

EFFECTO 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^{1*}, Miguel Á. Herrera², Fernando Drake³

¹Universidad Católica de Temuco. Casilla 15-D. Temuco, Chile (eguerra@uct.cl). ²Universidad de Córdoba. Córdoba, España (mherrera@uco.es). ³Universidad 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⁻³ ssc. El VAN fue 989 US\$ ha⁻¹ y 1106 US\$ ha⁻¹, el VES fue 2152 y 2406 US\$ ha⁻¹, 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.

ABSTRACT

Irrigation is used increasingly in establishment of forest plantations in order to increase growth and productivity. The effect on profitability of a eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) plantation in the Central Valley of the Bío Bío Region, Chile, of three irrigation systems was studied: microsprinklers (T1), drip irrigation (T2) and surface irrigation (T3). The variable projected to harvest age was the volumetric increase of the trees. To calculate costs of T1 and T2, a database was used of 200 agricultural operations of varying size where these systems were installed and implemented. For T3, current costs of construction and maintenance of the structures required were used for financial evaluation. Profitability was determined using net present value (NPV), potential land value (PLV) and modified internal return rate (MIRR). Profitability with T1 and T2 had negative values; that is, these irrigation techniques did not generate economic benefits. Surface irrigation (T3) was profitable for the volume projected to eight and ten years harvest age. The greatest returns were obtained with the three indicators using a discount rate of 8 % and a price of pulp wood of US\$ 32 m⁻³ ssc. NPV was US\$ 989 ha⁻¹ and US\$ 1106 ha⁻¹; PLV was US\$ 2152 and 2406 ha⁻¹, and MIRR was 10.4 % and 10.1 %. These results justify the use of surface irrigation (T3) as an efficient technique in the integrated management of a high-producing eucalyptus plantation.

Key words: eucalyptus, plantation profitability, forest irrigation.

INTRODUCTION

Water is necessary to satisfy requirements of plant growth (transpiration, cell elongation, metabolism, etc.) and for transport of nutrients in the process of absorption

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Noviembre, 2008. Aprobado: Agosto, 2009.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 99-107. 2010.

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.*, 2004a). Además, el requerimiento de agua por *Eucalyptus 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 Gonçalves *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 (*Eucalyptus 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* × *E. urophylla*, el volumen aumentó 52 % (Stape *et al.*, 2004b), y hasta 44 m³ ha⁻¹ 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

by roots (Honorato, 2000). Periods of stress caused by prolonged drought decrease foliage of the tree crown (Worledge *et al.*, 1998) and, consequently, result in loss of productivity. In temperate regions, lack of water can provoke the death of a plantation (Mummery and Battaglia, 2001). In dry zones, insufficient water limits the growth of a forest plantation and can reduce total volume (Stape *et al.*, 2004a), while satisfying the water requirements of a species of eucalyptus, such as *Eucalyptus globulus*, is directly related to its rapid initial growth (Myers *et al.*, 1996).

The availability of water in the first year of establishment is the factor that determines survival and development of species used in reforestation (Keizer *et al.*, 2005). Furthermore, supplying water and mineral nutrients in function of the needs of the plants has a greater effect on the production of biomass, compared with either irrigation or fertilization alone (Araújo *et al.*, 1989). Madeira *et al.* (2002) indicate that water is the limiting factor in biomass accumulation, although its effect is more accentuated in eucalyptus roots. According to Gonçalves *et al.* (2004), this is due to deficiencies of K, which is in direct relationship with water balance in trees and which increases water use efficiency under stress.

In Chile, it was observed in trials in the dry coastal region of Bío Bío that water is the main limiting factor of growth in eucalyptus (FONDEF, 2003). In areas covered by *E. grandis* × *E. urophylla* clones, volume increased 52 % (Stape *et al.*, 2004b) and up to 44 m³ ha⁻¹ yearly in plantations of *E. globulus* (Santelices, 2005) by effect of irrigation.

