

## Efecto de fertilización y cobertura de malezas en el crecimiento inicial y la mortalidad de una plantación de *Nothofagus dombeyi* en la Cordillera de Los Andes

Effects of fertilization doses and weed cover on the initial growth and mortality of a *Nothofagus dombeyi* plantation in the Valdivian Andes

Pablo J Donoso<sup>a\*</sup>, Víctor Gerding<sup>a</sup>, Daniel Uteau<sup>a</sup>, Daniel P Soto<sup>a</sup>, Oscar Thiers<sup>a</sup>, Claudio Donoso<sup>a</sup>

\*Autor de correspondencia: <sup>a</sup>Universidad Austral de Chile, Instituto de Silvicultura, casilla 567, Valdivia, Chile, pdonoso@uach.cl

### SUMMARY

*Nothofagus dombeyi* is one of the fastest growing Chilean native tree species, has an ample distribution range and adapts well to a great variety of site conditions. In this study the objective was to evaluate the effect of fertilization and weeds in the initial development of a *N. dombeyi* plantation. The plantation was established at 620 m in the Andes of Valdivia, in a marginal site condition for many other native and exotic species, with 1-0 plants grown in containers in the city of Valdivia. A random block design with three replications per fertilizer treatment was used, which included four fertilizer doses (0, 55, 110 y 160 g plant<sup>-1</sup>) and three levels of weed cover ( $\leq 35\%$ ,  $> 35$  y  $\leq 70\%$  y  $> 70\%$ ), and was evaluated through two-way Analyses of Variance. We concluded that plants had a better response with the intermediate fertilizer dosis, that weed cover did not significantly affect growth or mortality of the plants, and that there was a significant interaction of fertilizer doses and weed cover, since with low levels of weed cover there was a positive response of plants to increasing fertilizer, an effect that was not observed with high weed cover. Results suggest the usefulness of fertilizers and weed control at intermediate intensities.

**Key words:** productivity factor, survival, weed control, accompanying vegetation, forestation with native species.

### RESUMEN

*Nothofagus dombeyi* es una de las especies forestales nativas de Chile de mejor crecimiento, tiene un amplio rango de distribución y se adapta a una gran variedad de sitios. En este estudio el objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización y las malezas en el desarrollo inicial de una plantación de *N. dombeyi*. La plantación fue establecida a los 620 m de altitud en la Cordillera de Los Andes de la provincia de Valdivia, en condiciones de sitio marginales para muchas otras especies nativas y exóticas, con plantas 1-0 de raíz cubierta producidas en la ciudad de Valdivia. El diseño utilizado en el ensayo fue de bloques al azar con tres repeticiones para la evaluación de fertilización, que incluyó cuatro niveles o dosis (0, 55, 110 y 160 g planta<sup>-1</sup>) y tres niveles de cobertura de malezas ( $\leq 35\%$ ,  $> 35$  y  $\leq 70\%$  y  $> 70\%$ ), y fue evaluado a través de Análisis de Varianza de dos vías. Se concluyó que las plantas respondieron mejor a la dosis intermedia de fertilizante, que la cobertura de maleza no afectó significativamente al crecimiento ni a la sobrevivencia de las plantas, y que hubo una interacción significativa del fertilizante con la maleza, ya que con niveles bajos de maleza la respuesta de las plantas a la fertilización fue positiva, no así con coberturas altas de maleza. Los resultados sugieren la utilidad de usar fertilizante y controlar la maleza en intensidades intermedias.

**Palabras clave:** factor de productividad, sobrevivencia, control de malezas, vegetación acompañante, forestación con especies nativas.

### INTRODUCCIÓN

Algunas especies del género *Nothofagus* son conocidas por su buen crecimiento en Chile, ya sea en renovales (Donoso *et al.* 1993ab, 1999a, Grosse y Quiroz 1999, Silva 2003, Echeverría y Lara 2004) como en plantaciones (Donoso *et al.* 1993b, 1999b). No obstante, pocos reportes existen de plantaciones de *N. dombeyi* (Mirb.) Oerst, que es una de las especies forestales nativas de más rápido crecimiento en Chile (Donoso *et al.* 1993b, 1999a). Donoso *et al.* (2005) informan de plantaciones de esta especie en la Cordillera de Los Andes de Valdivia, efectuadas con plantas

trasplantadas del bosque, y en la Depresión Intermedia con plantas a raíz desnuda de dos años. Ninguna de estas plantaciones incluyó control de malezas ni fertilización, dos actividades que se consideran importantes para lograr un buen establecimiento y crecimiento inicial (Duryea y Dougherty 1991). En general, hay desconocimiento en la actualidad acerca de plantaciones de *N. dombeyi* en la Cordillera de Los Andes, del efecto de una fertilización temprana en éstas, y del desarrollo de plantas en contenedor, en contraste con plantas a raíz desnuda.

