

RENTABILIDAD DE LA FERTILIZACIÓN AL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE *Eucalyptus globulus*

PROFITABILITY OF FERTILIZATION AT ESTABLISHMENT OF *Eucalyptus globulus* PLANTATIONS

Emilio Guerra¹, Miguel Ángel Herrera² y Fernando Drake²

¹Escuela de Ciencias Forestales, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco. Casilla 15-D. Temuco, Chile. (eguerra@uct.cl). ²Universidad de Córdoba, Córdoba, España. (mherrera@uco.es) (fdrake@udec.cl)

RESUMEN

La aplicación de fertilizantes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill es importante para aumentar su productividad. Por tanto, 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 (N₅₀P₅₀); T2 (N₁₀₀P₁₀₀); T3 (N₂₀₀P₁₀₀); T4 (N₂₀₀P₂₀₀); T5 (N₃₀₀P₂₀₀); T6 (N₃₀₀P₄₀₀); T7 (N₃₀₀P₄₀₀ + K₂O); T8 (N₃₀₀P₄₀₀ + FGC); y un testigo T0 (N₀P₀). 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 potencial del suelo, VPS). 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⁻¹ y US\$ 530 ha⁻¹ para T3 y T1, donde la fertilización produjo un aumento de US\$ 415 ha⁻¹ y US\$ 228 ha⁻¹. Se concluye que al aplicar bajas dosis de fertilización (T3 y T1), se obtienen aumentos en la productividad y rentabilidad del cultivo; pero aumentar la 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 de las plantas en vivero y

Recibido: Octubre, 2006. Aprobado: Agosto, 2007.

Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 41: 797-804. 2007.

ABSTRACT

Application of fertilizers in plantations of *Eucalyptus globulus* Labill plantations is essential for increasing productivity. Thus, the economic feasibility of nitrogen and phosphorus fertilizer dosage at establishment was determined in a five-year-old plantation in coastal sector of the VIII Region of Chile. The treatments (T) were T1 (N₅₀P₅₀); T2 (N₁₀₀P₁₀₀); T3 (N₂₀₀P₁₀₀); T4 (N₂₀₀P₂₀₀); T5 (N₃₀₀P₂₀₀); T6 (N₃₀₀P₄₀₀); T7 (N₃₀₀P₄₀₀ + K₂O); T8 (N₃₀₀P₄₀₀ + FGC); and a control T0 (N₀P₀). The variables projected to the age of harvest were volumetric growth of the trees and profitability (net present value, NPV; internal rate of return, IRR; potential land value, PLV). Significant differences ($p \leq 0.05$; Tukey) were found for all of the variables studied. The best treatments in volumetric growth at harvest were T3 and T8. As for profitability, the best NPV values were US\$ 717 ha⁻¹ and US\$530 ha⁻¹ for T3 and T1, where the fertilization produced an increase of US \$415 ha⁻¹ and US\$ 228 ha⁻¹. It is concluded that applying low dosages of fertilization (T3 and T1), increases in productivity and profitability of the crop are achieved; but increasing fertilization dosages would decrease profitability.

Key words: *Eucalyptus globulus*, Chile, forest nutrition, fertilization profitability.

INTRODUCTION

Increasing productivity in the establishment of *Eucalyptus globulus* Labill plantations is affected by silvicultural techniques that are aimed at obtaining high yields in short rotations. Of these techniques, fertilization is that which permits better use of soil resources, and its timely application is critical in obtaining an optimal response (Turner, 1982). According to Ruiz *et al.* (2001), fertilization is the most efficient technique in accelerating growth and increasing survival of the plant both in nursery and established in the field. It is recommended that fertilization schemes be adjusted in function of the plantation's requirements, aiming for a balance with operational application techniques, which would reduce losses of elements through volatilization,

