la tasa de descuento (8,7%) y precio de mercado de la madera pulpable (35 US\$ m<sup>-3</sup>).

Indicador	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
VAN US\$ ha <sup>-1</sup>	330	270	319	323
TIR %	10,1	9,7	9,9	9,8
VES US\$ ha <sup>-1</sup>	584	477	564	570

Todos los tratamientos arrojaron valores del VAN, VES y TIR que permiten aceptar los proyectos. T1 (1.000 árboles ha<sup>-1</sup>) es la opción más rentable, seguida por T4 (2.000 árboles ha<sup>-1</sup>), T3 (1.667 árboles ha<sup>-1</sup>) y T2 (1.428 árboles ha<sup>-1</sup>).

La mayor diferencia de VAN entre los tratamientos fue de 60 US\$ ha<sup>-1</sup>. Lo mismo ocurrió con el VES en donde la mayor diferencia entre los tratamientos fue de 107 US\$ ha<sup>-1</sup>.

El estudio revela una directa relación entre volumen y densidad, vale decir, a altas densidades se obtiene mayor volumen con fines pulpables. Esto concuerda con Miranda *et al.* (2.000), quienes señalan que la alta densidad de plantación, combinada con un alto crecimiento en volumen, maximiza la producción de la unidad de base de la superficie. Para la rentabilidad, la relación es inversa, esto es, a densidades más altas se obtiene una menor rentabilidad. Esto contrasta con estudios realizados por Asnake (2006) en plantaciones *E. camaldulensis*, con fines energéticos, quien mostró que a altas densidades se obtiene una mayor rentabilidad. Si bien es cierto el objetivo de ambos estudios es obtener un alto volumen en biomasa, el contraste en rentabilidad podría explicarse por la intensidad de la silvicultura aplicada en cada caso así como las características del sitio.

### Análisis de sensibilidad

La simulación Monte Carlo tiene la ventaja, sobre otros métodos que evalúan el riesgo, que no sólo brinda el valor más probable de la variable dependiente, sino también su distribución de probabilidad. Por lo tanto, todos los resultados posibles pueden ser analizados.

Los estadísticos descriptivos para las distribuciones de probabilidad de los indicadores VAN y VES se presentan en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Estadísticos de la simulación del VAN y VES para cada tratamiento.

Estadístico	VAN US\$ ha <sup>-1</sup>				VES US\$ ha <sup>-1</sup>			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Media	553	507	574	594	983	903	1.020	1.056
Mediana	518	470	533	551	917	832	944	976
Desv. Estándar	301	321	344	366	543	578	618	658
Coef. de Variación	0,55	0,63	0,60	0,62	0,55	0,64	0,61	0,62
Mínimo	-136	-226	-209	-238	-229	-381	-352	-401
Máximo	1.510	15.28	1.663	1.753	2.820	2.853	3.105	3.273
Rango	1.646	1.754	1.872	1.991	3.049	3.233	3.457	3.674

Después de 10.000 iteraciones, se puede observar que los valores de la media y mediana, para todos los tratamientos, son mayores que los resultados obtenidos por el cálculo de rentabilidad, lo que indica que los pronósticos son favorables para los supuestos de variación del precio y tasa de descuento.

Se observa que al disminuir la densidad de plantación, la distribución de los pronósticos es más homogénea, tal como lo muestran la desviación estándar y coeficiente de variación. Asimismo, el VAN se reduce desde 1.991 US\$ ha<sup>-1</sup> hasta 1.646 US\$ ha<sup>-1</sup>, en tanto que el VES el rango lo hace desde 3.647 US\$ ha<sup>-1</sup> hasta 3.049 US\$ ha<sup>-1</sup>. Esto nos permitiría seleccionar a T1 como el mejor tratamiento, toda vez que al tener una desviación estándar menor, es la alternativa menos riesgosa ya que la probabilidad de obtener una rentabilidad negativa es inferior a los

demás tratamientos. Similares resultados obtuvieron Kongsom y Munn (2003), quienes determinaron en plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* que densidades de plantación de 1.111 árboles  $\text{ha}^{-1}$ , mostraban desviaciones estándares menores que densidades de 2.500 árboles  $\text{ha}^{-1}$ .

La probabilidad de ocurrencia para el VAN obtenido del T1 (330 US\$  $\text{ha}^{-1}$ ) fue de un 73,4 % y para el VES (584 US\$  $\text{ha}^{-1}$ ) un 73,5 %. La figura 4-3 muestra la distribución de probabilidad de los pronósticos de VAN y VES para el T1, después de 10.000 iteraciones.

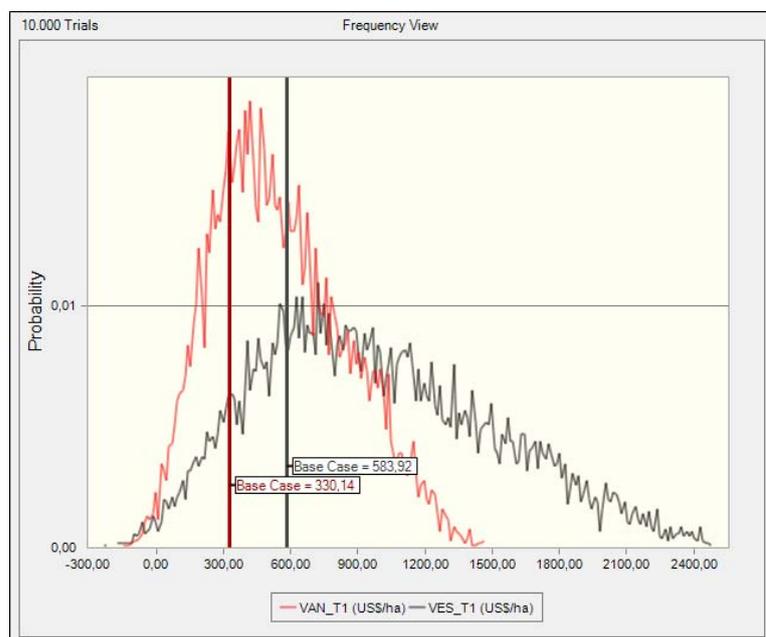


Figura 4-3. Distribución de frecuencias de resultados de la simulación de Montecarlo para el VAN y VES del tratamiento T1 (densidad de plantación de 1.000 árb  $\text{ha}^{-1}$ ).

Kongsom y Munn (2003), a través de 2.000 iteraciones determinaron para una densidad de 1.111 árboles  $\text{ha}^{-1}$  un VES de 2.963 US\$  $\text{ha}^{-1}$ , y para una densidad de 2.500 árboles  $\text{ha}^{-1}$  un VES de 2.726 US\$  $\text{ha}^{-1}$ . Esto concuerda con los resultados de este trabajo por cuanto la menor densidad (1.000 árboles  $\text{ha}^{-1}$ ) fue la que obtuvo el VES más alto.

El análisis de sensibilidad mostró además que cambios en el precio de madera es el factor que más afecta la rentabilidad de los tratamientos respecto de cambios en la tasa de interés (Figura 4-4).

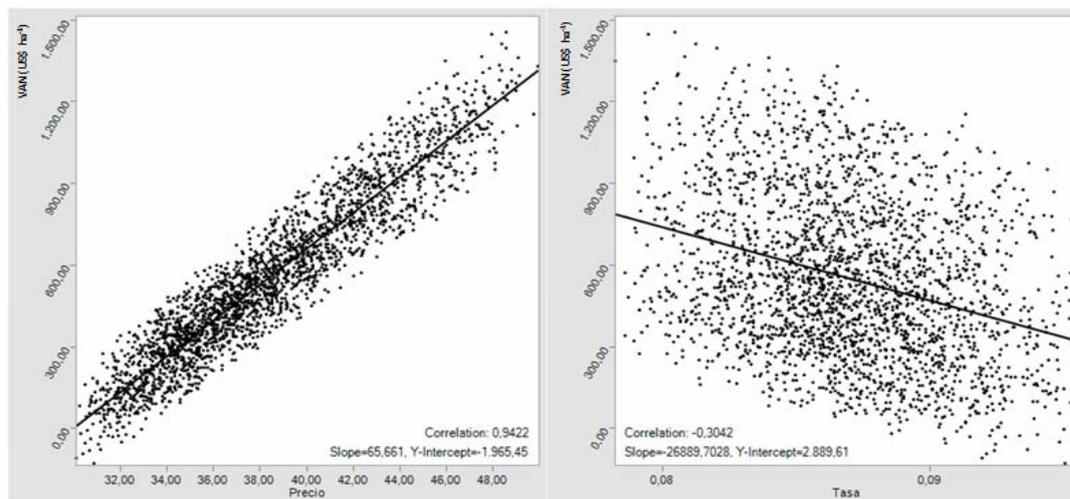


Figura 4-4. Correlación de los supuestos precio y tasa de descuento con el pronóstico para la rentabilidad del tratamiento T1 (densidad de plantación de 1.000 árb ha<sup>-1</sup>)

Se observa una correlación positiva para el precio de 0,94 con el VAN, y de 0,92 con el VES. La tasa de descuento presenta una correlación negativa con valores en torno a -0,30 para el VAN y de -0,34 para el VES. Whittock *et al.*, (2004) coinciden en que el precio es uno de los factores que más afectan los pronósticos de rentabilidad, con correlaciones en el rango de 0,58 a 0,52 y para la tasa de descuento correlaciones negativas que varían entre -0,21 a -0,16.

## CONCLUSIONES

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* con fines pulpables resultaron ser rentables para todas las densidades de plantación estudiadas, no obstante, la simulación de Monte Carlo permitió demostrar que es posible disminuir el riesgo de inversión si se opta por establecer plantaciones a menor densidad.

El análisis estocástico evidenció la importancia que tiene la variable precio por sobre la tasa de descuento en la rentabilidad del cultivo,

Los resultados obtenidos permiten recomendar que se debe tener cuidado de usar eficientemente las prácticas de plantación, esto es, manejo de suelos, control de malezas y fertilización, toda vez que éstas influyen significativamente en el flujo

financiero del proyecto.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDEF, Chile.