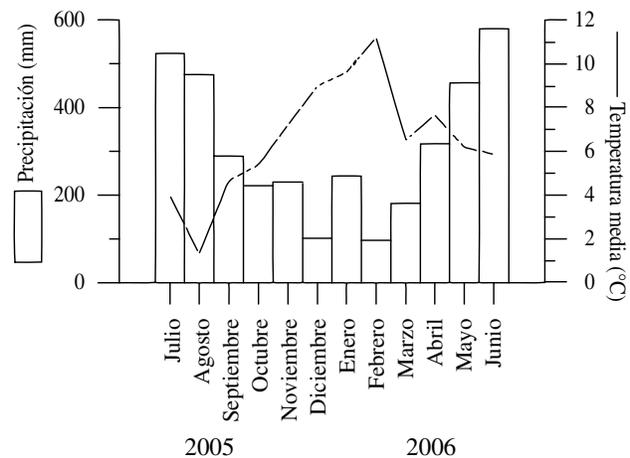
La fertilización al establecimiento es una práctica común en plantaciones de rápido crecimiento, y su fin es

umentar la productividad forestal del sitio. Sin embargo, la fertilización debe ser prescrita de acuerdo a la oferta de nutrientes del suelo y a la potencial demanda de la plantación (Rodríguez 1993, Álvarez *et al.* 1999). Una fertilización excesiva, por ejemplo, puede generar daño radicular por toxicidad (Duryea y Dougherty 1991). Por su parte, en general la vegetación acompañante debe ser controlada ya que de otra forma, si ésta actúa como maleza, puede anular el efecto positivo de una fertilización (Gerding *et al.* 1986, Duryea y Dougherty 1991). Aunque la fertilización y el control de malezas deben considerarse en conjunto y requieren de técnicas adecuadas para obtener una sinergia de sus potencialidades, la maleza en ciertas ocasiones puede no comportarse como tal sino que más bien como vegetación acompañante, y tener múltiples efectos positivos sobre el desarrollo inicial de las plantas de especies arbóreas tales como moderar las temperaturas a nivel del suelo, reducir las tasas de descomposición de especies, reducir pérdidas por evapotranspiración, servir de almacenaje de nutrientes y liberar nutrientes cuando esta vegetación muere (Donoso y Nyland 2006). En función de lo anterior, es aparente la necesidad de evaluar apropiadamente la magnitud y conveniencia de fertilizar y controlar la vegetación acompañante en plantaciones con especies nuevas y en sitios sin experiencias previas, ello en el marco de un manejo integrado de la vegetación, es decir, con el objetivo de minimizar las intervenciones y reducir costos en forma efectiva (Wagner 1994).

Una definición de pautas técnicas para un adecuado establecimiento de *N. dombeyi* podría aumentar considerablemente el potencial de esta especie para expandir sus plantaciones en el centro sur de Chile. Al tratarse de una especie que se adapta adecuadamente a una gran diversidad de condiciones de sitio (Donoso *et al.* 2004, 2006), *N. dombeyi* es una especie de alto potencial para ser usada en programas de forestación en la Cordillera de Los Andes. Sobre 500 m de elevación en la zona centro sur andina las plantaciones forestales son marginales, y entre las especies con posibilidades para adaptarse y crecer adecuadamente en estas condiciones se encuentra *N. dombeyi*, especie que en esta región crece hasta aproximadamente los 1.000 m de elevación (Donoso *et al.* 2006). El objetivo inicial de este trabajo fue evaluar el efecto de distintas dosis de fertilización en el crecimiento y la mortalidad de una plantación de *N. dombeyi* en la Cordillera de Los Andes efectuada con plantas en contenedor, una vez finalizado el primer período vegetativo de crecimiento. Sin embargo, producto de que en este estudio hubo control inicial de malezas, pero su resultado fue variable y por ello de todas formas hubo cobertura de vegetación acompañante durante el período de crecimiento, también se planteó como objetivo evaluar el efecto de la cobertura de la vegetación acompañante sobre el crecimiento y la mortalidad, así como el efecto de la interacción de la fertilización y la cobertura de malezas.