de las establecidas en el campo. Es conveniente ajustar los esquemas de fertilización en función de los requerimientos de la plantación, buscando un equilibrio con las técnicas operacionales de aplicación, lo cual reduciría 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). Al aumentar la edad de los eucaliptos es menor la exigencia nutricional (Ruiz *et al.*, 2001). Además, fertilizaciones repetidas mejorarían la nutrición y el crecimiento de los eucaliptos sobre suelos pobres y poco profundos, junto con una preparación adecuadas del terreno (Merino *et al.*, 2003). Según Misra *et al.* (1998), la mayor respuesta se obtiene con nitrógeno (N), mientras que el fósforo (P) produce un efecto menor en el crecimiento; en conjunto, estos elementos aumentarían la biomasa aérea. En un ensayo con *Eucalyptus nitens*, Turnbull *et al.* (1997) encontraron diferencias significativas fertilizando 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 1428 plantas ha⁻¹, con espaciamiento de 2 m entre plantas y 3.5 m entre hileras. Los fertilizantes usados fueron: superfosfato triple (46% P₂O₅), urea (46% N) y sulphomag (22% K₂O). 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, 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 m×21 m (336 m²), donde se evaluó el efecto de la fertilización con N y P sobre el crecimiento de los árboles. Las variables medidas 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

leaching, immobilization and erosion (Aparicio *et al.*, 2001).

Better results have been achieved when fertilization is applied during the first six months of plantation; application a year later has minimum or no effect at all (Schönau *et al.*, 1984). Older eucalyptus stands have lower nutritional demands (Ruiz *et al.*, 2001). Furthermore, repeated fertilizations, together with appropriate preparation of the terrain, would improve nutrition and growth of eucalyptus planted in poor, shallow soils (Merino *et al.*, 2003). According to Misra *et al.* (1998), the greatest response is obtained with nitrogen (N), while phosphorus (P) produces a smaller effect on growth. Together, these elements would increase aerial biomass. In a test with *Eucalyptus nitens*, Turnbull *et al.* (1997) found significant differences when they fertilized with high rates of N and P. In Botadura, VII Region, Chile, the mixture of NPK caused a favorable reaction in eucalyptus and all of the fertilized plots accumulated 15 to 50 times more biomass than the non-treated plots (INFOR-CORFO, 1991). These significant increases in growth rates permit harvesting commercial-size segments in less time and thus increase future incomes (Moore *et al.*, 1998). Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of eight dosages of fertilizer on volumetric growth to harvesting age (year 10) and on costs and benefits to determine the profitability in the establishment of eucalyptus plantations on the coast of the VIII Region of Chile. The hypothesis was that the application of fertilizer during establishment increases profitability of eucalyptus plantations.

MATERIALS AND METHODS

A plantation established manually in August 1998 was used. Density of the plantation was standardized at 1428 plants ha⁻¹ with spacing of 2 m between plants and 3.5 m between rows. The fertilizers used were triple superphosphate (46% P₂O₅), urea (46% N) and sulphomag (22% K₂O). The mixtures of fertilizers were applied in two 60 cm bands 15 cm from the plant core and 20 cm deep, except for N, which was cast in a ring on the surface. Evaluation was conducted in the fifth year (September 2003). Plots 16 m×21 m (336 m²) were delimited where the effect of N and P fertilization on tree growth was evaluated. The variables measured were breast height diameter (BHD) and total height (HT); the base area (G) and volume (VOL) were calculated.

After analyzing response to fertilization, growth was projected to harvest (year 10). For the projection and the calculation of commercial pulpwood volume, the Eucalyptus simulator (Eucasim), facilitated by the company Forestal y Agrícola Monteaguila S.A. (FAMASA S.A.) was used.

The experimental design was complete random blocks with nine treatments and four replications (Table 1). A one-factor analysis of

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 Monteágula S.A. (FAMASA S.A.).