### **REFERENCIAS**

- Amram, M. y N. Kulatilaka. 1999. Disciplined Decisions: Aligning Strategy with the Financial Markets. *Harvard Business Review*, 77: 95-104.
- Asnake, A. 2006. Yield and Economics of Growing *Eucalyptus camaldulensis* by Smallholder Farmers of Amhara Region: The Case of Gondar Zuria District, North Gondar Ethiopia. *European Tropical Forest Research Network*, N° 47. 144p
- Bailey, R., 1986. Rotation age and establishment density for planted slash and loblolly pines. *Southern Journal of Applied Forestry* 10: 162–168.
- Brealey, R. 2001. *Principios de Finanzas Corporativas*. Quinta Edición. Editorial McGraw Hill. New York, USA. 805 p.
- Brealey, R., S. Myers, and F. Allen. 2006. *Principles of corporate finance* (8th ed.). Boston: McGraw-Hill. Irwin, USA. 792p.
- Biondi, Y. 2006. The double emergence of the Modified Internal Rate of Return: The neglected financial work of Duvillard (1755-1832) in a comparative perspective. *The European Journal of the History of Economic Thought*, 13(3), 311-335.
- CIREN 2002. *Estudio Agroecológico de la IX Región*. Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación 122. Santiago, Chile. 360 p.

- Chacón, I. 1995. Decisiones económico financieras en el manejo forestal. Universidad de Talca. Ciencia y Tecnología de la Editorial de la Universidad de Talca. Talca, Chile. 245 p.
- Díaz-Balteiro L. y L. Rodríguez. 2007. Análisis no determinista del turno óptimo en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. Bol.Inf. CIDEU 3: 139-143
- Di Castri F, ER Hajek. 1976. Bioclimatología de Chile. Santiago, Chile. Imprenta-Editorial de la Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 129 p.
- Geldres, E., y J.E. Schlatter. 2004. Crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* sobre suelos rojo arcillosos de la provincial de Osorno, Décima Región. Bosque 25 (1):95-101.
- Guerra, E, M. Herrera., y F. Drake. 2010. Efecto de los sistemas de riego en la rentabilidad de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Agrociencia.44: 99-107.
- Hänninen, R., A. Mutanen, and A. Toppinen. 2006. Puuntarjonta Suomessa—aluetason ekonometrinen tarkastelu 1983–2004. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. Finland. 10 p.
- Hartman, C., and C Schafrick, 2004. The relevant internal rate of return. Engineering Economist 49(2), 139-158.
- INFOR (Instituto Forestal). 1995. Primeros Resultados en un Ensayo de Espaciamiento, Poda y Raleo con *Eucalyptus globulus* en Constitución (VII Región). División Ordenación Forestal e Inventarios. Santiago. Chile. 20 p.
- INFOR-CORFO (Instituto Forestal – Corporación de Fomento de la Producción), 1991. *Eucalyptus*. Principios de Silvicultura y Manejo. Santiago, Chile. 198 p.
- Jobet, J. 1999. Efecto del espaciamiento inicial sobre el crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus nitens* plantado en suelos de trumao. Actas simposio:

Realidad y potencial del Eucalipto en Chile, Silvotecna XII. Concepción, Chile. 24p.

Kierulff, H. 2008. MIRR: A better measure. *Business Horizons*, 51, 321-329.

Kongsom C. and I. Munn. 2003. Optimal rotation of *Eucalyptus camaldulensis* plantations in Thailand based on financial return and risk. *Thai Journal of Forestry*. 22: 29-35.

Laborde, P. 2004. Métodos prácticos de determinación de tasa de descuento. *Diario Financiero*. Santiago, Chile. *Management. Finanzas para emprendedores*. 11: 10-13.

Martínez R., H. Azpíroz, J. Rodríguez, V. Cetina y M. Gutiérrez 2006. Importancia de las Plantaciones Forestales de *Eucalyptus*. Universidad Autónoma Indígena de México. *Ra Ximhai* 2: 815-846.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura de Chile). 1974. Decreto Ley 701 sobre Fomento Forestal. Santiago, Chile. 18 p.

Miranda, I., M. Almeida, H. Pereira. 2000. Provenance and site variation of good density in *Eucalyptus globulus* Labill. At harvest age and its relation to a non-destructive early assessment. *Forest Ecology and Management* 149: 235-240.

Montagu, K., D. Kearney and G. Smith. 2003. Pruning eucalypts: The biology and silviculture of clear wood production in planted eucalypts. Rural Industries Research and Development Corporation. Kingston, Australia Publication No. 02/152. 36 p.

Sapag, N. 2003. Preparación y Evaluación de Proyectos. 3ª Edición. Editorial McGraw Hill Interamericana S.A. Bogotá, Colombia. 404 p.

Sharma, M., H. Burkhart and R. Amates. 2002. Spacing rectangularity effect on the growth of loblolly pine plantations. *Can. J. For. Res.* 32: 1451-1459.

Whittock, S., B. Greaves and L. Apiolaza. 2004. A cash flow model to compare coppice and genetically improved seedling options for *Eucalyptus globulus* pulpwood plantations Forest Ecology and Management 191 267–274.

**CAPÍTULO 5. EFECTO DEL RIEGO EN LA RENTABILIDAD DE  
PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL**

---

---

**(Publicado en Agrociencia 44: 99-107. 2010)**

**EFECTO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO EN LA RENTABILIDAD  
DE PLANTACIONES DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*)**

**EFFECT OF IRRIGATION SYSTEM TYPE ON PROFITABILITY  
OF *EUCALYPTUS* (*Eucalyptus globulus*) PLANTATIONS**

Emilio **Guerra**<sup>1</sup>, Miguel Á. **Herrera**<sup>2</sup>, Fernando **Drake**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Católica de Temuco. Casilla 15-D. Temuco, Chile (eguerro@uct.cl).

<sup>2</sup>Universidad de Córdoba. Córdoba, España (mherrera@uco.es). <sup>3</sup>Universidad de Concepción. Concepción, Chile (fdrake@udec.cl).

## RESUMEN

El riego es utilizado con mayor frecuencia para establecer plantaciones, con el fin de aumentar el crecimiento y la productividad por superficie. Se estudió el efecto de tres sistemas de riego: microaspersión (T1), goteo (T2) y surco (T3), en la rentabilidad de una plantación de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), en el Valle Central de la Región del Bío Bío, Chile. La variable proyectada a la edad de cosecha fue el incremento volumétrico de los árboles. Para calcular costos de T1 y T2 se usó una base de datos de 200 predios agrícolas de diferentes superficies con instalación e implementación de estos sistemas. Para T3 se aplicaron costos actualizados de construcción y mantención de las estructuras requeridas para la evaluación financiera. La rentabilidad se determinó mediante el valor actual neto (VAN), valor económico del suelo (VES), y tasa interna de retorno modificada (TIRm). La rentabilidad para T1 y T2 tuvo valores negativos, es decir, estas técnicas de riego no generaron beneficios económicos. El riego por surco (T3) fue rentable para el volumen proyectado a los ocho y diez años de edad de cosecha, obteniéndose con los tres indicadores los mayores retornos al usar una tasa de descuento de 8 % y a un precio de la madera pulpable de 32 US\$ m<sup>-3</sup> ssc. El VAN fue 989 US\$ ha<sup>-1</sup> y 1.106 US\$ ha<sup>-1</sup>, el VES fue 2.152 y 2.406 US\$ ha<sup>-1</sup>, y la TIRm 10,4 % y 10,1 %. Estos resultados justifican la utilización del riego por surco (T3) como una técnica eficiente del manejo integrado para una plantación de eucalipto de alta productividad.

Palabras clave: eucalipto, rentabilidad de plantaciones, riego forestal.

## INTRODUCCIÓN

El agua es necesaria para satisfacer los requerimientos de las plantas (transpiración, elongación celular, metabolismo, etc.) y el transporte de nutrientes en el proceso de absorción radical (Honorato, 2000). Los periodos de estrés por sequía prolongados disminuyen el follaje de la copa del árbol (Worledge *et al.*, 1998), con la consecuente pérdida de productividad. La falta de agua provoca la mortalidad de una plantación en regiones templadas (Mummery y Battaglia, 2001), y en zonas secas limitando el crecimiento de una plantación forestal y reduciendo el volumen total (Stape *et al.*, 2004). Además, el requerimiento de agua por *E. globulus* se relaciona directamente con su rápido crecimiento inicial (Myers *et al.*, 1996).

La disponibilidad hídrica en el primer año de establecimiento es el factor responsable de la sobrevivencia y desarrollo de especies usadas en reforestación (Keizer *et al.*, 2005). Además, suministrar agua y nutrientes minerales según las necesidades de las plantas tiene un efecto mayor en la producción de biomasa, que el riego o la fertilización por separado (Araújo *et al.*, 1989). Madeira *et al.* (2002) indican que el agua es el principal factor limitante en la acumulación de biomasa y su efecto es más acentuado en las raíces del eucalipto. Según Goncalves *et al.* (2004), esto se debe a deficiencias de K, el cual tiene relación directa con el balance hídrico en árboles y aumenta la eficiencia en el uso del agua en una situación de estrés.

Respecto al riego aplicado a eucalipto (*E. globulus*) ensayos en el secano costero de la Región del Bío Bío, Chile, se observó que el agua es el factor limitante en su crecimiento (FONDEF, 2003). En superficies cubiertas por clones *E. grandis* X *E. urophylla*, el volumen aumentó 52 % (Stape *et al.*, 2004), y hasta 44 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> anual en plantaciones de *E. globulus* (Santelices, 2005), por efecto del riego.

El riego por microaspersión suministra agua mediante dispositivos en forma de lluvia fina pulverizada por el aire, llegando homogéneamente al suelo (Pizarro, 1996). El goteo consiste en humedecer sólo parte del volumen del suelo para que las raíces obtengan el agua y los nutrientes (Pizarro, 1996). En el riego por surco el líquido fluye por gravedad, distribuyéndose en la superficie del suelo. Se aplica por lámina, mojando toda la superficie, o por surcos paralelos donde el agua se infiltra a través del fondo y el costado, sin humedecer toda la superficie del suelo (Fuentes, 1996). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación de tres sistemas de riego, en la rentabilidad de una plantación de eucalipto, proyectada a edades de cosecha. La hipótesis fue que la aplicación de riego durante el establecimiento aumenta la rentabilidad de las plantaciones de eucalipto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en una plantación de *E. globulus* Labill (propiedad de Forestal Mininco S. A.), en la comunidad Casas Quemadas, Sector Aguada Chumulco, región del Bío Bío, Chile. El sector posee características de secano: homogeneidad de terreno, topografía ondulada con colinas poco pronunciadas y pendiente menor a 2 %; el suelo es Vertisol con drenaje interno deficiente. De acuerdo con las características climáticas de la zona (FAO, 1981), hay condiciones de alto estrés hídrico en el período de meses secos. La plantación se estableció en agosto de 2004 con una densidad de 1.666 plantas ha<sup>-1</sup>, un espaciamiento de 3 m entre hileras y 2 m en la hilera. La preparación de suelo se realizó con subsolador a 60 cm de profundidad y un camellón de 1 a 1.5 m de ancho. Se ejecutó un control de maleza antes de la plantación y dos después de la plantación, uno manual y otro químico. La fertilización fue 25 g N, 50 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 3 g B; la dosis y la técnica de aplicación correspondieron a las indicadas por el Proyecto FONDEF D011140 (2003).

