

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN EN LA RENTABILIDAD DE PLANTACIONES DE *Eucalyptus globulus*

EFFECT OF PLANTING DENSITY ON THE PROFITABILITY OF *Eucalyptus globulus* PLANTATIONS

Emilio Guerra-Bugueño^{1*}; Fabián Célis-Mosqueira²;
Norman Moreno-García³

¹Instituto de Estudios del Hábitat, Universidad Autónoma de Chile. Casilla 3030.
Temuco, Chile. Correo-e: emilio.guerra@uautonoma.cl Tel.: (56) 45 2942523.

(* Autor para correspondencia).

²Dirección de Investigación, Universidad Mayor. Casilla 235. Correo 34, Las Condes. Santiago, Chile.

³Escuela de Ciencias Forestales, Facultad de Recursos Naturales,
Universidad Católica de Temuco. Av. Rudecindo Ortega 02950. Temuco, Chile.

RESUMEN

El estudio evaluó, económicamente, la respuesta de densidades de plantación y marcos de espaciamiento de *Eucalyptus globulus* establecido con fines pulpables. La técnica de Montecarlo se usó para examinar el efecto de las variaciones de precios y la tasa de descuento sobre la rentabilidad. El ensayo fue realizado en el Valle Central de la IX Región de Chile. Los tratamientos fueron: 1,000 árboles-ha⁻¹ (T1); 1,428 árboles-ha⁻¹ (T2); 1,667 árboles-ha⁻¹ (T3) y 2,000 árboles-ha⁻¹ (T4). El volumen de producción de cada tratamiento se midió a la edad de cosecha (10 años) y posteriormente se realizó un análisis financiero, para obtener la rentabilidad (valor actual neto [VAN], valor económico del suelo [VES] y tasa interna de retorno [TIR]). Los mayores valores de VAN se obtuvieron con el T1 (US\$ 330-ha⁻¹) y T4 (US\$ 322-ha⁻¹). Los pronósticos obtenidos para el VAN de T1 mostraron una probabilidad de ocurrencia de 73 %, resultando ser la opción menos riesgosa para la inversión. Los mayores rendimientos volumétricos (T4 y T3) no propician las mayores rentabilidades, pues el incremento de la densidad de plantación aumenta los costos por unidad de planta con relación al manejo de suelos, control de malezas y fertilización.

PALABRAS CLAVE:

Espaciamiento, marco de plantación, Montecarlo, economía.

ABSTRACT

This study provides an economic evaluation of the response to planting densities and spacing patterns in *Eucalyptus globulus* planted for pulping. The Monte Carlo technique was used to examine the effect of price variations and the discount rate on profitability. The trial was carried out in the Central Valley of the IX Region of Chile. The treatments (T) were: 1,000 trees-ha⁻¹ (T1); 1,428 trees-ha⁻¹ (T2); 1,667 trees-ha⁻¹ (T3); and 2,000 trees-ha⁻¹ (T4). The production volume of each treatment was measured at harvest age (10 years), and then a financial analysis was made to obtain the profitability (present net value, PNV; economic land value, ELV; and internal rate of return, IRR). The highest PNV values were obtained with T1 (US\$ 330-ha⁻¹) and T4 (US\$ 322-ha⁻¹). The predictions obtained for the PNV of T1 showed a probable occurrence of 73 %, making it the least risky investment option. Higher volumetric yields (T4 and T3) do not lead to higher profitability, since the increase in planting density leads to an increase in the unit cost per plant for land management, weed control and fertilization.

KEYWORDS:

Spacing, plantation pattern, Monte Carlo Model, forestry economy.



Recibido: 16 de agosto, 2012

Aceptado: 21 de octubre, 2013

doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.08.051

<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos silvícolas tienen una función fundamental en la maximización de la producción forestal maderera. La densidad de plantación es una de las variables con mayor incidencia en el logro de este objetivo, debido a que produce un efecto significativo 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. Montagu, Kearney, y Smith (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, Azpiroz, Rodríguez, Cetina, y Gutiérrez (2006) señalan que la elección de la densidad de plantación adecuada influye en el crecimiento y condiciona las labores de mantenimiento y aprovechamiento. Según Jobet (1999), el espaciamiento es uno de los factores más importantes en la productividad del sitio. Para el silvicultor, el espaciamiento es un factor estratégico pues debe hacerse una buena combinación de éste con la edad de rotación, calidad de sitio y tratamientos en el establecimiento de la plantación (manejo del suelo, control de malezas y fertilización). 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; además, influye en la tasa de crecimiento, el cierre del dosel, el desarrollo y longevidad de las ramas, y el volumen total producido (Instituto Forestal-Corporación de Fomento de la Producción [INFOR-CORFO], 1991). El espaciamiento 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 la preparación del suelo, control de malezas y fertilización. Por tanto, dichos factores deben considerarse al hacer la evaluación económica de una plantación (Jobet, 1999).

El objetivo del presente estudio fue evaluar económicamente, mediante indicadores de rentabilidad, el efecto de distintas densidades iniciales de establecimiento en una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill. La hipótesis planteada considera que una plantación establecida a distintas densidades genera rentabilidades diferentes para un objetivo de producción de madera pulpería.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se hizo 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 de Chile. El ensayo se estableció con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron 1,000 árboles·ha⁻¹ (T1); 1,428 árboles·ha⁻¹ (T2); 1,667 árboles·ha⁻¹ (T3) y 2,000 árboles·ha⁻¹ (T4). Las parcelas cuentan con una superficie de 336 m² con un número variable de árboles en cada una, de acuerdo con

INTRODUCTION

Silvicultural treatments play a key role in maximizing timber production. Planting density is one of the variables with the greatest impact on achieving this goal, because it produces a significant effect on forest growth (Bailey, 1986; INFOR, 1995). Moreover, the importance of the density effect on tree growth not only results in the production of higher or lower volume, but it also has a significant effect on the profitability of the business for which the plantation was established. Montagu, Kearney, and Smith (2003) emphasize that the planting density and growth rate of eucalypts are the main factors that determine the time of canopy closure. Martínez, Azpiroz, Rodríguez, Cetina, and Gutiérrez (2006) point out that the appropriate choice of planting density influences growth and affects maintenance and harvest tasks. According to Jobet (1999), spacing is one of the most important factors in site productivity. For foresters, spacing is a strategic factor as it must combine well with rotation age, site quality and plantation establishment treatments (soil management, weed control and fertilization). The importance of spacing in forest management is mainly due to the fact it affects the degree of competition between trees and between them and weeds; it also has an impact on growth rate, canopy closure, branch development and longevity, and the total volume produced (Instituto Forestal-Corporación de Fomento de la Producción [INFOR-CORFO], 1991). Spacing has a significant effect on yield and harvest cost, as well as on establishment cost, which is more relevant when considering soil preparation, weed control and fertilization. Therefore, these factors should be considered when making an economic evaluation of a plantation (Jobet, 1999).