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

Cálculo de la productividad y evaluación financiera

La productividad se calculó según FONDEF (1997):

$$VOL (m^3) = 0.00756 + 0.0000297 * DAP^2 * HT \tag{1}$$

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 potencial del suelo (VPS), usando un flujo de proyecto. La tasa de descuento (Tc) se calculó con la siguiente ecuación:

$$Tc = rf + \beta[E(Rm) - rf] \tag{2}$$

donde, rf = rendimiento del activo sin riesgo; $E(Rm)$ = rendimiento esperado del mercado durante el periodo de tiempo considerado; $[E(Rm) - rf]$ = valor de la prima de riesgo que rige en el mercado. β 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

Cuadro 1. Dosis de fertilización (tratamientos, T), año de aplicación y el total de aplicación por tratamiento. Table 1. Fertilizer dosages (treatments, T), year of application and total application per treatment.

| T | Dosis | Año 0 (kg ha ⁻¹) | | Año 1 (kg ha ⁻¹) | | Año 2 (kg ha ⁻¹) | | Total tres años | |
|---|--|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | N | P ₂ O ₅ | N | P ₂ O ₅ | N | P ₂ O ₅ |
| 0 | N ₀ P ₀ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | N ₅₀ P ₅₀ | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 |
| 2 | N ₁₀₀ P ₁₀₀ | 50 | 100 | 50 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 3 | N ₂₀₀ P ₁₀₀ | 50 | 100 | 100 | 0 | 50 | 0 | 200 | 100 |
| 4 | N ₂₀₀ P ₂₀₀ | 50 | 100 | 100 | 100 | 50 | 0 | 200 | 200 |
| 5 | N ₃₀₀ P ₂₀₀ | 50 | 100 | 100 | 100 | 50 | 100 | 200 | 300 |
| 6 | N ₃₀₀ P ₄₀₀ | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 300 | 400 |
| 7 | N ₃₀₀ P ₄₀₀ + K ₂ O | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 300 | 400 |
| 8 | N ₃₀₀ P ₄₀₀ + FGC [†] | 100 | 200 | 100 | 100 | 100 | 100 | 300 | 400 |

[†]FGC: Formulación general completa: mezcla de micronutrientes esenciales (como MgO, S, B, Zn y Cu), aplicada para que la ausencia de alguno de ellos no enmascare la respuesta a los nutrientes evaluados.

Fuente: FONDEF, 2002.

variance (ANOVA) was performed and the means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$) using JPM 5.0.1 software.

Calculation of productivity and economic evaluation

Productivity was calculated following FONDEF (1997):

$$VOL (m^3) = 0.00756 + 0.0000297 * BHD^2 * HT \tag{1}$$

To determine pulpwood volume the discount factor of 5.8% was applied (FAMASA S.A.).

Profitability was evaluated using the indicators net present value (NPV), internal rate of return (IRR), potential land value (PLV), using a project flow. The deduction rate (Tc) was calculated with the following formula:

$$Tc = rf + \beta[E(Rm) - rf] \tag{2}$$

where, rf = riskless active yield; $E(Rm)$ = expected market yield during the period of time considered; $[E(Rm) - rf]$ = prevailing market value of risk insurance. β was determined using monthly closing prices of Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones S.A. (CMPC) stock and the Índice Selectivo del Precio de las Acciones (IPSA-Selective Stock Price Index) of the last 60 months.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of growth variables

Results for growth variables with dosages of fertilization after five years of establishment are shown in Table 2. BHD varied from 12.6 to 15.6 cm; HT from 18 to 20 m; G ranged between 23 and 31 m² ha⁻¹ and VOL between 157 and 237 m³ ha⁻¹. The maximum volumetric

Análisis de las variables de crecimiento

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las variables de crecimiento para las dosis de fertilización después de cinco años de establecimiento. El DAP varió de 12.6 a 15.6 cm; la HT de 18 a 20 m; el G de 23 a 31 m² ha⁻¹ y el VOL de 157 a 237 m³ ha⁻¹. La máxima diferencia volumétrica fue 80 m³ ha⁻¹ 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 N₂₀₀P₁₀₀ (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 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 *et al.*, 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 Gonzáles (1997), la respuesta al P es factible con 4 ppm P-Olsen y en este suelo había 1.6 ppm P-Olsen. Respecto a lo señalado por Cromer *et al.* (2002), en este estudio el resultado fue mejor con 200 kg ha⁻¹ N, o sea, 100 kg ha⁻¹ menor a lo indicado por esos autores.