Se evaluaron tres sistemas de riego: microaspersión (T1), goteo (T2) y surco (T3). El diseño experimental fue de bloques al azar (tres bloques con tres repeticiones), donde cada bloque correspondió a un sistema de riego. La unidad experimental tuvo 40 plantas distribuidas en cuatro hileras de 10 plantas cada una, de las que se mensuraron las 16 centrales que están rodeadas perimetralmente por una línea amortiguadora de plantas.

### **Cálculo y proyección de volumen**

Durante 2004, 2005, 2006 y 2007 se midieron las variables diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (HT), para calcular el volumen (VOL) de los individuos, que se obtuvo mediante una función (Ecuación 1) ajustada especialmente para el lugar y la especie:

$$\text{VOL (m}^3\text{ssc)} = 0,0017 + 0,0000313 * \text{DAP}^2 * \text{HT} \quad (1)$$

Para calcular los volúmenes a los ocho y diez años de edad, para la máxima productividad obtenida con riego, se realizó la proyección mediante un simulador de crecimiento para *Eucalyptus* de la empresa Forestal Mininco S. A.

### **Valor actual neto (VAN)**

El criterio del VAN consiste en obtener la diferencia de los beneficios y los valores actualizados de los costos (Ecuación 2). Dado que los primeros se anotan con signo positivo y los segundos con negativo, la decisión es buena si  $\text{VAN} > 0$  y mala si  $\text{VAN} < 0$ . Brealey (2001) señala que el criterio del VAN es aceptado por los economistas y es el método más apropiado para calcular el beneficio de cualquier proyecto.

$$VAN = \sum_{j=0}^r \frac{B_j - C_j}{(1+i)^j} \quad (2)$$

donde,  $B_j$  es el beneficio en un año  $j$  expresado en US\$;  $C_j$  es el costo en un año  $j$  expresado en US\$;  $r$  es la edad de rotación expresada en años;  $i$  es la tasa de descuento expresada en valor decimal.

### Valor económico del suelo (VES)

Con el VES se calcula la rentabilidad del proyecto para infinitas rotaciones del cultivo, situación común en la actividad forestal en Chile donde la ley obliga la reforestación de los terrenos cosechados (MINAGRI, 1974). Es un indicador muy útil para determinar el monto máximo de dinero que se está dispuesto a pagar por un terreno destinado a infinitas rotaciones. La definición de VES corresponde al mismo concepto de valor económico de cualquier bien de capital, que en términos prácticos es el valor actual de todos los beneficios futuros netos generados por el suelo (Chacón, 1995). Así, el VES para infinitas rotaciones de plantación de una especie forestal es:

$$VES = \frac{\sum_{j=0}^r (B_j - C_j)(1+i)^{r-j}}{(1+i)^r - 1} \quad (3)$$

donde,  $B_j$  es el beneficio en un año  $j$  expresado en US\$;  $C_j$  es el costo en un año  $j$  expresado en US\$;  $r$  es la edad de rotación expresada en años;  $i$  es la tasa de descuento expresada en valor decimal.

### Tasa interna de retorno modificada (TIRm)

La determinación de una TIRm única sólo es posible cuando a un saldo, o serie de saldos negativos, sigue una sucesión ininterrumpida de saldos positivos. Cuando

los flujos financieros evaluados son heterogéneos, como en los proyectos forestales, este indicador genera soluciones múltiples que limitan su uso en la toma de decisiones. Para solucionar esta restricción, Kierulff (2008) señala que la TIRm es el indicador más adecuado para evaluar flujos con las características señaladas.

Conceptualmente, la TIRm convierte el flujo financiero heterogéneo original en uno homogéneo, actualizando todos los costos a una tasa de financiamiento, y capitaliza la totalidad de los ingresos a una tasa de reinversión (Biondi, 2006). La tasa de financiamiento usada (6 % anual) fue la correspondiente al costo aplicado por las entidades financieras para los proyectos de inversión forestal en Chile.

Respecto al cálculo de la tasa de reinversión, Laborde (2004) señala que los tres modelos más usados son: el método tasa interna de retorno del bono corporativo, más premio por riesgo, el modelo de descuento de dividendos y el modelo CAPM (capital asset pricing model) o modelo de valoración de activos financieros. Este último fue usado en el estudio y se calculó así:

$$i = rf + \beta [E(Rm) - rf] \quad (4)$$

donde,  $i$  es la tasa de descuento en valor decimal;  $rf$  es la tasa libre de riesgo;  $\beta$  es el riesgo sistemático del sector forestal;  $E(Rm)$  es la esperanza de retorno del mercado. La tasa resultante para la industria forestal en Chile fue 10 %.

La tasa obtenida con el cálculo de la TIRm corresponde a la tasa que hace al VAN igual a cero (Brealey *et al.*, 2006; Hartman y Schafrick, 2004). Si ésta se compara con las tasas de descuento usadas para sensibilizar el VAN, el criterio de decisión es: si la tasa es igual o mayor que VAN, el proyecto debe aceptarse y si es menor, conviene rechazarse (Sapag, 2003). Para el análisis de sensibilidad de los indicadores de rentabilidad se usaron las variables edad de rotación (ocho y diez años), precio de la madera pulpable (26, 29 y 32 US\$ m<sup>3</sup> ssc) y tasa de descuento (8 y 10 %).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Proyección del volumen al momento de la cosecha

Los volúmenes obtenidos como resultado de las proyecciones a la edad de cosecha de ocho años fueron 343, 333 y 364 m<sup>3</sup> ssc ha<sup>-1</sup> para T1, T2 y T3; y 454, 463 y 496 m<sup>3</sup> ssc ha<sup>-1</sup> a la edad de diez años para T1, T2 y T3. Estos volúmenes son superiores a los obtenidos en el proyecto FONDEF (2003), sin riego, y que fueron 269 m<sup>3</sup> ssc ha<sup>-1</sup> a los ocho años y 356 m<sup>3</sup> ssc ha<sup>-1</sup> a los diez años (valores proyectados en el simulador EUCASIM). Ello muestra el efecto del riego en la generación de volumen de biomasa.

Los costos totales de los sistemas T1, T2 y T3 en una plantación de *E. globulus* fueron 5.403, 4.664 y 1.451 US\$ ha<sup>-1</sup>. El valor terminal de la inversión se obtuvo con los diferentes escenarios generados por la combinación de las variables edad de rotación y precio de la madera pulpable (Tabla 5-1). Una vez recopilada la información requerida para la evaluación, se calculó la rentabilidad para cada tratamiento.

Tabla 5-1. Valor terminal de la inversión en US\$ ha<sup>-1</sup> obtenido a partir de la aplicación de riego a través de un sistema de microaspersión, goteo y surco.

Edad (años)	Precio (US\$m <sup>3</sup> ssc)	Microaspersión(T1)	Goteo (T2)	Surco (T3)
		Ingresos Totales (US\$ ha <sup>-1</sup> )		
8	26	7.634	7.418	9.595
8	29	8.488	8.248	10.498
8	32	9.342	9.077	11.401
10	26	9.173	8.932	11.275
10	29	10.354	10.084	12.511
10	32	11.535	11.237	13.747

### Análisis financiero

Los resultados obtenidos al utilizar el VAN se muestran en el Tabla 5-2. Para los sistemas de riego por microaspersión y goteo la rentabilidad fue negativa, es decir, no generan beneficios económicos, sino que producen pérdidas. El sistema de riego por surco resulta rentable a los ocho años de edad de cosecha para los tres precios de madera pulpable evaluados, obteniéndose un VAN de 14, 502 y 989 US\$ ha<sup>-1</sup> para precios de 26, 29 y 32 US\$ m<sup>3</sup> ssc y con una tasa de descuento de 8 %. Además, si aumenta la tasa de descuento a 10 %, para una rotación de ocho años, T3 resulta rentable sólo al mayor precio considerado en la evaluación (32 US\$ m<sup>3</sup> ssc). Al evaluar la rentabilidad con relación a la edad de rotación, a los diez años, T3 alcanza el mayor valor del VAN (1.106 US\$ ha<sup>-1</sup>) para un precio de la madera pulpable de 32 US\$ m<sup>3</sup> ssc.

Tabla 5-2. Valor actual neto en US\$ ha<sup>-1</sup> para los volúmenes obtenidos según el costo de instalación e implementación de un sistema de riego por microaspersión, goteo y surco.

Precio	Tasa	Microaspersión(T1)		Goteo (T2)		Surco (T3)	
		Rotación (años)					
US\$m <sup>3</sup> ssc	(%)	8	10	8	10	8	10
26	8	-3.636	-3.543	-4.529	-2.594	14	-39
29	8	-3.175	-2.996	-4.081	-3.898	502	534
32	8	-2.713	-2.449	-3.633	-3.364	989	1.106
26	10	-4.297	-4.349	-5.136	-5.180	-684	-900
29	10	-3.899	-3.893	-4.749	-4.735	-263	-423
32	10	-3.500	-3.438	-4.362	-4.291	159	53

En la Tabla 5-3 se observan los resultados obtenidos del indicador VES, el cual fue negativo para las actividades de riego por microaspersión y por goteo. El mayor

valor que se pagaría por 1 ha plantada con riego por surco es 2.406 US\$ ha<sup>-1</sup>, que es la opción con el mayor VES, es decir, una rotación de diez años a un precio de la madera para pulpa de 32 US\$ m<sup>-3</sup> ssc y a una tasa de descuento de 8 %, coincidiendo con el mayor VAN. Le sigue el valor de renta de 2.152 US\$ ha<sup>-1</sup>, que coincide con el segundo VAN más alto pero a una rotación de ocho años.

Tabla 5-3. Valor económico del suelo (VES) en US\$ ha<sup>-1</sup> para los volúmenes obtenidos según el costo de instalación e implementación de los sistemas de riego por microaspersión, goteo y surco.