Irrigation with microsprinklers supplies water in the form of fine spray through devices that atomize the water with air; in this way water reaches the soil homogeneously (Pizarro, 1996). Drip irrigation consists of wetting only the part of the soil volume where roots obtain water and nutrients (Pizarro, 1996). In surface irrigation, the liquid flows by gravity and is distributed on the soil surface. It is applied in laminar form wetting the entire surface or in parallel ditches in which water infiltrates through the bottom and sides without wetting the entire surface of the soil (Fuentes, 1996). The objective of this study was to determine the effect of applying these three systems of irrigation on the profitability of a eucalyptus plantation, projected to harvest ages.

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 1666 plantas ha⁻¹, 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 P₂O₅ y 3 g B; la dosis y la técnica de aplicación correspondieron a las indicadas por el Proyecto FONDEF D0I1140 (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 (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.

The hypothesis was that the application of irrigation during establishment would increase profitability of the eucalyptus plantations.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted on a plantation of *E. globulus* Labill located in the community of Casas Quemadas, Sector Aguada Chumulco, Bío Bío region, Chile, property of Forestal Mininco S. A. The plantation was established in August 2004 with a density of 1666 plants ha⁻¹ spaced 2 m apart in rows separated by 3 m. Soil was prepared using a subsoil plow, which reached a depth of 60 cm, leaving a mound 1 to 1.5 m wide. Weed control was done manually before planting and twice, once manually and once chemically, after planting. Each plant was fertilized with 25 g N, 50 g P₂O₅, and 3 g B; the dosage and application technique were those indicated by the FONDEF D0I1140 Project (2003). The plantation is situated in an area with dryland characteristics; terrain is homogeneous with rolling topography of low hills and slopes of less than 2 %. Soil is Vertisol with deficient internal drainage. The climatic conditions of the region (FAO, 1981) cause severe water stress during the dry season.

Three irrigation systems were evaluated: microsprinklers (T1) drip irrigation (T2), and surface irrigation (T3). The experimental design was randomized blocks, represented by three blocks of three replications; each block corresponded to a specific system. The sampling unit had 40 plants distributed in four rows of 10 plants each; in each row the 16 central plants, surrounded by a peripheral buffer line of plants, were measured.

Calculation and projection of volume

During 2004, 2005, 2006, and 2007, the variables diameter at breast height (DBH) and total height (HT) were measured to calculate volume (VOL) of the individual trees using the following function adjusted for the particular place and species:

$$\text{VOL (m}^3\text{ ssc)}=0.0017+0.0000313*\text{DAP}^2*\text{HT} \quad (1)$$

To calculate the volumes at eight and ten years of age, for maximum productivity under conditions of irrigation, the projection was performed with a eucalyptus growth simulator, property of the enterprise Forestal Mininco S.A.

Net present value (NPV)

The NPV criterion is obtained by the difference between benefits and updated values of costs using the following formula:

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 $VAN > 0$ 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.

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

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:

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

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.

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

where B_j is the benefit in year j expressed in US\$; C_j is the cost in year j expressed in US\$; r is the age of rotation expressed in years; i is the discount rate expressed in decimals. Given that benefits has a positive sign and costs a negative sign, the decision is good if $NPV > 0$ and bad if $NPV < 0$. Brealey (2001) states that the NPV criterion is accepted by economists and is the most suitable method for calculating the benefits of any project.

Potential land value (PLV)

PLV calculates the profitability of the project for infinite crop rotations, a common situation in forestry in Chile where the law requires reforestation of harvested land (MINAGRI, 1974). This is a very useful indicator to determine the maximum amount of money that an investor would be willing to pay for land destined to have infinite rotations.

The definition of PLV corresponds to the same concept of economic value of any capital good, which in practical terms is the current value of all future net benefits generated by the land (Chacón, 1995). In this way, the PLV for infinite rotations of forest species plantation is:

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

where B_j in the benefit obtained in year j expressed in US\$; C_j is the cost in year j expressed in US\$; r in the rotation age expressed in years; i is the discount rate expressed in decimals.

Modified internal rate of return (MIRR)

The determination of a MIRR is possible only when a negative balance or series of negative balances follows an uninterrupted succession of positive balances. When the evaluated financial flows are heterogeneous, as in forestry projects, this indicator generates multiple solutions that limit its use in decision-making. For the solution of this restriction, Kierulff (2008) states that MIRR is the most adequate indicator for evaluating heterogeneous flows. Conceptually, MIRR converts the original heterogeneous financial flow into a homogeneous one, updating all of the costs to a rate of financing and capitalizes the entirety of the incomes to a rate of reinvestment (Biondi, 2006). The rate of financing used (6 % annual) was that corresponding to the cost applied by the financial institutions for projects of investment in forestry in Chile.