## MÉTODOS

**Área de estudio.** El ensayo se realizó en el predio San Pablo de Tregua (39°35' S y 72°05' O), de la Universidad Austral de Chile, ubicado a 620 m de elevación en la Cordillera de Los Andes de la provincia de Valdivia, utilizando una pradera de 0,8 ha con pendientes inferiores a 25° y exposición predominantemente sur. La pluviometría varía entre 3.000 y 4.000 mm anuales, concentrándose en los meses de junio a agosto, pero generalmente no hay más de un mes seco durante el verano. La temperatura media anual varía entre 4 y 8 °C, presentando 11 °C como temperatura media del mes más cálido (febrero) y de 1 °C en el mes más frío (agosto) (Neira 2005). El número de días por año con heladas es de 40 a 50, concentrándose entre agosto y septiembre (Neira 2005, figura 1). Durante el período de crecimiento (primavera y verano del 2005 al 2006) las temperaturas mínimas a nivel del suelo fueron muy bajas. En octubre, casi todos los días hubo temperaturas menores a 0 °C, alcanzando hasta -7 °C; durante noviembre y diciembre se registraron cuatro heladas por mes, en enero hubo seis, en febrero una y en marzo nueve (figura 2).

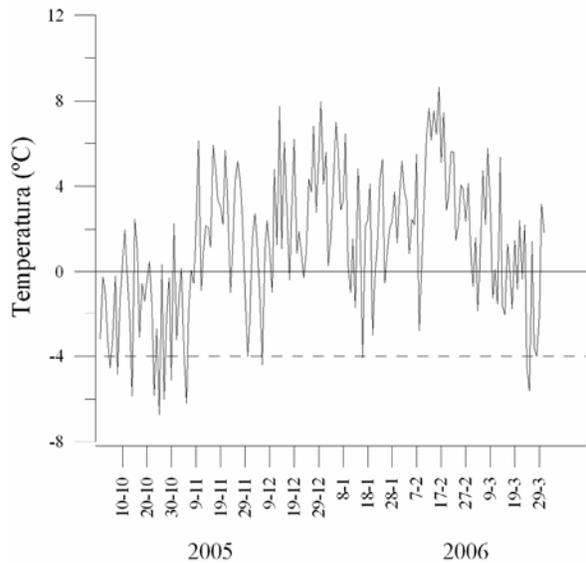


**Figura 1.** Perfil ombrotérmico para el predio San Pablo de Tregua desde julio-2005 a junio-2006.

Ombrothermic profile for San Pablo de Tregua from July-2005 to June-2006.

El suelo pertenece a la serie Liquiñe (Acrudoxic hapludand), originado de cenizas volcánicas recientes sobre pumicita (CIREN 1999). Se trata de un suelo profundo con textura franca en todo el perfil, más rico en arena fina en superficie y más arcilloso en profundidad. Presenta densidad aparente baja (< 0,6 g cm<sup>-3</sup>), muy alta capacidad de agua aprovechable (> 250 mm en 1 m de profundidad) y estructura de agregados subpoliédricos débilmente formada en superficie, variando a masiva en profundidad.

La caracterización química del suelo superficial (0-20 cm) se realizó en el Laboratorio de Nutrición y Suelos



**Figura 2.** Temperaturas mínimas registradas entre los meses octubre-2005 y marzo-2006. Línea punteada indica temperatura mínima soportada por *N. dombeyi* durante los meses de verano.

Minimum temperatures recorded between October 2005 and March 2006. Dotted lines indicate the minimum temperature that *N. dombeyi* can resist during summer months.

Forestales de la Universidad Austral de Chile, a través de una muestra compuesta de tres submuestras del área de estudio, e incluyó: pH en agua, la acidez de intercambio mediante pH en KCl 0,1 N, carbono total por oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico, nitrógeno total por destilación Kjeldahl, fósforo disponible en extracto Olsen; sodio, potasio, calcio, magnesio y aluminio extraíbles en acetato de amonio a pH 4,8; hierro, manganeso, cobre y zinc extraíbles en acetato de amonio-DPTA a pH 4,8; azufre (S-sulfato) en extracto de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ; aluminio intercambiable en KCl 1M y boro en extracto  $\text{CaCl}_2$  0,15% a ebullición por 5 minutos (cuadro 1).

El suelo es fuertemente ácido, muy rico en materia orgánica y nitrógeno total, con adecuada relación C/N, y pobre en bases extraíbles y en fósforo disponible. Presenta contenidos altos de hierro y azufre, medios de cobre, zinc y boro y bajos de manganeso. Muestra muy altos niveles de aluminio extraíble y de saturación de aluminio. Es decir, se estima una alta capacidad de fijación de fósforo del suelo y toxicidad para las raíces. La diferencia de valores de pH (en agua - en KCl) indica un potencial moderado de acidificación del suelo y la presencia de cargas variables en el suelo (Broquen *et al.* 2005) (cuadro 1).