Precio US\$m <sup>-3</sup> ssc	Tasa (%)	Microaspersión(T1)		Goteo(T2)		Surco(T3)	
		Rotación (años)					
		8	10	8	10	8	10
26	8	-7.909	-7.706	-9.852	-5.641	30	-84
29	8	-6.905	-6.516	-8.878	-8.478	1.091	1.161
32	8	-5.902	-5.327	-7.903	-7.316	2.152	2.406
26	10	-8.055	-8.151	-9.626	-9.709	-1.282	-1.686
29	10	-7.308	-7.298	-8.901	-8.876	-492	-793
32	10	-6.561	-6.444	-8.176	-8.043	297	100

Langholtz *et al.* (2006) reportan para *E. amplifolia*, valores de VES de 762 a 6.507 US\$ ha<sup>-1</sup> con tasas de descuento reales de 10 y 4 %. Estos valores no distan de los obtenidos en este análisis, lo que sugiere que la eficiencia en las actividades de establecimiento respecto de los retornos obtenidos es similar a la obtenida en Chile para una especie del mismo género.

Según Rodríguez *et al.* (2006), a mayor precio el óptimo de rotación se acorta; en este caso, al contrario del análisis habitual de comparación, aumenta el tiempo de rotación a medida que incrementa el precio. Esto se explica porque el bosque aún está creciendo, con un óptimo a mayor edad y la diferencia es más notoria a medida que aumente el precio. Aunque con la tasa de 10 % al precio más alto (32 US\$ m<sup>-3</sup> ssc) es más conveniente cosechar a los ocho años. Se observa una tendencia a ampliar el tiempo de rotación cuando el precio aumenta. El mejor resultado para la

TIRm fue 10,4 % (Tabla 5-4), obtenido para riego por surco a una edad de rotación de diez años y un precio de la madera para pulpa de 32 US\$ m<sup>-3</sup> ssc coincidiendo con los valores más altos de VAN y VES.

Tabla 5-4. Tasa interna de retorno modificada (TIRm) para los volúmenes obtenidos según el costo de instalación e implementación de un sistema de riego por microaspersión, goteo y surco.

Precio US\$ m <sup>-3</sup> ssc	Microaspersión(T1)			Goteo(T2)		Surco(T3)	
	Tasa (%)	Rotación (años)		Rotación (años)		Rotación (años)	
		8	10	8	10	8	10
26	8	1,7%	3,1%	1,9%	3,4%	8,0%	7,9%
29	8	2,7%	4,1%	3,0%	4,3%	9,3%	9,1%
32	8	3,6%	4,9%	3,9%	5,2%	10,1%	10,4%
26	10	1,7%	3,1%	1,9%	3,4%	8,0%	7,9%
29	10	2,7%	4,1%	3,0%	4,3%	9,3%	9,1%
32	10	3,6%	4,9%	3,9%	5,2%	10,1%	10,4%

## CONCLUSIONES

El riego aplicado a plantaciones de eucalipto ubicadas en el Valle Central de la Región del Bío Bío, Chile, mediante microaspersión y goteo, no es rentable debido a los altos costos de inversión e implementación de estos sistemas. De las 12 evaluaciones realizadas a riego por surco, siete fueron rentables. Los mejores resultados fueron obtenidos a los ocho y diez años de edad de cosecha, a una tasa de descuento de 8 % y a un precio de la madera pulpable de 32 US\$ m<sup>-3</sup> ssc. El VAN conseguido fue 989 y 1.106 US\$ ha<sup>-1</sup>. El VES fue 2.152 y 2.406 US\$ ha<sup>-1</sup>, y la TIRm fue 10,4 y 10,1 %, mostrando que el riego por surco es una práctica rentable para el manejo integrado de una plantación de eucalipto de alta productividad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDEF, a través del Proyecto D0I1140, Desarrollo de sistemas de riego destinado, a aumentar la productividad en plantaciones de Eucalipto.

## REFERENCIAS

- Araújo, C., J. Pereira, L. Leal, M. Tomé, J. Flower-Ellis, and T. Ericsson. 1989. Aboveground biomass production in an irrigation and fertilization field experiment with *E. globulus*. *For. Tree Physiol., Ann. Sci. For.* 46: 526–528.
- Biondi, Y. 2006. The double emergence of the Modified Internal Rate of Return: The neglected financial work of Duvillard (1755 - 1832) in a comparative perspective. *The European Journal of the History of Economic Thought*, 13(3), 311—335.
- Brealey, R. 2001. *Principios de Finanzas Corporativas*. Quinta Edición. Editorial McGraw Hill. Bogotá, Colombia. 805 p.
- Brealey, R., Myers, S., and Allen, F. (2006). *Principles of corporate finance* (8th ed.). McGraw-Hill. Irwin, USA. 792 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO Roma). 1981. *El eucalipto en la repoblación forestal*. Colección Montes N° 11. 723 p.
- Chacón, I. 1995. *Decisiones económico financieras en el manejo forestal*. Universidad de Talca. Ciencia y Tecnología de la Editorial de la Universidad de Talca. Chile. Talca, Chile. 245 p.
- FONDEF (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico). 2003. *Universidad Católica de Temuco. Desarrollo de sistemas de riego destinados a aumentar la productividad en Eucalyptus*. Informe Final. Temuco, Chile. 66 p.

- Fuentes, J. 1996. Curso de Riego para Regantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaria General Técnica. Mundi-Prensa. Madrid. España. 159 p.
- Goncalves, J., J. Stape, J. Laclaub, P. Smethurstc, and J. Gavad. 2004. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Managment* 193: 45-61.
- Hartman, C., and Schafrick, C. 2004. The relevant internal rate of return. *Engineering Economist*, 49(2), 139—158.
- Honorato, R. 2000. Manual de Edafología. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 196 p.
- Kierulff, H. 2008. MIRR: A better measure. *Business Horizons*, 51, 321—329.
- Keizer, A., C. Ferreira, S. Coelho, M. Doerr, C. Malvar, I. Domingues, C. Perez, and K. Ferrari. 2005. The role of tree stem proximity in the spatial variability of soil water repellency in a eucalypt plantation in coastal Portugal. *Australian Journal of Soil Research* 43: 251—259.
- Laborde, P. 2004. Métodos prácticos de determinación de tasa de descuento. *Diario Financiero*. Santiago, Chile. Management: Finanzas para emprendedores. 11: 10-13.
- Langholtz, M., Carter, D., D. Rockwood, and J. Alavalapati. 2006. Effect of CO2 mitigation incentives on the profitability of short-rotation woody cropping of *Eucalyptus amplifolia* on clay settling areas in Florida. For Econ. 3 p. En: [http://www.ces.ncsu.edu/nreos/forest/feop/Agenda2006/iufro\\_plantations/proceedings/F04x-Langholtz.pdf](http://www.ces.ncsu.edu/nreos/forest/feop/Agenda2006/iufro_plantations/proceedings/F04x-Langholtz.pdf). Fecha de consulta 14 de Julio de 2011
- Madeira, M., Fabiao, A., Pereira, J., M. Araujo, and C. Ribeiro. 2002. Changes in carbon stocks in *E. globulus* Labill. plantations induced by different water and nutrient availability. *Forest Ecology and Managment* 171: 75–85.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura de Chile). 1974. Decreto Ley 701 sobre Fomento Forestal. Santiago, Chile. 18 p.

- Mummery, D., and M. Battaglia. 2001. Applying PROMOD spatially across Tasmania with sensitivity analysis to screen for prospective *E. globulus* plantation sites. *Forest Ecology and Management* 140: 51–63.
- Myers, B., Theiveyanathan, S., N. O'Brien and W. Bond. 1996. Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* irrigated with effluent. *Tree Physiol.* 16: 211–219.
- Pizarro, J. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia. Ediciones Multi-Prensa. Madrid. España. 220 p.
- Rodríguez C., y Diaz-Balteiro, L. 2006. Régimen óptimo para plantaciones de eucaliptos en Brasil: Un análisis no determinista. *Interciencia*, 31(10): 739-744.
- Santelices, R. 2005. Desarrollo de una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. *Bosque* 26(3): 105-112.
- Sapag, N. 2003. Preparación y Evaluación de Proyectos. 3ª Edición. Editorial Mc Graw Hill Interamericana S.A. Bogotá, Colombia. 404 p.
- Stape, J., D. Binkley y M. Ryan. 2004. Utilización del agua, limitación hídrica y eficiencia del uso del agua en una plantación de *Eucalyptus*. *Bosque* 25 (2): 35-41.
- Worledge, D., Honeysett J., White, D., L. Beadle, and S. Hetherington. 1998. Scheduling irrigation in plantations of *E. globulus* and *E. nitens*: A Practical guide. *Tasforests* 10: 91-100.

**DISCUSION GENERAL**

---

## **CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN GENERAL**

---

Es esencial y prioritario que cuando se asignen recursos monetarios a una alternativa de inversión, ésta sea evaluada económicamente. Lo que se pretende, por un lado es maximizar la producción, y por otro generar beneficios económicos.

La evaluación de proyectos de inversión se basa normalmente en el análisis de los ingresos y gastos relacionados con su desarrollo, teniendo en cuenta cuándo son efectivamente recibidos y entregados, es decir, en los flujos de caja que se obtienen en dicho proyecto con el fin de determinar si son suficientes para soportar el servicio de la deuda y de retribuir adecuadamente el capital aportado por los socios.

Por lo general los proyectos forestales, al igual que muchos otros, al ser evaluados suponen que las condiciones futuras serán seguras y que se darán según lo planificado. Acuña y Drake (2003), señalan que en muchas situaciones de decisión, ignorar la incertidumbre se justificaría puesto que una simplificación del problema produce significativas economías en el proceso de decisión. Por otra parte, al ignorar fuentes de riesgo e incertidumbre, se afecta la planificación forestal, induciendo a la toma de malas decisiones. (Thorsen and Helles 1998, Pukkala, 1998). Sin embargo los hechos no son tan determinísticos y existen evidentes probabilidades que éstos van a sufrir cambios, más aún si se considera que los proyectos forestales son a largo plazo. Con todo, para el caso de las plantaciones forestales, una vez efectuado el establecimiento no es posible revertir la decisión, lo que sí puede ocurrir es que las opciones de manejo posterior a ello puedan sufrir alguna modificación.

Para el caso de esta tesis doctoral, cuyo análisis económico se basa en la producción de madera con fines pulpables, en que las intervenciones silviculturales tales como fertilización, manejo de densidad de establecimiento y la implemetación de diferentes sistemas de riego, se realizan durante los tres

primeros años de la plantación, la evaluación de la rentabilidad del proyecto es afectada por variaciones en la tasa de descuento y en el precio del producto final.