The aim of this study was to economically evaluate, by profitability indicators, the effect of different initial establishment densities on a *Eucalyptus globulus* Labill plantation. The hypothesis is that a plantation established at different densities generates different returns for the purpose of producing pulpwood.

MATERIALS AND METHODS

The evaluation was carried out at the Santa Rosa property, owned by Bosques Cautín S. A., located in the Traiguén sector in the Central Valley of Chile's IX Region. The trial was established with a randomized block design with four replications. The treatments were 1,000 trees·ha⁻¹ (T1), 1,428 trees·ha⁻¹ (T2), 1,667 trees·ha⁻¹ (T3) and 2,000 trees·ha⁻¹ (T4). The plots have an area of 336 m² with a variable number of trees in each, according to the initial establishment density. The property's soil is transitional, belonging to the Santa Sofía series (Centro de Información de Recursos Naturales [CIREN], 2002).

Soil preparation for the planting of *E. globulus* was performed by subsoiling to a depth of 80 cm. followed by a pass with a disc plow. Plants were fertilized with 50 g N·plant⁻¹

la densidad inicial de establecimiento. El suelo del predio es transicional, de la serie Santa Sofía (Centro de Información de Recursos Naturales [CIREN], 2002).

La preparación de suelo para la plantación de *E. globulus* se realizó por medio de un subsolado a 80 cm de profundidad con rastraje. Las plantas fueron fertilizadas con 50 g N·planta⁻¹ y 100 g P₂O₅·planta⁻¹. El control de malezas se realizó en forma periódica mediante la aplicación de herbicidas hasta el cierre del dosel de la plantación. El crecimiento se midió al momento de la cosecha (10 años de edad). El cálculo del volumen comercial de madera, susceptible de convertirse en pulpa, se hizo con la función de volumen que se presenta en la siguiente fórmula:

$$V = 0.0223486 + 0.0000268176 \times DAP^2 \times HT$$

Donde:

V = Volumen (m³·ha⁻¹)

DAP = Diámetro medio del rodal a la altura del pecho (m)

HT = Altura media del rodal (m)

La rentabilidad se calculó utilizando los indicadores valor actual neto (VAN), valor económico del suelo (VES) y tasa interna de retorno (TIR). El criterio del VAN consiste en obtener la diferencia de los beneficios y los valores actualizados de los costos; el valor es bueno si $VAN > 0$ y malo si $VAN < 0$. Brealey, Myers, y Allen (2006) señalan que el criterio del VAN es aceptado por los economistas y que es el método más apropiado para calcular el beneficio de cualquier proyecto. El VES calcula la rentabilidad del proyecto para rotaciones permanentes del cultivo, situación común en la actividad forestal de Chile de acuerdo con la ley de reforestación de los terrenos cosechados (Ministerio de Agricultura de Chile, [MINAGRI], 1974). El VES 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). Por otra parte, la TIR es la tasa de descuento con la cual el VAN se hace igual a cero. Si esta tasa supera la tasa de costo capital, la inversión se acepta, en caso contrario, se rechaza (Sapag, 2003). El uso de uno u otro indicador dependerá de los intereses del evaluador. Así, para un propietario le será más beneficioso utilizar el VES, mientras que para un evaluador de banco o tasador le será más apropiado el VAN, toda vez que se considere sólo una rotación. La tasa costo capital utilizada para la obtención del VAN y del VES fue de 8.7 %, que fue la calculada por Guerra, Herrera, y Drake (2010) a través del modelo de valoración de activos financieros (Capital Asset Pricing Model [CAPM]), siendo éste uno de los métodos más usados para determinar la esperanza de retorno del mercado (Laborde, 2004).

El análisis de las inversiones forestales es complejo debido, entre otras razones, al horizonte de planificación, a la incertidumbre incorporada en los flujos de caja y sobre todo

and 100 g P₂O₅·plant⁻¹. Weed control was carried out periodically by applying herbicides until canopy closure. Growth was measured at the time of harvest (10 years old). Calculation of the commercial wood volume which could be converted into pulp was made with the volume function presented in the following formula:

$$V = 0.0223486 + 0.0000268176 \times DAB^2 \times HT$$

Where:

V = Volume (m³·ha⁻¹)

DAB = Mean stand diameter at breast height (m)

HT = Mean stand height (m)

Profitability was calculated using the indicators net present value (NPV), economic land value (ELV) and internal rate of return (IRR). The NPV criterion consists of obtaining the difference between the updated benefit and cost values; the value is good if $NPV > 0$ and bad if $NPV < 0$. Brealey, Myers, and Allen (2006) point out that the NPV criterion is accepted by economists and that it is the most appropriate method to calculate the benefit of any project. The ELV calculates the profitability of the project for permanent crop rotations, a common situation in Chilean forestry under the Reforestation of Harvested Land Act (Ministerio de Agricultura de Chile, [MINAGRI], 1974). The ELV is an indicator that is very useful for determining the maximum amount of money that one would be willing to pay for land designated for endless rotations (Chacón, 1995). On the other hand, the IRR is the discount rate at which the NPV is equal to zero. If this rate exceeds the capital cost rate, the investment is accepted, otherwise it is rejected (Sapag, 2003). The use of one or the other indicator depends on the interests of the evaluator. Thus, for a landowner it is more beneficial to use ELV, while for a bank appraiser or assessor it is more appropriate to use NPV, whenever only one rotation is considered. The capital cost rate used for obtaining NPV and ELV was 8.7 %, which was calculated by Guerra, Herrera, and Drake (2010) through the Capital Asset Pricing Model (CAPM), which is one of the most commonly used methods for determining expected market return (Laborde, 2004).