Según Puentes *et al.* (2002), en sitios costeros de la VIII Región las tasas de fertilización deben ser más

difference was 80 m³ ha⁻¹ between treatments T0 and T3. Thus, the best response was achieved with this dosage of fertilization.

The best dosages of fertilizer ($p \leq 0.05$) were those of treatments T3 and T7 for BHD; T3, T6, T7, and T8 for HT; T3, T7 and T8 for G; T3 and T8 for VOL. The dosage N₂₀₀P₁₀₀ (T3) was repeated among the best results for the four variables, giving statistical support to the high volumetric values found. The best results were achieved with continuous application of fertilizers during the first two years, confirming response to fertilization in plantation growth. However, the best dosage was T3 since a lower amount of fertilizer was applied and results were not significantly different from T8 results.

This response to fertilization was expected since plantations in better quality sites, such as the case under study, demand a larger quantity of nutrients to generate better response (Puentes and Sáez, 2001) and, therefore, need to be fertilized in accordance to that demand (Cromer, 2002). Likewise, favorable response to fertilization with phosphorus was expected due to the importance of applying this element at the plantation phase of the tree's development (INFOR, 1991). According to Gonzales (1997), the response to P is feasible at 4 ppm P-Olsen and in this soil there were 1.6 ppm P-Olsen. Compared with the report of Cromer *et al.* (2002), this study obtained better results with 200 kg ha⁻¹ N, that is, 100 kg ha⁻¹ less than that indicated by these authors.

According to Puentes *et al.* (2002), in coastal sites of the VIII Region the fertilization rates should be higher to obtain better response, coinciding with the observations of this study regarding the good quality of the site. The demand generated by growth of a plantation is not covered by the supply from soils of the coastal drylands of the IX Region (Suárez *et al.*, 1997). This predicts a favorable response to fertilization and also to re-fertilization in these good quality sites since to achieve these growth rates, the plants demand

Cuadro 2. Variables de crecimiento para las dosis de fertilización después de cinco años de establecimiento.

Table 2. Growth variables for the dosages of fertilization after five years of establishment.

| T _i ha ⁻¹) | Dosis | DAP promedio (cm) | HT promedio (m) | G total (m ² ha ⁻¹) | VOL promedio (m ³) |
|--------------------------------------|---|-------------------|-----------------|--|--------------------------------|
| 0 | N ₀ P ₀ | 12.7 | 18 | 24 | 157 |
| 1 | N ₅₀ P ₅₀ | 12.6 | 19 | 23 | 172 |
| 2 | N ₁₀₀ P ₁₀₀ | 14.6 | 18 | 27 | 186 |
| 3 | N ₂₀₀ P ₁₀₀ | 15.6 | 20 | 30 | 237 |
| 4 | N ₂₀₀ P ₂₀₀ | 14.4 | 19 | 28 | 206 |
| 5 | N ₃₀₀ P ₂₀₀ | 15.0 | 19 | 29 | 209 |
| 6 | N ₃₀₀ P ₄₀₀ | 14.3 | 20 | 29 | 220 |
| 7 | N ₃₀₀ P ₄₀₀ +K ₂ O | 15.2 | 20 | 31 | 229 |
| 8 | N ₃₀₀ P ₄₀₀ +FGC | 14.6 | 20 | 30 | 234 |

DAP = diámetro a la altura del pecho; HT = altura total; G = área basal; VOL = volumen.

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 tales 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 resultados proyectado a la edad de cosecha de 10 años (Cuadro 3), los tratamientos T3 y T8 tuvieron los mejores resultados (476 y 477 m³ ha⁻¹), con diferencias de hasta 128 m³ ha⁻¹ respecto al testigo T0 (349 m³ ha⁻¹). Ésto indicaría que las diferencias (80 m³ ha⁻¹) al momento de la evaluación (año 5) aumentarían en la cosecha.