Acuña y Drake (2003), destacan la importancia de incorporar el análisis de riesgo en las inversiones silviculturales. Los autores discuten sobre diversas metodologías o modelos que permiten evaluar el riesgo en su dimensión dinámica, desde las tradicionales a las más modernas como son el modelo de valoración de activos de capital (CAPM), teoría de arbitraje de precios, la simulación y árboles de decisión y la más reciente que es la teoría de opciones reales. Para el caso del estudio, se optó por utilizar el modelo CAPM, por cuanto el mercado de capitales chileno es eficiente toda vez que posee características muy cercanas a las de un mercado de competencia perfecta, tales como información gratuita y de calidad, muchos compradores y vendedores, acceso libre al mercado, et<sup>o</sup>c.

A través de la aplicación del modelo CAPM se obtuvo una tasa de descuento de 8,7%, la que fue utilizada para el cálculo de rentabilidad de los estudios de esta tesis doctoral. Esta tasa se encuentra dentro de los rangos estimados para la industria forestal en Chile. Valencia y Cabrera (2007), por su parte, consideraron una tasa de descuento del 8% para evaluar la opción pulpable en *E. nitens* en Chile. Selkirk and Spencer (1999) utilizaron una tasa de 7% para evaluar un estudio de producción de fibra de *E. globulus* en Australia.

Estadísticas del Instituto Forestal de Chile (INFOR, 2010) muestran una oscilación de precios para las trozas pulpables de eucalipto en torno a 35 US\$ m<sup>-3</sup>; esta cifra es más baja que el promedio de los mercados mundiales, que es de US\$ 45. Este hecho se debe al efecto monopólico que ejercen las dos empresas de celulosa de fibra corta existentes en el país.

En general, los silvicultores tradicionales tratan de obtener un alto volumen de biomasa por unidad de superficie aplicando diferentes técnicas silvícolas sin preocuparse mayormente de los costos asociados a tales prácticas. Sin embargo, los inversionistas forestales más allá de la maximización del volumen, pretenden la máxima rentabilidad del cultivo.

Un modelo silvicultural óptimo requiere, en primer término, definir los productos a producir y luego elaborar las estrategias para lograrlos, atendiendo a las características y limitaciones del medio, no solamente físico sino también económico (Acuña y Drake, 2003); en este sentido, la rentabilidad en el establecimiento de plantaciones está influenciada por la aplicación de distintas técnicas silviculturales.

Esta tesis doctoral aporta antecedentes que permiten evaluar la rentabilidad de diferentes esquemas silvícolas en plantaciones de *E. globulus*. Se estudió el efecto de la aplicación de ocho dosis de fertilizantes, cuatro densidades de plantación y de tres sistemas de riego, proyectando su crecimiento a la edad de cosecha, en diferentes localidades de influencia forestal en el sur de Chile.

La fertilización con ocasión de la plantación es necesaria para estimular la planta y favorecer el establecimiento (García, 2000). Por otra parte, Fressard (2004) señala que 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. (Suárez *et al.*, 1997)

La fertilización en plantaciones forestales de rápido crecimiento es un factor que influye en la rentabilidad esperada del cultivo, pues afecta la producción de volumen comercial por unidad.

En estudios realizados por Puentes y Suárez (2001), en suelos trumaos de la Precordillera y Valle Central de Chile se demostró que dosis bajas de fertilizantes al momento de la plantación presentaron las mejores respuestas en el incremento en biomasa. En el estudio de esta tesis los mejores resultados se presentaron como respuestas a la aplicación de dosis significativamente más altas. Judd *et al.*, (1996) recomiendan que es necesario que se fertilice en la mayoría de los suelos donde se planta *E. globulus*, no obstante, las dosis de fertilizantes a aplicar estarán determinadas no solo por las características de éstos, sino que también

por la alta demanda de nutrientes de la especie. En otras palabras, el requerimiento, independiente de la calidad del suelo, se explica dado que los cultivos forestales de rápido crecimiento son altamente exigentes en nutrientes. En este sentido, Puentes y Suárez (2001) probaron que una mayor demanda de nutrientes genera una mejor respuesta en volumen.

Judd *et al.* (1996) encontraron en un estudio llevado a cabo en Australia, que luego de la fertilización a tasas del orden de 400 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, 200 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y 200 kg ha<sup>-1</sup> de potasio, *Eucalyptus globulus* incrementó su crecimiento logrando un volumen medio por árbol de 0,055 m<sup>3</sup> a la edad de 4 años. Herbert (1990) encontró que el incremento en el rendimiento de *Eucalyptus grandis*, como resultado de la fertilización, fue relativamente mayor en los sitios de menor productividad. Este autor también indicó que la mayor respuesta al crecimiento se registró con las aplicaciones de N:P que varían entre 3:1 y 5:2, según cual fuera el elemento limitante en cada sitio, siendo el nitrógeno adecuado en suelos arenosos con poca materia orgánica y el fósforo en suelos con altos niveles de nitrógeno mineralizable; además, los sitios con moderadas cantidades de materia orgánica requirieron la aplicación de ambos nutrientes. Esto sugiere que existe una fuerte relación entre el tipo de suelo, los nutrientes aplicados y la productividad. Fisher y Binkley (2000) señalan que un factor fundamental a tener en cuenta es que la respuesta a la fertilización de *Eucalyptus spp.* depende no solo de la combinación de nutrientes aplicados sino también de las características del suelo. El estudio de rentabilidad de la fertilización de esta tesis doctoral se desarrolló sobre suelos de la serie Curanipe (CIREN 2002), que se caracterizan por altos contenidos de materia orgánica y presencia de aluminio por su origen volcánico, la aplicación de dosis combinadas de nitrógeno y fósforo, además de potasio, resultaron adecuadas, por cuanto se obtuvo una respuesta positiva de aumento en volumen en todos los tratamientos a excepción del testigo que no fue fertilizado.

Salisbury y Ross (2000) plantean que el nitrógeno se encuentra presente en muchos compuestos esenciales, no sorprendiendo en absoluto que el crecimiento sea lento cuando existe una baja disponibilidad de nitrógeno. Para el caso de este

estudio, los resultados no generaron incrementos significativos en altura, tal como sostienen otros autores al aplicarse una fertilización nitrogenada junto con otros elementos, como el fósforo y potasio (Wang *et al.* 1988, Close *et al.* 2005).

Gerrand *et al.*, (1993) probaron ensayos de fertilización nitrogenada en eucalipto en Tasmania antes del cierre de copa. Estos autores señalaron, que para las condiciones de su estudio, se podrían producir  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  durante una rotación de 15 años, es decir, un incremento medio anual de  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Para el caso de esta tesis, los resultados en incremento medio anual obtenidos se encuentran en un rango que va desde los 34 a los  $47 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , para las dosis aplicadas.

Gerrand *et al.*, (1993), observaron además, una respuesta lineal de crecimiento en diferentes sitios al fertilizar tres veces en rangos desde 0 a 500 el Kg de N  $\text{ha}^{-1}$  durante los tres primeros años de plantación. Esto coincide con los resultados obtenidos en esta tesis, donde la aplicación en un rango desde 0 a los 480 Kg N  $\text{ha}^{-1}$ , durante los tres primeros años de establecimiento, muestran un comportamiento lineal de crecimiento que va desde los 349 a los  $477 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

Cromer *et al.* (1995) encontraron en Tasmania, que con una sola aplicación cercana a los 400 Kg de N  $\text{ha}^{-1}$ , se maximizaba el crecimiento en el sitio. Esta dosis se sitúa en el rango de las mejores respuestas obtenidas en el presente estudio, las que se lograron con aplicaciones que van desde los 320 a 480 Kg de N  $\text{ha}^{-1}$ .

De los nutrientes utilizados, el fósforo juega un papel relevante para la obtención de altos volúmenes de biomasa, toda vez que su disponibilidad es baja en este tipo de suelos, tal como lo señala González (1997), situación que se ve agravada por la fijación que producen niveles altos de aluminio intercambiable y extractable (Aparicio, 2001). Según McLaughlin (1996), el fósforo es uno de los principales nutrientes que imponen restricciones a la productividad en las plantaciones de especies del género *Eucalyptus* en muchas partes del mundo. En esta tesis

doctoral, todos los tratamientos que contemplaron la aplicación de fósforo, reflejaron un aumento de volumen. Esto se complementa con estudios de Fernandez *et al.* (2000), quienes probaron que la sola la aplicación de fósforo en una plantación de *E. camaldulensis* genera un incremento en volumen y en la producción de materia seca.

En un estudio de rentabilidad sobre fertilización nitrogenada en plantaciones de *Eucalyptus*, Smethurst *et al.*, (2001) determinaron un VAN de -146 US\$ ha<sup>-1</sup> para un sitio de baja respuesta al crecimiento, un VAN de -54 US\$ ha<sup>-1</sup> para un sitio de respuesta media, y un VAN de 130 US\$ ha<sup>-1</sup> para un sitio de alta respuesta. Smethurst *et al.*, (2001) concluyeron que la fertilización era una inversión provechosa solamente en sitios donde era posible obtener una alta respuesta de la producción. Más particularmente, la fertilización retornó un VAN de 89 US\$ ha<sup>-1</sup> y una TIR de 14% para los rodales donde se anticipaba una alta respuesta al crecimiento.

Para el caso de esta tesis doctoral, el tratamiento T8 (N<sub>300</sub>P<sub>400</sub> + FGC) obtuvo el mayor volumen (477 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) alcanzando un VAN de 261 US\$ ha<sup>-1</sup>, sin embargo, la mejor rentabilidad se logró con el tratamiento T3 (N<sub>200</sub>P<sub>100</sub>), que obtuvo un VAN de 717 US\$ ha<sup>-1</sup> con un volumen menor (476 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Esto se explica porque el ingreso marginal, generado por el crecimiento en volumen, no compensó el costo de la aplicación adicional de fertilizantes, lo que concuerda con lo señalado por Cromer *et al.* (2002), en el sentido de que mayores dosis de fertilizantes disminuyen la rentabilidad.

La densidad de plantación también es un factor que influye en la rentabilidad esperada del cultivo, pues afecta el crecimiento de los árboles en la producción de volumen pulpable.

En general, el aumento de la densidad de plantación afecta al crecimiento individual de los árboles manifestándose por una disminución en el diámetro y altura, pero contrastándose con un aumento de la biomasa total por hectárea.