Conceptualmente, la TIR_m 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; β 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 TIR_m corresponde a la tasa que hace al VAN igual a cero (Brealey *et al.*, 2006; Hartman y Schaftrick, 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⁻³ssc) y tasas 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 m³ ssc ha⁻¹ para T1, T2 y T3; y 454, 463 y 496 m³ ssc ha⁻¹ 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 m³ ssc ha⁻¹ a los ocho años y 356 m³ ssc ha⁻¹ 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 5403, 4664 y 1451 US\$ ha⁻¹. El valor terminal de la inversión se

Regarding the calculation of the rate of reinvestment, Laborde (2004) points out that there are numerous models, but three are the most frequently used: the model internal rate of return of corporative bonds plus premium for risk, the dividend discount model, and the CAPM (capital asset pricing model, or model of financial actives valuation). This last model was used in this study and is calculated in the following manner:

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

where i is the discount rate in decimals; rf is the risk-free rate; β is the systematic risk of the forestry sector; $E(Rm)$ is the expected market return. The resulting rate for the forestry industry in Chile was 10 %.

The calculated MIRR is that which makes NPV equal to zero (Brealey *et al.*, 2006; Hartman and Schaftrick, 2004). If MIRR is compared with the discount rates used to sensitize NPV, the following is the decision criterion: if MIRR is equal to or greater than the discount rate, the project should be accepted, and if it is less, it should be rejected (Sapag, 2003).

For analysis of the sensitivity of the profitability indicators presented, the variables rotation age (eight and ten years); price of pulp wood (US\$ 26, 29 and 32 m⁻³ssc); 8 and 10 % discount rates.

RESULTS AND DISCUSSION

Projection of volume to time of harvest

The volumes resulting from the projections to harvest age of eight years were 343, 333, and 364 m³ ssc ha⁻¹ and 454, 463 and 496 m³ ssc ha⁻¹ at ten years for T1, T2 and T3. These values are higher than those obtained in the FONDEF project (2003) without irrigation: 269 m³ ssc ha⁻¹ to eight years and 356 m³ ssc ha⁻¹ to ten years (values projected in the EUCASIM simulator). This reveals the effect of irrigation in the generation of biomass volume.

The total costs of the T1, T2, and T3 systems in a plantation of *E. globulus* were US\$ 5403, 4664 and 1451 ha⁻¹. The end value of the investment was obtained with the different scenarios generated by the combination of the variables rotation age and price of pulp wood (Table 1).

Once the information required for the evaluation was collected, profitability for each treatment was calculated.

obtuvo con los diferentes escenarios generados por la combinación de las variables edad de rotación y precio de la madera pulpable (Cuadro 1). Una vez recopilada la información requerida para la evaluación, se calculó la rentabilidad para cada tratamiento.

Análisis financiero

Los resultados obtenidos al utilizar el VAN se muestran en el Cuadro 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⁻¹ para precios de 26, 29 y 32 US\$ m⁻³ 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

Financial analysis

The results obtained using NPV are shown in Table 2. Profitability of the microsprinkler and drip irrigation systems is negative, revealing that these techniques of water application do not generate economic benefits but rather cause losses. The surface irrigation system was profitable at eight years harvest age at the three prices of pulp wood evaluated, obtaining a NPV of US\$ 14, 502, and 989 ha⁻¹ for the prices US\$ 26, 29, and 32 m⁻³ ssc and a discount rate of 8 %. Furthermore, it was observed that if the discount rate is increased to 10 % for an eight-year rotation, T3 is profitable only at the highest price considered in the evaluation (US\$ 32 m⁻³ ssc).

Table 3 presents the results obtained using the PLV indicator; it can be observed that PLV is negative for microsprinkler and drip irrigation systems. The highest value would be paid for 1 ha

Cuadro 1. Valor terminal de la inversión (US\$ ha⁻¹) obtenido con la aplicación con sistema de riego por microaspersión, goteo y surco.

Table 1. Terminal value of investment in US\$ h⁻¹ obtained with microsprinkler, drip and surface irrigation systems.