En la Figura 1 se observa la evolución del crecimiento acumulado; la diferencia volumétrica entre los tratamientos en los primeros años aumenta con el tiempo. En la Figura 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 m³ ha⁻¹ año⁻¹ entre estos dos grupos.

Análisis de rentabilidad de las dosis de fertilización en 10 años

Para el análisis de rentabilidad se usaron las tasas de descuento (Tc) calculadas mediante la ecuación (2) de 8.69%, y las tasas de referencia de la industria forestal chilena (8 y 10%). Con los datos de los costos (Cuadro 3) durante la evaluación y el cálculo de los ingresos por la venta de madera susceptible de convertirse en pulpa (US\$35 m³), se calculó la rentabilidad de cada tratamiento.

En el Cuadro 4 se presenta la rentabilidad del proyecto de plantación para cada tratamiento, según VAN, TIR y VPS, para las tasas de descuento. El tratamiento

greater quantity of nutrients than that provided by the soil.

Volumetric projection to the harvest year

According to the analysis of results projected to the harvest age of 10 years (Table 3), treatments T3 and T8 had the best results (476 and 477 m³ ha⁻¹) with differences of up to 128 m³ ha⁻¹ as compared to the control T0 (349 m³ ha⁻¹). This would indicate that the differences (80 m³ ha⁻¹) at evaluation (year 5) would be greater at harvest.

In Figure 1 the evolution of accumulated growth can be observed. The volumetric difference among the treatments in the first years increases over time. In Figure 2 it is shown annual growth, the maximum occurring between years 3 and 4. Most of the treatments caused maximum growth in similar periods, but there is a difference in annual growth. Thus, treatments T3 and T8 had the highest rates, while T2 and T0 had the lowest, with differences of up to 20 m³ ha⁻¹ year⁻¹ between these two groups.

Analysis of profitability of the fertilizer dosage in 10 years

For the analysis of profitability, deduction rates (Tc) calculated with equation (2) at 8.69% were used, as well as the reference rates of the Chilean forest industry (8 and 10%). With the cost data (Table 3) during the evaluation and calculation of incomes from the sale of pulpwood (US\$ 35 m³), profitability of each treatment was calculated.

The profitability of the plantation project for each treatment, according to NPV, IRR and PLV, for the deduction rates is presented in Table 4. The treatment producing the highest profitability was T3, with a NPV of US\$ 717 ha⁻¹, IRR of 11.4% and PLV of US\$ 2.768 ha⁻¹. Treatment T8 had a larger volume at harvest age, but profitability is lower than that of the control. This is relevant because traditional silviculturists obtain a high volume of biomass per unit of area without considering associated costs. In this case, it was shown that larger volumes do not always assure higher profits.

As Tc is increased there is a decrease in the

Cuadro 3. Volumen (m³ ha⁻¹) proyectado para los tratamientos al año de cosecha (año 10) y costo total de establecimiento y fertilización para los tratamientos.

Table 3. Volume (m³ ha⁻¹) projected for treatments to harvest year (year 10) and total cost of establishment and fertilization for the treatments.

| Ttratamientos | 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 | 1037 | 1150 | 1204 | 1258 | 1356 | 1373 | 1627 |

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⁻¹ y 100 kg P ha⁻¹. Los resultados volumétricos se relacionan con la ubicación geográfica, que es una de las mejores de Chile para establecer 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).

LITERATURA CITADA

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.

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 For.* 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. Comisión Nacional Investigación Ciencia y Tecnología, Gobierno de Chile. 283 p.

FONDEF (Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico). 2002. Informe Final: 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. Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, Gobierno de Chile. 45 p.

González, L. 1997. El Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) gigante de Australia en México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Disponible en Internet <http://www.zaragoza.unam.mx/investigaciones/EUCALIPTO.doc>. Consultado en abril 2005.