Estas tendencias fueron reportadas para *Eucalyptus* (Shönau y Coetzee, 1989; Bernardo *et al.*, 1998) y específicamente en *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* (Mushove, 1991), *E. grandis* (Coetzee, 1991), *E. nitens* (Neilsen y Gerrand, 1999) y *E. globulus* (Madrigal *et al.*, 1999; Pinilla y Ulloa, 2001). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en esta tesis, por cuanto a los seis años de edad se probó que mayores densidades de plantación con fines pulpables (2.000 árb há<sup>-1</sup>), presentaron una mayor ocupación del sitio. Por otra parte, estudios del INFOR (1995) demostraron que cuando el objetivo de producción está orientado a la producción de madera aserrable o debobinable, la mejor ocupación del sitio ocurre a densidades menores.

Jobet (1999), señala que la obtención de mayores volúmenes a densidades más altas es un comportamiento que no es permanente en el tiempo debido a la mortalidad que se genera producto de la competencia. Esta situación es análoga a la mortalidad artificial provocada por las prácticas silvícolas de podas y raleos aplicadas para la obtención de producción de madera aserrable o debobinable (INFOR, 1995).

En atención a lo expuesto en el párrafo anterior, Chang (1983) señala que los rodales con densidades mayores tienen incrementos corrientes que aumentan aceleradamente durante los primeros años de crecimiento, alcanzando su máximo a edades más tempranas para luego descender también más aceleradamente que aquellos rodales establecidos a densidades menores. Esto coincide con los resultados obtenidos en esta tesis, donde se comprobó que durante los tres primeros años de edad, las densidades mayores, lograron un incremento corriente más alto que las menores, Por este motivo, INFOR (1995) recomienda que estos resultados deben ser examinados cuidadosamente tomando en cuenta la edad de la plantación en la que fueron obtenidos, teniendo presente que con una alta probabilidad la densidad óptima de plantación, desde el punto de vista de la ganancia de volumen, no se logre con las densidades más altas, si no con

aquellas donde se encuentre una adecuada combinación de máximo volumen y mínimo número de árboles.

Miranda *et al.* (2000), señalan que la alta densidad de plantación, combinada con un alto crecimiento en volumen, maximiza la producción de la unidad de base de la superficie. Para el caso de los resultados de rentabilidad obtenidos en esta tesis doctoral, la relación es inversa, esto es, a densidades más altas se obtiene una menor rentabilidad, lo que contrasta con estudios realizados por Asnake (2006) en plantaciones *E. camaldulensis*, con fines energéticos, quien demostró que a altas densidades se obtiene una mayor rentabilidad. Si bien es cierto el objetivo de ambos estudios es obtener un alto volumen en biomasa, el contraste en rentabilidad podría explicarse por la intensidad de la silvicultura aplicada en cada caso de acuerdo al objetivo de la producción, esto es, pulpable, aserrable y/o debobinable.

Rodriguez y Velilla (2007), en un estudio realizado en Chile sobre clones de *E. globulus*, tuvieron como resultados que dependiendo de la edad de cosecha la rentabilidad podría verse afectada por la densidad de la plantación. Es así como para cosechas más tempranas las densidades más altas tienen mejores rentabilidades.

Burner *et al.*, (2010), en un estudio en *Pinus taeda* probaron que densidades de plantación menores a 1.100 árb ha<sup>-1</sup>, y mayores a 2.100 árb ha<sup>-1</sup>, obtienen rentabilidades negativas. Los resultados de esta tesis mostraron rentabilidades positivas para los cuatro tratamientos de densidad, T1 (1.000 árb ha<sup>-1</sup>), T2 (1.428 árb ha<sup>-1</sup>), T3 (1.667 árb ha<sup>-1</sup>) y T4 (2.000 árb ha<sup>-1</sup>).

Valencia y Cabrera (2007) estudiaron la rentabilidad en *E. globulus* con fines pulpables para una densidad de plantación de 1.429 árb ha<sup>-1</sup>; para un sitio de alta productividad obtuvieron un VAN 1.722 US\$ ha<sup>-1</sup> y para un sitio de productividad media el VAN fue de 647 US\$ ha<sup>-1</sup>. En el mismo estudio, y para la misma densidad (1.429 árb ha<sup>-1</sup>), se obtuvo la rentabilidad para *E. nitens*, la que arrojó valores de VAN de 96 US\$ ha<sup>-1</sup> en sitios de alta productividad, en tanto que en

sitios de mediana productividad el VAN fue de - 437 US\$ ha<sup>-1</sup>. Para el caso de esta tesis las rentabilidades oscilaron en torno a los 300 US\$ ha<sup>-1</sup>. Las rentabilidades determinadas son consistentes con las referencias proporcionadas por Cubbage *et al.* (2005); INFOR (2004) y Donnelly *et al.* (2003) para plantaciones de *Eucalyptus sp.* en Sudamérica y Chile, y con los resultados de Candy y Gerrand (1997) para *E. nitens* en Australia.

Resultados obtenidos en esta tesis doctoral, presentan una diferencia de hasta un 20% en términos de volumen entre la menor y la mayor densidad a la edad de cosecha (10 años), favoreciendo la densidad más alta. Sin embargo esto no se ve reflejado en la rentabilidad dado que el tratamiento más rentable, T1 (VAN US\$ 330 há<sup>-1</sup>) fue el que tenía menor volumen (183 m<sup>3</sup> há<sup>-1</sup>). Esto se explica por la notoria diferencia en los costos de los tratamientos, que son aproximadamente del orden de un 60% entre la densidad más baja (1.000 árb ha<sup>-1</sup>) y la más alta (2.000 árb ha<sup>-1</sup>).

El riego en plantaciones forestales es una práctica poco frecuente en el mundo debido a su alto costo, que se potencia por los largos periodos de espera por los ingresos de la cosecha. Para especies forestales de periodos de crecimiento relativamente cortos, como es el caso de *E. globulus*, el riego demostró en este estudio que es un factor que influye significativamente en la producción de biomasa, además de contribuir a las propiedades del suelo y a una mejor absorción de nutrientes, coincidiendo con un estudio de Guo (1998), que también obtuvo una respuesta favorable en términos de la producción de biomasa para especies del género *Eucalyptus*.

La presencia de agua en el perfil del suelo facilita los procesos de absorción de nutrientes Gurovich *et al.*, (1997). Este hecho provoca una respuesta importante en crecimiento en altura, tal como ocurrió en los tres tratamientos realizados en este estudio.

Myers *et al.* (1996) estimaron rangos de crecimiento para *E. grandis* de 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, bajo la aplicación de agua, y un crecimiento medio anual para *E. globulus*

de  $24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , para una rotación de 25 años con aplicación anual de riego. Por otra parte, Sands *et al.* (1999) lograron un aumento en el crecimiento medio anual en *E. globulus* de  $38 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , con una frecuencia de riego de 24 veces durante cada año (2 por mes), para una rotación 25 años. Stape *et al.*, (2004) probaron que la aplicación controlada de agua aumenta la eficiencia del uso de ésta, lo que quedó demostrado en esta tesis, toda vez que los crecimientos logrados debido a la aplicación de riego fueron de 45, 46 y  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , para los tratamientos microaspersión (T1), goteo (T2) y surco (T3), respectivamente.

El mejor resultado en rentabilidad obtenido en esta tesis doctoral fue de un VAN de  $1.106 \text{ US\$ ha}^{-1}$  para el tratamiento de riego por surco (T3). Para este mismo sistema de riego, Sands *et al.* (1999), obtuvieron una rentabilidad de  $640 \text{ US\$ ha}^{-1}$ .

Existen pocos estudios económicos en torno al uso del riego como una técnica para aumentar la productividad de plantaciones forestales. De las pocas experiencias existentes, Langholtz *et al.* (2006), obtuvo resultados de rentabilidad relativamente similares a los del presente estudio, en especies del mismo género para otros objetivos de producción.

## REFERENCIAS

- Acuña, E. y Drake, F. 2003. Análisis del riesgo en la gestión forestal e inversiones silviculturales: una revisión bibliográfica. *Bosque* 24: 113-124 .
- Aparicio, J., V. Gerding, J. Schlatter, y R. Grez. 2001. Dinámica de elementos nutritivos en la biomasa de *Eucalyptus nitens* al cuarto año de crecimiento, en un suelo rojo arcilloso del sur de Chile. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 12 p.
- Asnake, A. 2006. Yield and Economics of Growing *Eucalyptus camaldulensis* by Smallholder Farmers of Amhara Region: The Case of Gondar Zuria District, North Gondar Ethiopia. Swedish University of Agricultural Sciences. Skinnskatteberg, Sweden. 57 p.
- Bernardo A., Reis M., Reis G., Harrison R. y D. Firme . 1998. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management* 104(1-3): 1-13.
- Burner D, Dwyer J. and L. Godsey. 2010. Stocking rate mediates responses of mid-rotation loblolly pine in westcentral Arkansas. *Agroforest Systems* 81:287–293
- Candy, S., and A. Gerrand. 1997. Comparison of Financial Returns from Sawlog Regimes for *Eucalyptus nitens* Plantations in Tasmania. *Tasforests*, 9: (35-50).
- Chang, S. 1983. Rotation Age, Management Intensity, and the Economic Factors of Timber Production: do Changes in Stumpage Price, Interest Rate, Regeneration Cost, and Forest Taxation Matter. *Forest Science* 2 (29): 267-277.