Analysis of forestry investments is complex due to, among other reasons, the planning horizon and the uncertainty surrounding cash flows. Above all else, flexibility plays a very important role in such decisions. By using only traditional investment evaluation and selection criteria, new opportunities are not considered, thereby underestimating these projects (Amram & Kulatilaka, 1999). Some of the variables and parameters used in forestry investment analysis are subject to obvious fluctuations, as in the case of timber prices and the discount rate (Díaz-Balteiro & Rodríguez, 2007). Therefore, in this study a Monte Carlo simulation was used to determine the flexibility of the different planting density alternatives, considering these variables as stochastic. The Monte Carlo simulation is a computerized mathematical

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 & Kulatilaka, 1999). Algunas de las variables y parámetros empleados en el análisis están sujetos a fluctuaciones evidentes, como es el caso del precio de la madera y la tasa de descuento (Díaz-Balteiro & Rodríguez, 2007). Por ello, en este estudio se integra una simulación de tipo Montecarlo con el fin de determinar la flexibilidad de las diferentes alternativas de densidad de plantación, considerando estas variables como estocásticas. La simulación de Montecarlo es una técnica matemática computarizada que permite evaluar el riesgo y su impacto en análisis cuantitativos, considerando todos los resultados posibles, lo que permite tomar mejores decisiones en condiciones de incertidumbre. El software utilizado para dicha simulación fue Oracle Crystal Ball 11.1.

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 *E. camaldulensis*. Por otra parte, Hänninen, Mutanen, y Toppinen (2006) usaron una distribución del tipo log-normal para la variación del precio de la madera en Finlandia. En este estudio, para el precio de la madera pulpable, se aplicó un modelo de distribución estadístico de tipo triangular construido sobre la base de información de precios del mercado interno chileno del periodo 2005-2011. Los valores utilizados fueron US\$ 30·m⁻³ como mínimo, US\$ 50·m⁻³ como máximo, y un precio promedio de mercado de US\$ 35·m⁻³.

El análisis de sensibilidad de la tasa de descuento se hizo aplicando 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 % (Guerra et al., 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los volúmenes de producción de *E. globulus* a la edad de cosecha (10 años) bajo las distintas densidades de plantación. Con el T1 se obtuvo un volumen de 183 m³·ha⁻¹, con el T2 se produjo un volumen de 195 m³·ha⁻¹, con el T3 se obtuvieron 209 m³·ha⁻¹ y, finalmente, con el T4 se logró una producción de 223 m³·ha⁻¹. La mayor diferencia en volumen fue de 40 m³·ha⁻¹, entre los tratamientos T1 y T4.

En la Figura 2 se presenta el comportamiento de los diferentes tratamientos a través del tiempo. Acorde con los resultados se puede colegir 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 en volumen.

technique to assess the risk and its impact on quantitative analysis, considering all possible outcomes, which enables better decision-making under uncertain conditions. Oracle Crystal Ball 11.1 software was used for this simulation.

Kongsom and Munn (2003) used a triangular probability distribution for the price of pulpwood and a 5.6 to 11.6 % variation range in the discount rate to simulate the profitability of different planting density treatments for *E. camaldulensis*. On the other hand, Hänninen, Mutanen, and Toppinen (2006) used a log-normal distribution for the variation in timber prices in Finland. In this study, for the price of pulpwood, a statistical triangular distribution model built on the basis of Chilean domestic market prices for the period 2005-2011 was applied. The values used were US\$ 30·m⁻³ as a minimum, US\$ 50·m⁻³ as a maximum, and an average market price of US\$ 35·m⁻³.

Sensitivity analysis of the discount rate was made by applying a triangular distribution model with a minimum of 7.9 %, a maximum of 9.6 % and as an average the Chilean forest industry rate of 8.7 % was used (Guerra et al., 2010).

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the production volumes of *E. globulus* at harvest age (10 years) under different planting densities. A volume of 183 m³·ha⁻¹ was obtained with T1, while T2 produced a volume of 195 m³·ha⁻¹, T3 209 m³·ha⁻¹ and, finally, T4 223 m³·ha⁻¹. The biggest difference in volume was 40 m³·ha⁻¹, between treatments T1 and T4.

The behavior of the different treatments over time is presented in Figure 2. Based on the results it can be deduced that competition among the individuals of the treatments established at a higher density has not been strong enough for individuals established at lower densities to have exceeded them in volume.

Geldres and Schlatter (2004) determined that the mean annual increase (m³·ha⁻¹·year⁻¹) in *E. globulus* is maximized at densities between 1,271 and 1,508 trees·ha⁻¹. In our study, production volume increases in the 2,000 trees·ha⁻¹ plantation were higher than in the rest of the densities evaluated. This coincides with the findings reported by Jobet (1999), who determined that densities higher than 2,000 trees·ha⁻¹ cause a break in the density-volume relationship. However, these values should not be considered as the possible maximums, since to make such an assertion the results would have to be observed on a continuum of density sizes, which may be at a level less than or greater than 2,000 trees·ha⁻¹.

Financial flows were built with the volumes at harvest age (10 years) and the costs of each treatment (Table 1). The profitability analysis was made considering a discount rate of 8.7 %, calculated using the CAPM method and the pulpwood market price of US\$ 35·m⁻³.

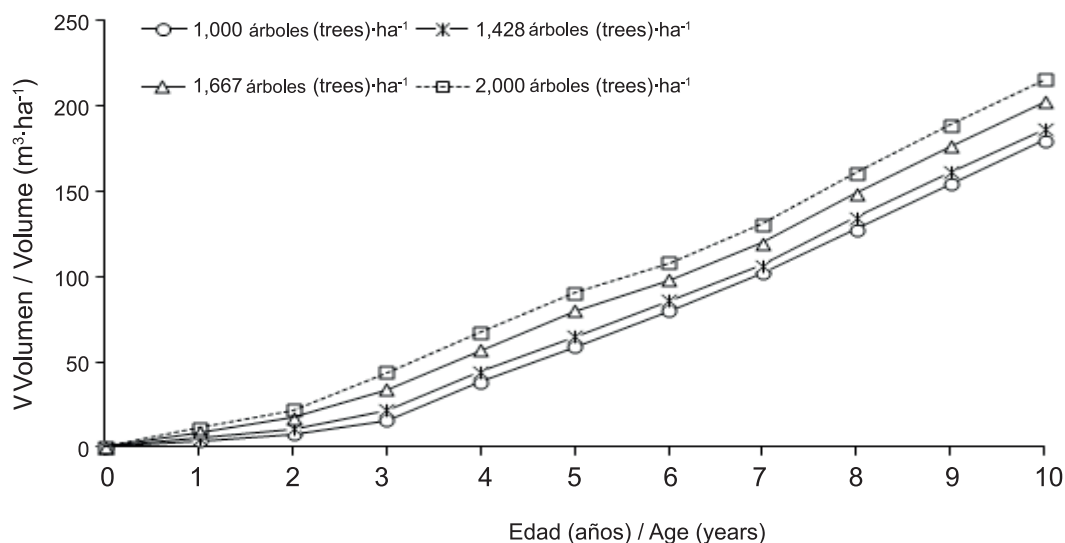


FIGURA 1. Volumen acumulado (m³·ha⁻¹) de *Eucalyptus globulus* a los 10 años, con distintas densidades de plantación.
 FIGURE 1. Cumulative volume (m³·ha⁻¹) of *Eucalyptus globulus* at 10 years of age, with different planting densities.