**Descripción de plantas y de la plantación.** Las plantas fueron producidas en el vivero Bosques del Sur de la Universidad Austral de Chile, en la ciudad de Valdivia, a partir de semilla procedente de San Pablo de Tregua que fue sembrada en contenedores de poliestireno expandido de 130 cm<sup>3</sup> de capacidad, en sustrato de corteza compos-

**Cuadro 1.** Características químicas del suelo (0-20 cm) en el área de estudio.

Soil chemical characteristics (0-20 cm) in the study area.

Variable	Media ± S	Variable	Media ± S
pH - H <sub>2</sub> O	5,24 ± 0,10	SB (cmol+ 100 g <sup>-1</sup> )*	1,1 ± 0,2
pH - KCl	4,51 ± 0,04	Al - KCl (mg kg <sup>-1</sup> )	96 ± 16
C total (%)	11,3 ± 1,0	Saturación de Al (%)	49 ± 6
N total (%)	0,97 ± 0,07	C/N	11,6 ± 0,3
P	3,5 ± 0,6	Fe	281 ± 33
K	101 ± 18	Mn	6,4 ± 0,7
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	99 ± 29	Cu	4,7 ± 0,9
Mg	30 ± 5	Zn	1,9 ± 0,5
Na	23 ± 6	B	0,5 ± 0,1
Al	5.528 ± 221	S	16 ± 1

\*Suma de bases.

tada de *Pinus radiata* D. Don y fertilizado con 5 kg de Osmocote® (18-6-12) por metro cúbico. Las plantas fueron sembradas a partir del 1 y del 2 de septiembre de 2004 en invernadero y trasladadas a la zona de endurecimiento del vivero en diciembre del mismo año.

Durante la cuarta semana de octubre del año 2005 se realizaron faenas de limpieza y confección de tazas de 40 cm de radio con cultivo del suelo, el cual consistió en remover y limpiar aproximadamente 5 cm de la superficie, es decir, el pasto y sus raicillas principales. La plantación fue realizada durante la primera semana de noviembre con líneas orientadas en curvas de nivel, a un espaciamiento de 2 m entre líneas y 3 m en la línea. Se efectuó control químico de malezas (principalmente *Holcus lanatus* L., Poacea) y vegetación arbórea baja (principalmente *Embothrium coccineum* J.R. *et* G. Foster., Proteaceae) con posterioridad a la plantación. Este control se efectuó con 4 L ha<sup>-1</sup> de glifosato y 3,5 L ha<sup>-1</sup> de simazina, con bomba de espalda y boquilla de aspersión de espuma, previniendo de no aplicar sobre las plantas de *N. dombeyi*. Sin embargo, este control fue sólo parcialmente efectivo, ya que al final de la primera temporada de crecimiento la cobertura media de malezas por planta fue de 70%.

**Diseño de investigación, mediciones y análisis.** El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente al azar. Se usó un diseño de bloques debido al posible efecto de las variaciones del terreno sobre el crecimiento de las plantas. Se establecieron tres bloques de 192 plantas cada uno, y en cada uno cuatro parcelas de 48 plantas, cada una correspondiente a un tratamiento de fertilización, una parcela testigo

sin fertilización (T0) y tres parcelas con tres dosis distintas de fertilización. Se evaluó la competencia de malezas dentro de cada taza. Horizontalmente se estimó el porcentaje de la superficie cubierta por malezas y se agruparon los porcentajes de cobertura en tres clases:  $\leq 35\%$ ,  $> 35$  a  $\leq 70\%$  y  $> 70\%$  (cobertura baja, media y alta, respectivamente).

La fertilización se efectuó dos semanas después de la plantación utilizando una mezcla de fertilizante en cantidades de 55, 110 y 160 g planta<sup>-1</sup>, compuesta por urea (46% de N), superfosfato triple (20% de P) y muriato de potasio (50% de K). La equivalencia de dosis por elemento fue la siguiente (g planta<sup>-1</sup>): tratamiento T1 = 9,2 N + 6 P + 2,5 K; tratamiento T2 = 18,4 N + 12 P + 5 K; y tratamiento T3 = 27,6 N + 18 P + 5 K. La dosis de fertilización de T1 fue calculada a través del método racional (Rodríguez 1993, Álvarez *et al.* 1999) considerando la oferta del suelo según la caracterización química de éste (cuadro 1) y la demanda de la plantación en función del crecimiento esperado con un criterio conservador. No obstante, se incluyeron las otras dos dosis mayores para investigar la reacción de la plantación a un estímulo nutricional adicional mayor a lo estimado como necesario desde el punto de vista del balance oferta/demanda para el primer período vegetativo. Los fertilizantes se aplicaron en la primera semana de diciembre en dos bandas paralelas de 30 cm de largo, a 15 cm de distancia de la planta, y 5 cm de profundidad para evitar pérdidas por volatilización y escurrimiento superficial (Rodríguez *et al.* 2001).