- CIREN 2002. Estudio Agroecológico de la IX Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Santiago, Chile. Publicación 122. 360 p.
- Close D., Bail, I., Hunter, S. and C. Beadle. 2005. Effects of exponential nutrient-loading on morphological and nitrogen characteristics and on after-planting performance of *Eucalyptus globulus* seedlings. *Forest Ecology and Management* 205: 397-403.
- Coetzee J., 1991. The influence of stand density on the yield of *Eucalyptus grandis*: a comparison between a good site and a poor site at age 4 years. IUFRO Symposium. Intensive Forestry. The role of Eucalypts. Durban, South Africa. Vol. 2: 901-916.
- Cromer, R., Smethurst, P., Turnbull, C., Misra, R., LaSala, A., Herbert, A. and L. Dimsey. 1995. Early growth of eucalypts in Tasmania in relation to nutrition. In: Potts, B.M., Borralho, N.M.G., Reid, J.B., Cromer, R.N., Tibbits, W.N. and C.A. Raymond. (eds). *Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Uniformity*. Proceedings CRC-IUFRO Conference, Hobart. CRC for Temperate Hardwood Forestry: 331-335.
- Cromer, R., R. Turnbull, A. LaSala, P. Smethurst. and A. Mitchell. 2002. *Eucalyptus* Growth in relation to combined nitrogen and phosphorus fertilizer and soil chemistry in Tasmania. *Austrian Forest*. 65(4): 256 – 264.
- Cubbage, F., Mac Donagh, P., Noemi, M., Siry, J., Sawinski, J., Ferreira, A., Hoeflich, V., Ferreira, G., Morales, V., Rubilar, R., Alvarez, J., and P. Donoso. 2005. Comparative Timber Investment Returns for Selected Plantations and Native Forests in South America and the Southern United States. Abstract for 2005 SOFEW Conference, Baton Rouge, Louisiana, USA. 334-456.
- Donnelly, R., Flynn, R. and E. Shield. 2003. The Global *Eucalyptus* Wood Products Industry. A Progress Report on Achieving Higher Value Utilization. Brochure. *New Zealand Journal of Forestry*. V: 48-49:

- Fernández, L. Dias E., Barros F., Novais F., and E. Moraes. 2000. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian Oxisol, *Forest Ecology and Management* 127(1-3): 93-102.
- Fisher, R., and D. Binkley. 2000. *Ecology and management of forest soils*. J. Wiley & Sons. New York, USA. 489 p.
- Fressard, G. 2004. Evaluación de una fertilización en *E. globulus Labill*, de uno y dos años de edad, Valdivia. Tesis Ing. For. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 87 p.
- García, E. 2000. Establecimiento de plantaciones forestales: *Eucalyptus globulus*. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 30 p.
- Gerrand, A., Prydon, R. and G. Fenn. 1993. A financial evaluation of eucalypt plantations in Tasmania. *Tasforests* 5: 77-97.
- González, L. 1997. El Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) gigante de Australia en México. Publicación de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. España. 49p..
- Guo, L.B., 1998. Nutrient cycling in Eucalyptus short rotation forests sustainable production linked with meatworks e,uent land treatment. A Thesis for Doctor of Philosophy Massey University, Palmerston North, New Zealand. 263 p.
- Gurovich, L., Holmberg, J. y A. Lyon. 1997. Crecimiento y uso de agua de *Eucalyptus globulus* bajo diferentes regímenes de riego. *Ciencia e Investigación Agraria* 23(2): 61 - 69
- Herbert, M. 1990. Fertilizer/site interactions on the growth and foliar nutrient levels of *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management* 30:247-257.
- INFOR. 1995. Primeros Resultados en un Ensayo de Espaciamiento, Poda y Raleo con *Eucalyptus globulus* en Constitución (VII Región). División

- Ordenación Forestal e Inventarios. Documento interno. Santiago, Chile. 20 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2004. *Eucalyptus nitens* en Chile: Economía y Mercado. Proyecto FDI CORFO Opciones Productivas: Industria y Mercado. Santiago, Chile. Informe Técnico 166. 55 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2010. **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.**
- Jobet, J. 1999. Estudio del Efecto del Espaciamiento Inicial Sobre el Crecimiento y Rendimiento de *Eucalyptus nitens* Plantados en Suelo Trumao. XII Silvotecnia. Actas simposio: Realidad y potencial del Eucalipto en Chile. Concepción, Chile. 24 p.
- Judd, T., Bennet, L., Weston, C., Attiwill, P., and P. Whiteman. 1996. The response of growth and folk nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus Labill.* plantations in Gippsland, southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 82: 87-101
- Langholtz, M., Carter, D., D. Rockwood, and J. Alavalapati. 2006. Effect of CO2 mitigation incentives on the profitability of short-rotation woody cropping of *Eucalyptus amplifolia* on clay settling areas in Florida. For Econ. 3 p. En: [http://www.ces.ncsu.edu/nreos/forest/feop/Agenda2006/iufro\\_plantations/proceedings/F04x-Langholtz.pdf](http://www.ces.ncsu.edu/nreos/forest/feop/Agenda2006/iufro_plantations/proceedings/F04x-Langholtz.pdf)
- Madrigal A., Álvarez, J.G., Rodríguez R. y A. Rojo. 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde del Valle de Salazar. España. 253 p.
- Mclaughlin, M. 1996. Phosphorus in Australian Forest soil. PM Attiwill & MA Adams (eds). *Nutrition of eucalypts*. CSIRO Publishing. Melbourne, Australia. 30 p.
- Miranda, I., Almeida, M., y H. Pereira. 2000. Provenance and site variation of good density in *Eucalyptus glogulus Labill.* At harvest age and its relation to

a non-destructive early assessment. *Forest Ecology and Management* 149: 235-240.

Mushove P., 1991. Comparison of three Eucalypt species in Nelder wheel spacing trials on four Zimbabwean sites. IUFRO Symposium. Intensive Forestry. The role of Eucalypts. Durban, South Africa. Vol. 2: 940-951.

Myers, B., Theiveyanathan, S., O'Brien, N., W Bond. 1996. Growth and water use of effluent-irrigated *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* plantations. *Tree Physiology* 16: 211–219.

Neilsen W., and A. Gerrand. 1999. Growth and branching habit of *Eucalyptus nitens* at different spacing and the effect on final crop selection. *Forest Ecology and Management* 123(2-3), 217-229.

Pinilla J., y I. Ulloa. 2001. Nuevos resultados en un ensayo de espaciamiento y raleo con *Eucalyptus globulus* en Constitución (VII Región). IUFRO Conference. CD The Eucalypts of the future, Valdivia, Chile,

Puentes, G y D. Suárez. 2001. Efecto de la dosis de N y P al establecimiento y post-establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus nitens* Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill en dos ecosistemas de la VIII Región. IUFRO Conference. The Eucalypts of the future. Valdivia, Chile. 10 p.

Pukkala, T. 1998. Multiple risks in multi-objective forest planning: integration and importance. *Forest Ecology and Management* 111:265–284.

Rodriguez, J. and E. Velilla. 2007. Growth and economic analysis of a *Eucalyptus globulus* clonal spacing trial in Chile. Australasian Forest Genetics Conference, Tasmania, Australia. 17p.

Salisbury F, y C. Ross. 2000. Fisiología Vegetal. Madrid, España. Thompson Editores. España. 988 p.

- Sands, P.J., W. Rawlins and M. Battaglia. 1999. Use of a simple plantation productivity model to study the profitability of irrigated *Eucalyptus globulus*. CSIRO. Hobart, Tasmania 7001, Australia. vol. 117: 125-141
- Schönau A., and J. Coetzee. 1989. Initial Spacing, stand density and thinning in Eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management* 29(4): 245-266.
- Selkirk, S., and R. Spencer. 1999. Economics of fibre production from industrial hemp and blue gum plantations. *Australian Forestry* 62: 193–201.
- Smethurst, P., Jennings, S. and A. Matysek. 2001. Economics of nitrogen fertilization of eucalypts for pulpwood. *Australian Forestry* 64(2) : 96-101.
- Stape, J., D. Binkley y M. Ryan. 2004. Utilización del agua, limitación hídrica y eficiencia del uso del agua en una plantación de *Eucalyptus*. *Bosque* 25 (2): 35-41.
- Suárez, D., J. Rodríguez, y G. Puentes. 1997. Fertilización del pino: Fundamentos y Aplicación. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Depto. de Ciencias de los Recursos Naturales. Santiago, Chile. 143 p.
- Thorsen, B. and F. Helles. 1998. Optimal stand management with endogenous risk of sudden destruction. *Forest Ecology and Management* 108: 287–299.
- Valencia, J. y J. Cabrera. 2007. Análisis económico de opciones productivas para plantaciones de *Eucalyptus nitens* en el sur de Chile. INFOR, Instituto Forestal. Santiago, Chile. Documento Interno. 18 p
- Wang D., Bachelard E. and J. Banks. 1988. Growth and water relations of seedlings of two subspecies of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology* 4: 129-138.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

---

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES GENERALES.**

---

---

El objetivo principal de la investigación, expuesto en el Capítulo I de la presente tesis doctoral, era evaluar la rentabilidad de la fertilización, de la densidad inicial de plantación y de la utilización de sistemas de riego en plantaciones de *E. globulus* en Chile. Interesaba evaluar las respuestas a la generación de biomasa debido al efecto de factores tales como: dosis de fertilizantes, número de árboles por unidad de superficie y aplicación de agua a través de diferentes tratamientos. Las principales conclusiones obtenidas en esta tesis son:

1. El análisis de los estudios de fertilización, densidad inicial de plantación y sistemas de riego, permiten concluir que estos factores afectan significativamente la rentabilidad de las plantaciones de *E. globulus* en Chile.
2. Las tecnologías silvícolas actuales están enfocadas a la producción de madera pulpable; mientras no se desarrollen nuevos mercados, estas prácticas se mantendrán ya que permiten márgenes de rentabilidad que satisfacen las expectativas de los inversionistas.
3. La obtención de una mayor biomasa no implica una mayor rentabilidad del cultivo, lo que hace indispensable evaluar la conveniencia económica de la aplicación de fertilizantes en plantaciones forestales de rápido crecimiento.
4. La mejor dosis de fertilización, en resultados volumétricos y de rentabilidad corresponde a la aplicación en el tratamiento T3, es decir la aplicación de 200 Kg. N ha<sup>-1</sup> y 100 Kg. P ha<sup>-1</sup>, y la obtención de un VAN de 717 US\$ ha<sup>-1</sup>, una TIR de 11,4%, y un VES de 1.268 US\$ ha<sup>-1</sup>.
5. La aplicación de altas dosis de fertilizantes disminuyeron en un 46% la rentabilidad, toda vez que los costos del producto son muy altos de manera que no compensa los beneficios de su aplicación.

6. En este estudio se comprobó que las densidades de plantación más altas, lograron los mayores volúmenes, y por otra parte, densidades de plantación más bajas lograron menores volúmenes, sin embargo, el mejor resultado en términos de rentabilidad corresponde al tratamiento T1, con una densidad de plantación de 1.000 árb ha<sup>-1</sup>, con un VAN de 330 US\$ ha<sup>-1</sup>, una TIR de 10,1%, y un VES de 584 US\$ ha<sup>-1</sup>. Esta densidad fue la que demandó el menor costo para su establecimiento.
7. Las tres técnicas de riego ensayadas en el estudio mostraron aumentos en el crecimiento respecto de plantaciones sin riego realizadas bajo las mismas condiciones edafoclimáticas, aunque el mayor volumen obtenido correspondió al tratamiento riego por surco (T3) con un volumen de 496 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, que logró además la mayor rentabilidad con un VAN de 334 US\$ ha<sup>-1</sup>, una TIR de 9,4 % y un VES 1.476 US\$ ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, el riego por surco es una práctica rentable para el manejo integrado de una plantación de eucalipto de alta productividad.
8. El riego aplicado a plantaciones de eucalipto mediante microaspersión y goteo, no es rentable debido a los altos costos de inversión e implementación de estos sistemas.
9. Los resultados de la aplicación del Modelo de Montecarlo permiten concluir en general, que lospronósticos sobre el comportamiento de las variables precio de la madera pulpable y tasa de descuento de la industria forestal chilena, presentan una alta probabilidad de lograr rentabilidades superiores a las esperadas.