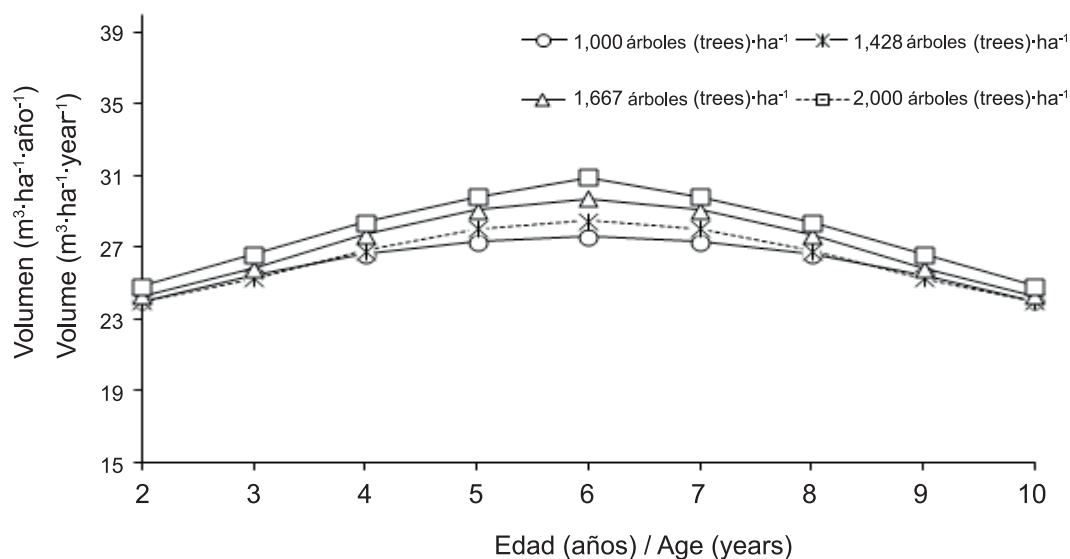


FIGURA 2. Crecimiento volumétrico corriente (m³·ha⁻¹·año⁻¹) de *Eucalyptus globulus* bajo distintas densidades de plantación.
 FIGURE 2. Periodic annual increment volumetric growth (m³·ha⁻¹·year⁻¹) of *Eucalyptus globulus* under different planting densities.

Geldres y Schlatter (2004) determinaron que el incremento medio anual ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) en *E. globulus* se maximiza a densidades entre los 1,271 y 1,508 árboles- ha^{-1} . Para el caso de nuestro estudio, los incrementos en el volumen de producción en la plantación de 2,000 árboles- ha^{-1} fueron mayores que en el resto de las densidades evaluadas. Lo anterior coincide con Jobet (1999), quien determinó que densidades superiores a los 2,000 árboles- ha^{-1} provocan un quiebre en la relación densidad-volumen. Sin embargo, estos valores no deben considerarse como máximos posibles, toda vez que para realizar tal afirmación habría que observar los resultados sobre un continuo de tamaños de densidad, el cual podría estar a un nivel menor o mayor de 2,000 árboles- ha^{-1} .

Los flujos financieros se construyeron con los volúmenes a la edad de cosecha (10 años) y los costos de cada tratamiento (Cuadro 1). El análisis de rentabilidad se hizo considerando una tasa de descuento (T_c) de 8.7 %, calculada mediante el método CAPM, y precio de mercado de la madera pulpable de US\$ 35- m^3 .

El aumento de la densidad trae consigo un aumento de volumen por unidad de superficie. Así, con el tratamiento de menor densidad de plantación (T1: 1,000 árboles- ha^{-1}) se alcanzó un volumen de 183 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, mientras que con el tratamiento de mayor densidad (T4: 2,000 árboles- ha^{-1}) se obtuvo el mayor volumen de 223 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. El aumento de la densidad también implica aumento de los costos, debido a que se requieren más plantas por unidad de superficie, así como la utilización de mayor cantidad de fertilizantes, herbicidas y mano de obra.

The increased density brings with it an increase in volume per unit area. Thus, the lowest planting density treatment (T1: 1,000 trees- ha^{-1}) produced a volume of 183 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, while the highest density treatment (T4: 2,000 trees- ha^{-1}) obtained the highest volume of 223 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Increased density also implies higher costs because it requires more plants per unit area, as well as the use of more fertilizers, herbicides and labor.

The profitability achieved by the different treatments, calculated through NPV, ranged from US\$ 270- ha^{-1} to US\$ 330- ha^{-1} (Table 2), the ELV ranged from US\$ 477- ha^{-1} to US\$ 584- ha^{-1} and the IRR from 9.7 to 10.1 %. T1 generated the highest profitability with an NPV of US\$ 330- ha^{-1} , an ELV of US\$ 584- ha^{-1} and an IRR of 10.1 %. The largest volume at harvest age was obtained with T4, but its profitability was lower than that of T1.

All treatments yielded NPV, ELV and IRR values that allow accepting projects. T1 (1,000 trees- ha^{-1}) is the most profitable option, followed by T4 (2,000 trees- ha^{-1}), T3 (1,667 trees- ha^{-1}) and T2 (1,428 trees- ha^{-1}). The greatest difference in NPV between treatments was US\$ 60- ha^{-1} . The same happened with ELV, where the biggest difference between treatments was US\$ 107- ha^{-1} .

The study shows the direct relationship between volume and density; that is, at high densities, greater volume for pulping is obtained. This is consistent with Miranda, Almeida and Pereira (2000), who point out that high planting density combined with high volume growth maximizes production per unit area. For profitability, the relationship is reversed,

CUADRO 1. Volumen de producción de *Eucalyptus globulus* con fines pulpables a la edad de cosecha y costo total de establecimiento bajo distintas densidades de plantación (tratamientos).