Edad (años)	Precio (US\$ m ⁻³ ssc)	Microaspersión (T1)	Goteo (T2)	Surco (T3)
		Ingresos totales (US\$ ha ⁻¹)		
8	26	7634	7418	9595
8	29	8488	8248	10498
8	32	9342	9077	11401
10	26	9173	8932	11275
10	29	10354	10084	12511
10	32	11535	11237	13747

Cuadro 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.

Table 2. Current net value (NPV) in US\$ ha⁻¹ for volumes obtained considering the installation and implementation costs of microsprinkler, drip and surface irrigation systems.

Precio (US\$ m ⁻³ ssc)	Tasa (%)	Microaspersión (T1)		Goteo (T2)		Surco (T3)	
		Rotación (años)					
		8	10	8	10	8	10
26	8	-3636	-3543	-4529	-2594	14	-39
29	8	-3175	-2996	-4081	-3898	502	534
32	8	-2713	-2449	-3633	-3364	989	1106
26	10	-4297	-4349	-5136	-5180	-684	-900
29	10	-3899	-3893	-4749	-4735	-263	-423
32	10	-3500	-3438	-4362	-4291	159	53

en la evaluación (32 US\$ m⁻³ ssc). Al evaluar la rentabilidad con relación a la edad de rotación, a los diez años, T3 alcanza el mayor valor del VAN (1106 US\$ ha⁻¹) para un precio de la madera pulpable de 32 US\$ m⁻³ ssc.

En el Cuadro 3 se observan los resultados obtenidos al utilizar el 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 2406 US\$ ha⁻¹, 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⁻³ ssc y a una tasa de descuento de 8 %, coincidiendo con el mayor VAN. Le sigue el valor de renta de 2152 US\$ ha⁻¹, que coincide con el segundo VAN más alto pero a una rotación de ocho años.

Langholtz *et al.* (2006) reportan para *E. amplifolia*, valores de VES de 762 a 6507 US\$ ha⁻¹ 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

planted in this soil with surface irrigation, US\$ 2405 ha⁻¹, which is the option with the highest PLV, that is, a ten-year rotation at a price for wood pulp of US\$ 32 m⁻³ ssc and a discount rate of 8 %, coinciding with the highest NPV. This is followed by the rent value of US\$ 2152 ha⁻¹, which coincides with the second highest NPV, but for a rotation of eight years.

Langholtz *et al.* (2006) report, for *E. amplifolia*, PLV values of US\$ 762 to US\$ 6507 ha⁻¹ with real discount rates of 10 and 14 %. These values are not far from those obtained in our analysis, suggesting that the efficiency of the establishment activities, relative to the obtained returns, is similar to those obtained in Chile for a species of the same genus.

According to Rodríguez *et al.* (2006), the higher the price, the shorter the optimal period of rotation. However, in our case, contrary to the habitual comparative analysis, rotation time increases in the measure that prices increase. This is explained by the fact that the forest continues to grow to an optimum at an older age, and as the prices increase the difference becomes more notable. Although at a 10 % discount rate at the highest price (US\$ 32 m⁻³ ssc) it is more recommendable to harvest at eight years. A tendency to lengthen rotation time is observed when the price increases.

The best result for MIRR was 10.4 % (Table 4), obtained for the surface irrigation system at a rotation age of 10 years and a wood pulp price at US\$ 32 m⁻³ ssc, coinciding with the highest NPV and PLV values.

Cuadro 3. Valor económico del suelo (VES) en US\$ ha⁻¹ para volúmenes obtenidos según el costo de instalación e implementación de un sistema de riego por microaspersión, goteo y surco.

Table 3. Economic land value (PLV) in US\$ ha⁻¹ for volumes obtained considering costs of installation and implementation of microsprinkler, drip and surface irrigation systems.

Precio (US\$ m ⁻³ ssc)	Tasa (%)	Microaspersión (T1)		Goteo (T2)		Surco (T3)	
		Rotación (años)					
		8	10	8	10	8	10
26	8	-7909	-7706	-9852	-5641	30	-84
29	8	-6905	-6516	-8878	-8478	1091	1161
32	8	-5902	-5327	-7903	-7316	2152	2406
26	10	-8055	-8151	-9626	-9709	-1282	-1686
29	10	-7308	-7298	-8901	-8876	-492	-793
32	10	-6561	-6444	-8176	-8043	297	100

(32 US\$ m⁻³ 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 % (Cuadro 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⁻³ ssc, coincidiendo con los valores más altos de VAN y VES.