INFOR (Instituto Forestal). 1991. *Eucalyptus*. Principios de Silvicultural

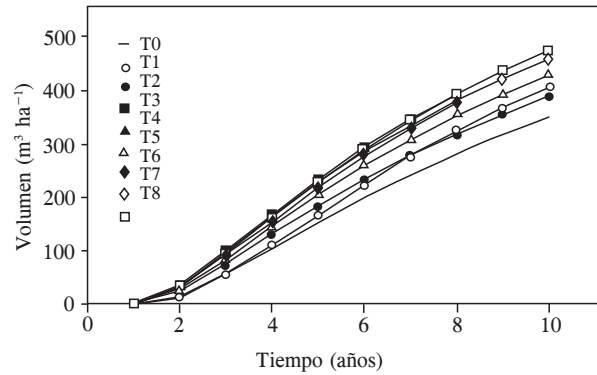


Figura 1. Proyección del crecimiento en volumen acumulado (m³ ha⁻¹) a los 10 años para los tratamientos.

Figure 1. Projection of growth in accumulated volume (m³ ha⁻¹) to 10 years for the treatments.

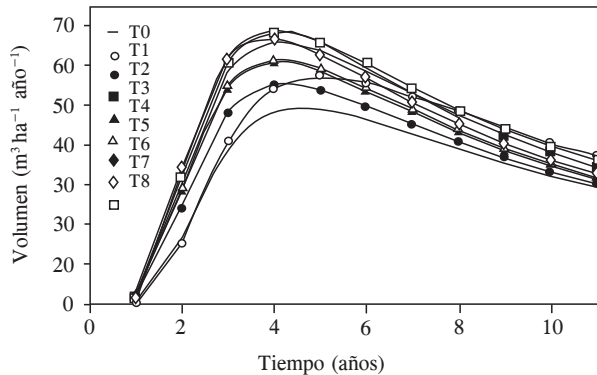


Figura 2. Crecimiento volumétrico corriente (m³ ha⁻¹ año⁻¹), para los tratamientos.

Figure 2. Running volumetric growth (m³ ha⁻¹ year⁻¹) for the treatments.

profitability of the project, due to an inverse relationship. If different rates are used there is a variation in the magnitude of the results, but there is no change in the hierarchy of the places regarding the profitability indicators.

Later analyses refer only to NPV since the other

Cuadro 4. Rentabilidad del proyecto de plantación, para cada tratamiento (Ti), según VAN, TIR y VPS, para las tasas de descuento. Table 4. Profitability of the plantation project for each treatment (Ti), according to NPV, IRR and VPS, for deduction rates.

| Indicador | Tratamientos | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------|
| | T0 (N ₀ P ₀) | T1 (N ₅₀ P ₃₀) | T2 (N ₁₀₀ P ₁₀₀) | T3 (N ₂₀₀ P ₁₀₀) | T4 (N ₂₀₀ P ₂₀₀) | T5 (N ₂₀₀ P ₃₀₀) | T6 (N ₃₀₀ P ₄₀₀) | T7 (N ₃₀₀ P ₄₀₀ + K ₂ O) | T8 (N ₃₀₀ P ₄₀₀ + FGC) | |
| VAN(US\$ha ⁻¹) | 8% | 472 | 723 | 486 | 934 | 559 | 554 | 636 | 610 | 477 |
| | 10% | 11 | 200 | -14 | 345 | 26 | 15 | 68 | 43 | -108 |
| | 8,69% | 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 | |
| VPS(US\$ha ⁻¹) | 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 |
| | 8,69% | 2,034 | 2,439 | 2,033 | 2,768 | 2,142 | 2,129 | 2,255 | 2,209 | 1,962 |

con la más alta rentabilidad fue T3, con un VAN de 717 US\$ ha⁻¹, una TIR de 11,4% y un VPS de 2.768 US\$ ha⁻¹. 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 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 no 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 N₁₀₀P₁₀₀ y N₃₀₀P₄₀₀+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 es con T3 (200 kg N ha⁻¹ y 100 kg P ha⁻¹).