TABLE 1. Production volume of *Eucalyptus globulus* planted for pulping at harvest age and total establishment cost under different planting densities (treatments).

	Tratamientos / Treatments			
	T1	T2	T3	T4
Volumen / Volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	183	195	209	223
Costo total / Total cost (US\$- ha^{-1})	756	959	1,074	1,233

T1 = 1,000 árboles- ha^{-1} ; T2 = 1,428 árboles- ha^{-1} ; T3 = 1,667 árboles- ha^{-1} ; T4 = 2,000 árboles- ha^{-1}

T1 = 1,000 trees- ha^{-1} ; T2 = 1,428 trees- ha^{-1} ; T3 = 1,667 trees- ha^{-1} ; T4 = 2,000 trees- ha^{-1}

CUADRO 2. Rentabilidad del proyecto de plantación de *Eucalyptus globulus* para cada densidad evaluada según el valor actual neto (VAN), valor económico del suelo (VES) y tasa interna de retorno (TIR).

TABLE 2. Profitability of the *Eucalyptus globulus* plantation project for each density evaluated based on net present value (NPV), economic land value (ELV) and internal rate of return (IRR).

Indicador / Indicator	Tratamientos / Treatments			
	T1	T2	T3	T4
VAN / NPV (US\$.ha ⁻¹)	330	270	319	323
TIR / IRR (%)	10.1	9.7	9.9	9.8
VES / ELV (US\$.ha ⁻¹)	584	477	564	570

T1 = 1,000 árboles·ha⁻¹; T2 = 1,428 árboles·ha⁻¹; T3 = 1,667 árboles·ha⁻¹; T4 = 2,000 árboles·ha⁻¹.

Evaluación con tasa de descuento de 8.7 % y precio de la madera pulpable en el mercado de US\$ 35·m⁻³.

T1 = 1,000 trees·ha⁻¹; T2 = 1,428 trees·ha⁻¹; T3 = 1,667 trees·ha⁻¹; T4 = 2,000 trees·ha⁻¹.

Evaluation with 8.7 % discount rate and market pulpwood price of US\$ 35·m⁻³.

La rentabilidad alcanzada por los distintos tratamientos, calculada a través del VAN, varió de US\$ 270·ha⁻¹ a US\$ 330·ha⁻¹ (Cuadro 2), el VES varió de US\$ 477·ha⁻¹ a US\$ 584·ha⁻¹ y la TIR de 9.7 a 10.1 %. El T1 generó la rentabilidad más alta con un VAN de US\$ 330·ha⁻¹, un VES de US\$ 584·ha⁻¹ y una TIR de 10.1 %. El mayor volumen a la edad de cosecha se obtuvo con el T4, pero su rentabilidad fue más baja que la del T1.

Todos los tratamientos arrojaron valores del VAN, VES y TIR que permiten aceptar los proyectos. El T1 (1,000 árboles·ha⁻¹) es la opción más rentable, seguida por T4 (2,000 árboles·ha⁻¹), T3 (1,667 árboles·ha⁻¹) y T2 (1,428 árboles·ha⁻¹). La mayor diferencia de VAN entre los tratamientos fue de US\$ 60·ha⁻¹. Lo mismo ocurrió con el VES, donde la mayor diferencia entre los tratamientos fue de US\$ 107·ha⁻¹.

El estudio revela la relación directa entre volumen y densidad; es decir, a densidades altas se obtiene mayor volumen con fines pulperos. Esto concuerda con Miranda, Almeida, y Pereira (2000), 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. En el caso de la rentabilidad, la relación es inversa; es decir, a densidades más altas se obtiene una menor rentabilidad. Esto contrasta con estudios realizados por Asnake (2006) en plantaciones de *E. camaldulensis* con fines energéticos, mostrando que a densidades altas se obtiene una mayor rentabilidad. Aunque el objetivo de ambos estudios es maximizar la producción, la intensidad de la silvicultura aplicada podría ser el factor que explica las diferencias obtenidas en rentabilidad. Lo anterior puede deberse a que el manejo intensivo implica mayores costos, que además pueden verse acentuados por las características del sitio.

La simulación Montecarlo 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 tanto, todos los resultados po-

i.e., at higher densities lower profitability is obtained. This contrasts with studies by Asnake (2006) in *E. camaldulensis* plantations established for energy purposes, showing that high densities result in greater profitability. Although the goal of both studies is to maximize production, the intensity of the applied forestry could be the factor which explains the differences in profitability. This may be because intensive management entails higher costs, which can also be accentuated by the characteristics of the site.

The Monte Carlo simulation has the advantage over other methods that evaluate risk of not only providing the most probable value of the dependent variable, but also its probability distribution. Therefore, all possible outcomes can be analyzed. Descriptive statistics for the probability distributions of NPV and ELV indicators are presented in Table 3.

After 10,000 iterations, the mean and median values for all treatments were higher than the results obtained by calculating profitability, indicating that the forecasts are favorable for the price variation and discount rate assumptions. The distribution of forecasts is more homogeneous with decreasing planting density, as shown by the standard deviation and coefficient of variation. In addition, the NPV range is reduced from US\$ 1,991·ha⁻¹ to US\$ 1,646·ha⁻¹, while the ELV goes from US\$ 3,674·ha⁻¹ to US\$ 3,049·ha⁻¹. This would allow us to select T1 as the best treatment, since the standard deviation is smaller; it is the least risky alternative because the probability of a negative return is lower than with the other treatments. The results are similar to those obtained by Kongsom and Munn (2003), who determined in *E. camaldulensis* plantations that planting densities of 1,111 trees·ha⁻¹ showed standard deviations lower than the densities of 2,500 trees·ha⁻¹.

The probability of occurrence of the NPV obtained with T1 (US\$ 330·ha⁻¹) was 73.4 % and the ELV (US\$ 584·ha⁻¹) 73.5 %. Figure 3 shows the probability distribution of the NPV and ELV forecasts for T1, after 10,000 iterations.

CUADRO 3. Estadísticos de la simulación del valor actual neto (VAN) y valor económico del suelo (VES), para cada densidad de plantación de *Eucalyptus globulus*.

TABLE 3. Statistics from the simulation of the net present value (NPV) and economic land value (ELV), for each *Eucalyptus globulus* planting density.