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⁻³ ssc. El VAN conseguido fue 989 y 1106 US\$ ha⁻¹. El VES fue 2152 y 2406 US\$ ha⁻¹, 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 D011140, Desarrollo de sistemas de riego destinado, a aumentar la productividad en plantaciones de Eucalipto.

CONCLUSIONS

Microsprinkler and drip irrigation applied to eucalyptus plantations located in the Central Valley of the Bío Bío Region of Chile is not profitable due to the high costs of investment and implementation of the systems. Of the 12 evaluations of surface irrigation, seven were profitable. The best results were obtained with eight and ten-year rotations at a discount rate of 8 % and a pulp wood price of US\$ 32 m⁻³ ssc. The NPV obtained was US\$ 989 ha⁻¹ and US\$ 1106 ha⁻¹. PLV was US\$ 2152 and US\$ 2406 ha⁻¹, while MIRR was 10.4 and 10.1 %, indicating that surface irrigation is a profitable practice for the integrated management of a high-production eucalyptus plantation.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- 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 *Eucalyptus 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 Eur. J. the History of Econ. Thought 13(3): 311-335.
- Brealey, R. 2001. Principios de Finanzas Corporativas. Quinta Edición. Editorial Mc Graw Hill. Madrid, España. 805 p.
- Brealey, R., S. Myers, and F. Allen. 2006. Principles of Corporate Finance (8th ed.). Boston: McGraw-Hill/Irwin. 131 p.

Cuadro 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.

Table 4. Modified internal rate of return (MIRR) for volumes obtained considering costs of installation and implementation of microsprinkler, drip and surface irrigation systems.

Precio (US\$ m ⁻³ ssc)	Tasa (%)	Microaspersión (T1)		Goteo (T2)		Surco (T3)	
		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 %

- 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. 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. 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. Laclub, P. Smethurst, and J. Gavad. 2004. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *For. Ecol. Manage.* 193: 45-61.
- Hartman, C., and C. Schafrick. 2004. The relevant internal rate of return. *The Eng. Econ.* 49(2): 139-158.
- Honorato, R. 2000. Manual de Edafología. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. Ediciones Universidad Católica de 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. *Aust. J. Soil Res.* 43: 251-259.
- Laborde, P. 2004. Métodos prácticos de determinación de tasa de descuento. *Diario Financiero. Management. Finanzas para Emprendedores* 11: 10-13.
- Langholtz, M., D. Carter, 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.* 8 p.
- Madeira, M., Fabiao, A., Pereira, J., M. Araujo, and C. Ribeiro. 2002. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. plantations induced by different water and nutrient availability. *For. Ecol. Manage.* 171: 75-85.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura de Chile). 1974. Decreto Ley 701 sobre Fomento Forestal, Chile. 18 p.
- Mummery, D., and M. Battaglia. 2001. Applying PROMOD spatially across Tasmania with sensitivity analysis to screen for prospective *Eucalyptus globulus* plantation sites. *For. Ecol. Manage.* 140: 51-63.
- Myers, B., S. Theiveyanathan, 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 Mundi-Prensa. Madrid. España. 220 p.
- Rodríguez C., y L. Díaz-Balteiro. 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 (Valdivia)* 26(3): 105-112.
- Sapag, N. 2003. Preparación y Evaluación de Proyectos. 3ª Edición. Editorial McGraw Hill Interamericana, S. A. Ciudad de México, D. F., México. 404 p.
- Stape, J., D. Binkley, y M. Ryan. 2004a. Utilización del agua, limitación hídrica y eficiencia del uso del agua en una plantación de *Eucalyptus*. *Bosque (Valdivia)* 25(2): 35-41.
- Stape, J., D. Binkley, M. Ryan, and A. Gomes. 2004b. Water use, water limitation, and water use efficiency in a *Eucalyptus* plantation. *Bosque (Valdivia)* 25(2): 35-41.
- Worledge, D., J. Honeysett, 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.