**ANEXOS**

---

**CAPÍTULO 8**



A1-2. Flujo financiero del proyecto tratamiento 1 (T1).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.296
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-170	-97	-16	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-84	-267	-46	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-171	-170	-30	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha											-7.638
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.628
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.127
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.501
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.044	-297	-76	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.001
<b>VAN US\$ =</b>	530										
<b>TIR %=</b>	10,89%										
<b>VES US\$/ha=</b>	939										

A1-3 Flujo financiero del proyecto tratamiento 2 (T2).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.593
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-84	-267	-46	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha											-7.263
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.300
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.071
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.229
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.072	-389	-76	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	6.729
<b>VAN US\$ =</b>		301									
<b>TIR % =</b>		9,94%									
<b>VES US\$/ha =</b>		533									

A1-4. Flujo financiero del proyecto tratamiento 3 (T3).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.646
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-84	-267	-46	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.894
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.722
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.313
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.409
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.072	-410	-168	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.909
<b>VAN US\$ =</b>	717										
<b>TIR % =</b>	11,40%										
<b>VES US\$/ha =</b>	1268										

A1-5 Flujo financiero del proyecto tratamiento 4 (T4).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.836
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-84	-267	-46	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.927
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.879
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.170
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.710
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.072	-465	-168	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.210
<b>VAN US\$ =</b>		363									
<b>TIR %=</b>		10,11%									
<b>VES US\$/ha=</b>		642									

A1-6 Flujo financiero del proyecto tratamiento 5 (T5).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.067
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-84	-267	-46	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.050
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.987
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.188
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.799
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.072	-465	-222	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.299
<b>VAN US\$ =</b>	355										
<b>TIR %=</b>	10,07%										
<b>VES US\$/ha=</b>	629										

A1-7 Flujo financiero del proyecto tratamiento 6 (T6).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.051
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-84	-267	-46	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.576
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.445
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.266
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.179
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.147	-465	-244	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.679
<b>VAN US\$ =</b>	427										
<b>TIR %=</b>	10,27%										
<b>VES US\$/ha=</b>	755										

A1-8 Flujo financiero del proyecto tratamiento 7 (T7)..

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.998
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-84	-267	-46	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-239	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.547
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.420
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.261
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.159
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.164	-465	-244	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.659
<b>VAN US\$ =</b>	401										
<b>TIR %=</b>	10,17%										
<b>VES US\$/ha=</b>	709										

A1-9 Flujo financiero del proyecto tratamiento 8 (T8).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.679
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-84	-267	-46	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-493	-167	-167	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.911
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.737
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.315
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.422
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.419	-465	-244	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.922
<b>VAN US\$ =</b>	261										
<b>TIR %=</b>	9,60%										
<b>VES US\$/ha=</b>	462										

Flujos financieros para el cálculo de rentabilidad de los tratamientos de aplicación de diferentes densidades de plantación. Se indica VAN, TIR y VES para la tasa de descuento 8,7%, valores en US\$ ha<sup>-1</sup>.

A1-10. Flujo financiero del proyecto densidad de establecimiento 1.000 árb ha<sup>-1</sup> (T1).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.804
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-91	-30	-71	-71	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-359	-41	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha											-6.402
Administración	0	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.372
<b>IMPUESTO (17%)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.083
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.289
<b>INVERSION:</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.257	-101	-101	-101	-30	-30	-30	-30	-30	-30	6.789
<b>VAN US\$ =</b>	330										
<b>TIR %=</b>	10,10%										
<b>VES US\$/ha=</b>	584										

A1-11 Flujo financiero del proyecto densidad de establecimiento 1.428 árb ha<sup>-1</sup> (T2).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.682
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-91	-30	-71	-71	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-512	-58	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.841
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.811
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.158
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.653
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.460	-118	-101	-101	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.153
<b>VAN US\$ =</b>	270										
<b>TIR %=</b>	9,70%										
<b>VES US\$/ha=</b>	477										

A1-12 Flujo financiero del proyecto densidad de establecimiento 1.667 árb ha<sup>-1</sup> (T3).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.640
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-91	-30	-71	-71	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-30	-30	-30	-30	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-598	-68	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.320
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.290
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.239
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.051
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.575	-128	-101	-101	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.551
<b>VAN US\$ =</b>	319										
<b>TIR % =</b>	9,90%										
<b>VES US\$/ha =</b>	564										

A1-14 Flujo financiero del proyecto densidad de establecimiento 2.000 árb ha<sup>-1</sup> (T3).

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.612
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-91	-30	-71	-71	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-30	-30	-30	-30	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-718	-81	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.806
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.776
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.322
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.454
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-1.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Flujo Proyecto	-2.734	-141	-101	-101	-30	-30	-30	-30	-30	-30	7.954
<b>VAN US\$ =</b>	323										
<b>TIR % =</b>	9,80%										
<b>VES US\$/ha =</b>	570										

Flujos financieros para el cálculo de rentabilidad de los tratamientos de aplicación de diferentes sistemas de riego. Se indica VAN, TIR Modificada y VES para la tasa de descuento 8,7%, valores en US\$ ha<sup>-1</sup>.

A1-15 Flujo financiero del proyecto riego por microaspersión (T1), rotación 8 años.

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
<b>INGRESOS</b>									
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	10.976
Venta de activos		0	0	0	2.161	0	0	0	0
<b>COSTOS</b>									
Preparación del terreno	-136	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-160	-89	-89	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-243	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización									
Cosecha									-3.996
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	6.980
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	1.187
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	5.793
<b>INVERSION:</b>									
Activos	-5.403	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno	-2.285	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de trabajo	-807	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>									
Terreno		0	0	0	0	0	0	0	2.742
Recuperación Capital de Trabajo		0	0	0	0	0	0	0	807
Flujo Proyecto	-9.034	-119	-119	-30	2.131	-30	-30	-30	9.342
<b>VAN US\$ =</b>	-2.713								
<b>TIRm % =</b>	3,6%								
<b>VES US\$/ha =</b>	-5.902								

A1-16 Flujo financiero del proyecto riego por microaspersión (T1), rotación 10 años.

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.175
Venta de activos		0	0	0	2.161	0	0	0	0	0	0
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-160	-89	-89	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización		0									
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5.553
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	0
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.622
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.636
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.986
<b>INVERSION:</b>											
Activos	-5.403	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno	-2.285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de trabajo	-807	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>											
Terreno		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.742
Recuperación Capital de Trabajo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	807
Flujo Proyecto	-9.034	-119	-119	-30	2.131	-30	-30	-30	-30	-30	11.535
<b>VAN US\$ =</b>	-2.449										
<b>TIRm %=</b>	4,9%										
<b>VES US\$/ha=</b>	-5.327										

A1-17 Flujo financiero del proyecto riego por goteo (T2), rotación 8 años.

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
<b>INGRESOS</b>									
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	10.656
Venta de activos		0	0	0	1.866	0	0	0	0
<b>COSTOS</b>									
Preparación del terreno	-136	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-160	-89	-89	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-243	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización		0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	-3.996
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	0
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	6.660
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	1.132
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	5.528
<b>INVERSION:</b>									
Activos	-4.664	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno	-2.285	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de trabajo	-807	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>									
Terreno		0	0	0	0	0	0	0	2.742
Recuperación Capital de Trabajo		0	0	0	0	0	0	0	807
Flujo Proyecto	-8.295	-119	-119	-30	1.836	-30	-30	-30	9.077
<b>VAN US\$ =</b>	-3.633								
<b>TIRm %=</b>	3,9%								
<b>VES US\$/ha=</b>	-8.176								

A1-18 Flujo financiero del proyecto riego por goteo (T2), rotación 10 años.

FLUJO PROYECTO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.816
Venta de activos		0	0	0	1.866	0	0	0	0	0	0
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-160	-89	-89	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5.553
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	0
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.263
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.575
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.688
<b>INVERSION:</b>											
Activos	-4.664	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terreno	-2.285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de trabajo	-807	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>											
Terreno		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.742
Recuperación Capital de Trabajo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	807
<b>Flujo Proyecto</b>	<b>-8.295</b>	<b>-119</b>	<b>-119</b>	<b>-30</b>	<b>1.836</b>	<b>-30</b>	<b>-30</b>	<b>-30</b>	<b>-30</b>	<b>-30</b>	<b>11.237</b>
<b>VAN US\$ =</b>	<b>-3.364</b>										
<b>TIRm %=</b>	<b>5,2%</b>										
<b>VES US\$/ha=</b>	<b>-8.043</b>										

A1-19 Flujo financiero del proyecto riego por surco (T3), rotación 8 años.

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>
<b>INGRESOS</b>									
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	11.602
<b>COSTOS</b>									
Preparación del terreno	-136	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-160.4	-89.1	-89.1	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-222	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-99.6	-99.6	-99.6	0	0	0	0	0	0
Cosecha		0	0	0	0	0	0	0	-3.996
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	7.576
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	1.288
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	6.288
<b>INVERSION:</b>									
Terreno	-2.285	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de trabajo	-2.371	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>									
Terreno		0	0	0	0	0	0	0	2.742
Recuperación Capital de Trabajo		0	0	0	0	0	0	0	2.371
Flujo Proyecto	-5.014	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	11.401
<b>VAN US\$ =</b>	989								
<b>TIRm % =</b>	10,1%								
<b>VES US\$/ha =</b>	2.152								

A1-19 Flujo financiero del proyecto riego por surco (T3), rotación 10 años.

<b>FLUJO PROYECTO</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>INGRESOS</b>											
Venta de madera pulpable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.883
<b>COSTOS</b>											
Preparación del terreno	-136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Control de malezas	-160.4	-89.1	-89.1	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento	-222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilización	-99.6	-99.6	-99.6	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosecha		-89.1	-89.1	0	0	0	0	0	0	0	-5.553
Administración		-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.330
<b>IMPUESTO (17%)</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.756
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.574
<b>INVERSION:</b>											
Terreno	-2.285	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital de trabajo	-2.431	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VALOR RESIDUAL</b>											
Terreno		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.742
Recuperación Capital de Trabajo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.431
Flujo Proyecto	-5.074	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	13.747
<b>VAN US\$ =</b>	1.106										
<b>TIRm % =</b>	10,4%										
<b>VES US\$/ha =</b>	2.406										