Estadístico / Statistic	VAN / NPV (US\$.ha ⁻¹)				VES / ELV (US\$.ha ⁻¹)			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Media / Mean	553	507	574	594	983	903	1,020	1,056
Mediana / Median	518	470	533	551	917	832	944	976
Desviación estándar / Standard deviation	301	321	344	366	543	578	618	658
Coefficiente de variación / Coefficient of variation	0.55	0.63	0.60	0.62	0.55	0.64	0.61	0.62
Mínimo / Minimum	-136	-226	-209	-238	-229	-381	-352	-401
Máximo / Maximum	1,510	1,528	1,663	1,753	2,820	2,853	3,105	3,273
Rango / Range	1,646	1,754	1,872	1,991	3,049	3,233	3,457	3,674

T1 = 1,000 árboles·ha⁻¹; T2 = 1,428 árboles·ha⁻¹; T3 = 1,667 árboles·ha⁻¹; T4 = 2,000 árboles·ha⁻¹.

T1 = 1,000 trees·ha⁻¹; T2 = 1,428 trees·ha⁻¹; T3 = trees·ha⁻¹; T4 = 2,000 trees·ha⁻¹.

sibles pueden ser analizados. En el Cuadro 3 se presentan los estadísticos descriptivos para las distribuciones de probabilidad de los indicadores VAN y VES.

Después de 10,000 iteraciones, los valores de la media y mediana, para todos los tratamientos, fueron 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. La distribución de los pronósticos es más homogénea al disminuir la densidad de plantación, tal como lo muestran la desviación estándar y el coeficiente de variación. Asimismo, el rango del VAN se reduce desde US\$ 1,991·ha⁻¹ hasta US\$ 1,646·ha⁻¹, en tanto que el VES lo hace desde US\$ 3,674·ha⁻¹ hasta US\$ 3,049·ha⁻¹. Esto nos permitiría seleccionar el T1 como el mejor tratamiento, toda vez que la desviación estándar sea menor; es la alternativa menos riesgosa ya que la probabilidad de obtener una rentabilidad negativa es inferior a los demás tratamientos. Los resultados son similares a los obtenidos por Kongsom y Munn (2003), quienes determinaron en plantaciones de *E. camaldulensis* que las densidades de plantación de 1,111 árboles·ha⁻¹ mostraban desviaciones estándar menores que las densidades de 2,500 árboles·ha⁻¹.

La probabilidad de ocurrencia del VAN obtenido con el T1 (US\$ 330·ha⁻¹) fue de 73.4 % y el VES (US\$ 584·ha⁻¹) de 73.5 %. La Figura 3 muestra la distribución de probabilidad de los pronósticos de VAN y VES del T1, después de 10,000 iteraciones.

Kongsom y Munn (2003), a través de 2,000 iteraciones, determinaron un VES de US\$ 2,963·ha⁻¹ para una densidad de 1,111 árboles·ha⁻¹ y un VES de US\$ 2,726·ha⁻¹ para una densidad de 2,500 árboles·ha⁻¹. Esto concuerda con los resultados de nuestro trabajo ya que con la menor densidad (1,000 árboles·ha⁻¹) se obtuvo el VES más alto. Además, el

Kongsom and Munn (2003), through 2,000 iterations, determined an ELV of US\$ 2,963·ha⁻¹ for a density of 1,111 trees·ha⁻¹ and an ELV of US\$ 2,726·ha⁻¹ for a density of 2,500 trees·ha⁻¹. This is consistent with the results of our work since with the lowest density (1,000 trees·ha⁻¹) the highest ELV was obtained. In addition, the sensitivity analysis showed that a change in the price of wood is the factor that most affects the profitability of treatments with respect to changes in the interest rate (Figure 4).

Figure 4 shows a positive correlation of 0.94 of the price with regard to the NPV. The discount rate has a negative correlation with NPV, showing values of around -0.30. Whittock, Greaves, and Apiolaza (2004) agree that price is one of the factors that most affects profitability forecasts, with correlations ranging from 0.52 to 0.58, and for the discount rate, negative correlations ranging from -0.21 to -0.16.

Table 4 shows the financial indicators obtained from the financial flow of each project, which are deterministic and are the reference (the so-called benchmark or baseline) against which those obtained with the Monte Carlo simulations are compared. The financial indicators, by assuming a probability distribution, are stochastic.

CONCLUSIONS

Plantations of *E. globulus* established for pulping are profitable for all planting densities studied. However, the Monte Carlo simulation showed that it is possible to decrease the investment risk if plantations with lower density are selected. However, for densities lower than those studied (1,100 trees·ha⁻¹) the same could not be said and, therefore, corresponding assessments would have to be carried out at each level. Stochastic analysis showed the importance of the price

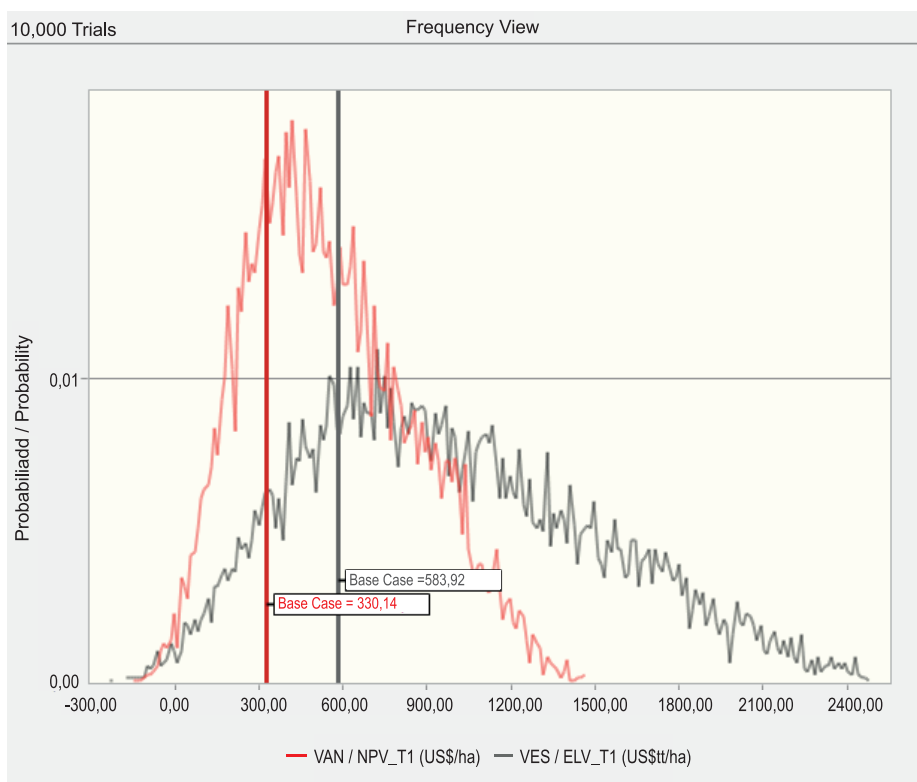


FIGURA 3. Distribución de frecuencias del valor actual neto (VAN) y valor económico del suelo (VES) obtenidos con la simulación de Montecarlo, para una densidad de plantación de 1,000 árboles-ha⁻¹ (T1) de *Eucalyptus globulus*.