Para la dosis T3 se realizó un análisis de sensibilidad del precio, con valores de US\$ 30 m⁻³ y US\$ 40 m⁻³ de madera susceptible de convertirse en pulpa. Los resultados muestran que para un precio de US\$ 30 m⁻³ la rentabilidad cae a US\$ -140 ha⁻¹ (8.69%), aunque al invertir en esta alternativa se logra un valor incremental de US\$ 187 ha⁻¹ (8.69%) con respecto al tratamiento testigo que también es negativo. Con el precio de US\$ 40 m⁻³, la rentabilidad aumenta a US\$ 1574 ha⁻¹, esto es un incremento de US\$ 642 ha⁻¹ con respecto a la alternativa de no invertir.

Es necesario resaltar que la fertilización, para la dosis N₂₀₀P₁₀₀ explica US\$ 415 ha⁻¹ de los US\$ 717 ha⁻¹ que obtiene el proyecto, ésto es 58% de los retornos obtenidos. Si la inversión en fertilizantes para la dosis N₂₀₀P₁₀₀ es US\$ 350 ha⁻¹ y el ingreso es US\$ 415 ha⁻¹, el retorno es US\$ 1.18 ha⁻¹ 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⁻³ en el precio de la madera causaría un aumento de poco más de 50% en la rentabilidad.

indicators are complementary. Thus, the treatments were classified on the basis of the profitability achieved. It was seen that plantations should not be fertilized with N₁₀₀P₁₀₀ and N₃₀₀P₄₀₀+FGC since, even with the investment in fertilizer, profitability would be lower than with the alternative of not fertilizing. This coincides with Cromer *et al.* (2002), who state that in good quality sites increasing fertilization dosage results in positive profitability, although this decreases considerably. It can be concluded that the best fertilization dosage is with T3 (200 kg N ha⁻¹ and 100 kg P ha⁻¹).

For the T3 dosage, an analysis of price sensitivity was performed with values of US\$ 30 m⁻³ and US\$ 40 m⁻³ of pulpwood. The results show that for the price of US\$ 30 m⁻³ profitability falls to US\$ -140 ha⁻¹ (8.69%), although investing in this alternative achieves an incremental value of US\$187 ha⁻¹ (8.69%) with respect to the control treatment, which is also negative. With the price of US\$ 40 m⁻³, profitability increases to US\$ 1574 ha⁻¹, an increase of US\$ 642 ha⁻¹ over the alternative of not investing.

It is necessary to note that fertilization, for the dosage of N₂₀₀P₁₀₀, explains US\$ 415 ha⁻¹ of the US\$ 717 ha⁻¹ obtained by the project; this is 58% of the returns obtained. If investment in fertilizers for the dose N₂₀₀P₁₀₀ is US\$35 ha⁻¹ and income is US\$ 415 ha⁻¹, then the return is US\$ 1.18 ha⁻¹ for every dollar invested.

If the current increasing trend in the price of cellulose continues, it is expected that this rise is finally transmitted to the price of wood converted into pulp. Thus, with this regime of fertilization, plantation projects would be favored because an increase of US\$ 5 m⁻³ in the price of wood would cause an increase of a little over 50% in profitability.

CONCLUSIONS

The best fertilization dosage in volumetric and profitability results is treatment 3, that is the application of 200 kg N ha⁻² and 100 kg P ha⁻¹. Volumetric results are related to geographic location of the site studied, which is one of the best in Chile for establishing eucalyptus.

According to the economic analysis, it is recommended that a low dosage of fertilizer be applied. Increasing dosages in these projects could reduce profitability.

—End of the English version—



- tura y Manejo. Santiago, Chile. 199 p.
- Merino, A., A. Lopez, J. Branas, and R. Rodriguez. 2003. Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. *Ann. For. Sc.* 60 (6): 509-517.
- Misra R., R. Turnbull, A. Cromer, A. Gibbons, and A. LaSala. 1998. Below - and above - ground growth of *Eucalyptus nitens* in a young plantation. I. Biomass. *For. Ecol. Manag.* 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 non industrial private forest landowners. Washington State University Cooperative Extension. Pullman, Washington. 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. 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, 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. 9 p.
- Schönau, A., C. Schutz, and A. Van Laer. 1984. Symposium on site and productivity of fast growing plantations. Pretoria. 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. 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 For.* 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.