FIGURE 3. Frequency distribution of the net present value (NPV) and economic land value (ELV) obtained with Monte Carlo, for a planting density of 1,000 trees-ha⁻¹ (T1) of *Eucalyptus globulus*.

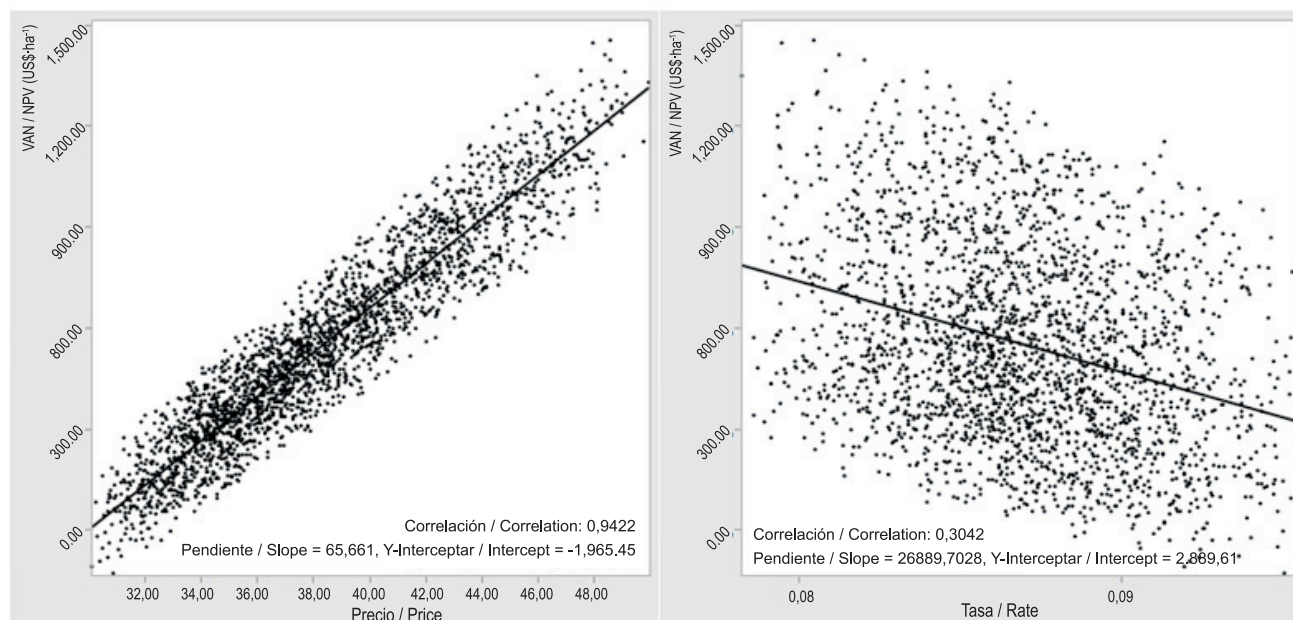


FIGURA 4. Correlación de los supuestos precio y tasa de descuento con el pronóstico para la rentabilidad de la plantación de *Eucalyptus globulus* con una densidad de plantación de 1,000 árboles-ha⁻¹.

FIGURE 4. Correlation of price and discount rate assumptions with the forecast for the profitability of a *Eucalyptus globulus* plantation with a planting density of 1,000 trees-ha⁻¹.

CUADRO 4. Resultados de la simulación de Montecarlo asumiendo distribuciones de probabilidad triangulares de las variables precio (rango: US\$ 30·m⁻³ a US\$ 50·m⁻³, media: US\$ 35·m⁻³) y tasa de descuento (rango: 7.9 a 9.6 %, media: 8.7 %) para la rentabilidad de la plantación de *Eucalyptus globulus*.

TABLE 4. Results of the Monte Carlo simulation assuming triangular probability distributions of the variables price (range: US\$ 30·m⁻³ to US\$ 50·m⁻³, mean: US\$ 35·m⁻³) and discount rate (range: 7.9 to 9.6 %, mean: 8.7 %) for the profitability of the *Eucalyptus globulus* plantation.

Indicador financiero / Financial indicator	Corrida financiera determinística* (referencia)/ Deterministic financial run* (reference)				Corrida financiera estocástica (pronóstico)/ Stochastic financial run (forecast)			
Tratamientos / Treatments								
	Línea base / Baseline (Benchmark)				Simulación de Montecarlo (10,000 iteraciones) / Monte Carlo simulation (10,000 iterations)			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
VAN / NPV (US\$.ha ⁻¹)	330	270	319	322	553	507	574	594
TIR / IRR (%)	10.1	9.7	9.9	9.8	10.8	10.5	10.7	10.6
VES / ELV (US\$.ha ⁻¹)	584	477	564	570	983	903	1,020	1,056

T1 = 1,000 árboles·ha⁻¹; T2 = 1,428 árboles·ha⁻¹; T3 = 1,667 árboles·ha⁻¹; T4 = 2,000 árboles·ha⁻¹.

VAN: Valor actual neto, VES: Valor económico del suelo, TIR: Tasa interna de retorno.

(*) Indicadores obtenidos de la evaluación económica-financiera de cada proyecto.

T1 = 1,000 trees·ha⁻¹; T2 = 1,428 trees·ha⁻¹; T3 = 1,667 trees·ha⁻¹; T4 = 2,000 trees·ha⁻¹.

NPV: Net present value, ELV: Economic land value, IRR: Internal rate of return.

(*) Indicators obtained from the economic-financial assessment of each project.

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

En la Figura 4 se observa una correlación positiva de 0.94 del precio respecto del VAN. La Tc presenta una correlación negativa con el VAN mostrando valores en torno a -0.30. Whittock, Greaves, y Apiolaza (2004) coinciden en que el precio es uno de los factores que más afectan los pronósticos de rentabilidad, con correlaciones en el rango de 0.52 a 0.58, y para la Tc, correlaciones negativas que varían de -0.21 a -0.16.

El Cuadro 4 concentra los indicadores financieros obtenidos del flujo financiero de cada proyecto, los cuales son determinísticos y son la referencia (los llamados “benchmark” o “línea base”) en torno a los cuales se comparan los obtenidos con las simulaciones de Montecarlo. Los indicadores financieros al asumir una distribución de probabilidad son estocásticos.

CONCLUSIONES

Las plantaciones de *E. globulus* con fines pulpables resultaron ser rentables para todas las densidades de plantación estudiadas. No obstante, la simulación de Montecarlo per-

variable on the discount rate in crop profitability. The results obtained allow suggesting that care must be taken to efficiently use plantation practices, such as soil management, weed control and fertilization, as they have a significant influence on a project's financial flow. It should be understood that definite profitability analysis must be made on the total size of the project and not be analyzed only per hectare, because depending on the area to plant there may be economies of scale effects that can make profitability per hectare misleading.

End of English Version

mitió demostrar que es posible disminuir el riesgo de inversión si se opta por establecer plantaciones con menor densidad. Sin embargo, para densidades menores a las estudiadas ($1,100 \text{ árboles} \cdot \text{ha}^{-1}$) no se podría señalar lo mismo y, por lo tanto, habría que realizar las evaluaciones correspondientes en cada nivel. El análisis estocástico evidenció la importancia de la variable precio 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; es decir, manejo de suelos, control de malezas y fertilización, ya que influyen de manera importante en el flujo financiero del proyecto. Se debe considerar que el análisis de rentabilidad definitivo debe hacerse sobre la dimensión total del proyecto y no analizarse solamente por hectárea, pues dependiendo de la superficie a plantar puede haber efectos derivados de las economías de escala que hacen que la rentabilidad por hectárea pueda ser engañosa.

REFERENCIAS

- Amram, M., & Kulatilaka, N. (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*, 47, 123–144. Obtenido de http://www.etfrn.org/etfrn/newsletter/news4748/nl47_oip_21.htm#up
- Bailey, R. (1986). Rotation age and establishment density for planted slash and loblolly pines. *Southern Journal of Applied Forestry*, 10, 162–168.
- Brealey, R., Myers, S., & Allen, F. (2006). *Principles of corporate finance (8th ed.)*. Boston, USA: McGraw-Hill. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/7273322/Principles-of-Corporate-Finance>
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2002). *Estudio agroecológico de la IX Región*. Santiago, Chile: Autor.
- Chacón, I. (1995). *Decisiones económico financieras en el manejo forestal. Ciencia y tecnología*. Talca, Chile: Universidad de Talca.
- Díaz-Balteiro, M., & Rodríguez, L. (2007). Análisis no determinista del turno óptimo en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. *Boletín del CIDEU*, 3, 139–143. Obtenido de <http://www.uhu.es/cideu/Boletin/Boletin3/BolInf3CIDEU139-143.pdf>
- Geldres, E., & Schlatter, J. (2004). Crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* sobre suelos rojo arcillosos de la provincial de Osorno, Décima Región. *Bosque*, 25(1), 95–101. doi: 10.4067/S0717-92002004000100008
- Guerra, E., Herrera, M., & Drake, F. (2010). Efecto de los sistemas de riego en la rentabilidad de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). *Agrociencia*, 44, 99–107. Obtenido de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2010/ene-feb/art-10.pdf>
- Hänninen, R., Mutanen, A., & Toppinen, A. (2006). *Puuntarjonta Suomessa-aluetason ekonometrinen tarkastelu 1983-2004*. Finland: Forest Research Institute. Obtenido de <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2006/mwp029.pdf>
- Instituto Forestal (INFOR). (1995). *Primeros resultados en un ensayo de espaciamiento, poda y raleo con Eucalyptus globulus en Constitución (VII Región)*. Santiago, Chile: División Ordenación Forestal e Inventarios.
- Instituto Forestal-Corporación de Fomento de la Producción (INFOR-CORFO). (1991). *Eucalyptus. Principios de silvicultura y manejo*. Santiago, Chile: División Ordenación Forestal.
- Jobet, J. (1999). Efecto del espaciamiento inicial sobre el crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus nitens* plantado en suelos de trumao. *Silvotecnica*, 12, 80–104.
- Kongsom, C., & Munn, I. (2003). Optimal rotation of *Eucalyptus camaldulensis* plantations in Thailand based on financial return and risk. *Thai Journal of Forestry*, 22, 29–35. Obtenido de <http://sofew.cfr.msstate.edu/papers/0246kongsom.pdf>
- Laborde, P. (2004). Métodos prácticos de determinación de tasa de descuento. Diario financiero. Management. *Finanzas para emprendedores*, 11, 10–13.
- Martínez, R., Azpiroz, H., Rodríguez, J., Cetina, V., & Gutiérrez, M. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *Ra Ximhai*, 2, 815–846. Obtenido de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/6903>
- Ministerio de Agricultura de Chile (MINAGRI). (1974). *Decreto Ley 701 sobre fomento forestal*. Santiago, Chile: Autor.
- Miranda, I., Almeida, M., & Pereira, H. (2000). Provenance and site variation of wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. at harvest age and its relation to a non-destructive early assessment. *Forest Ecology and Management* 149, 235–240. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00560-0
- Montagu, K., Kearney, D., & Smith, G. (2003). *Pruning eucalypts: The biology and silviculture of clear wood production in planted eucalypts*. Australia: Rural Industries Research and Development Corporation.
- ORACLE (2012). *Oracle Crystal Ball 11.1*. Obtenido de <http://www.oracle.com/technetwork/middleware/crystalball/downloads/index.html>
- Sapag, N. (2003). *Preparación y evaluación de proyectos (3a ed.)*. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill Interamericana S. A.
- Whitlock, S., Greaves, B., & Apiolaza, L. (2004). A cash flow model to compare coppice and genetically improved seedling options for *Eucalyptus globulus* pulpwood plantations. *Forest Ecology and Management*, 191(1-3), 267–274. doi: 10.1016/j.foreco.2003.12.013