La plantación se efectuó con plantas que tenían en promedio 4,2 mm de diámetro a la altura del cuello (DAC) y 0,43 m de altura total (AT), no habiendo diferencias significativas en el tamaño de las plantas entre los distintos tratamientos ( $P > 0,05$  en ambos casos). Las mismas variables se volvieron a medir al finalizar la primera temporada de crecimiento (primera semana de mayo 2006), y con ellas se estimó el factor de productividad (FP, cm<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup>), que es el resultado de  $DAC^2 * AT/100$  (Ibáñez *et al.* 2004).

La normalidad de los datos se verificó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad con la prueba de Levene. Se hizo un Análisis de Varianza (ANDEVA) para un diseño en bloques completamente al azar que consideró el factor fertilización con cuatro niveles y el factor cobertura con tres niveles. Para el análisis de los datos de sobrevivencia en porcentaje se utilizó la transformación arcoseno de la raíz (Pezzutti y Caldato, 2004). En caso de ANDEVA significativo (valor de probabilidad  $P < 0,05$ ), se utilizó la prueba de Tukey para la separación de medias (Sokal y Rohlf 1995).

## RESULTADOS

Considerando las dimensiones promedio iniciales de las plantas de 4,2 mm de DAC y 0,43 m de AT, se deduce que las plantas de *N. dombeyi* crecieron en una temporada entre 3 y 4 mm en DAC y 0,3 y 0,4 m en

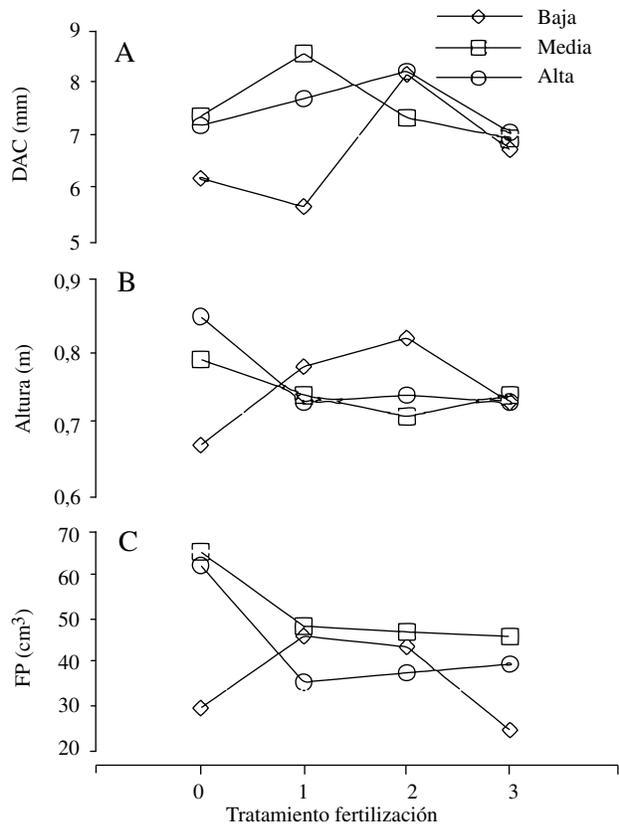
altura. Finalizada la primera temporada de crecimiento, la fertilización afectó significativamente el diámetro a la altura del cuello (DAC) y el factor de productividad (FP), pero no la altura total (AT) (cuadro 2). A pesar de ello, las tres variables lograron sus mayores valores con el T2, es decir, la dosis intermedia de fertilización, y los menores valores en el tratamiento sin fertilización (T0) y aquel con la mayor dosis de fertilización (T3). La cobertura de malezas no afectó significativamente el crecimiento de las plantas, pero la interacción de ésta con la fertilización fue altamente significativa para las variables DAC y FP (cuadro 2). Esta interacción se ilustra en la figura 3. En el caso del DAC, con niveles bajos de cobertura de malezas, los tratamientos de fertilización más fuerte (T2 y T3) fueron aquellos con los cuales se lograron mayores crecimientos. Pero con niveles medio y alto de cobertura de malezas, la situación se revirtió, es decir, los crecimientos más altos se lograron en los tratamientos con la dosis baja y media de fertilizante. En el caso de la AT, la situación fue similar, ya que con un bajo nivel de cobertura de malezas los crecimientos más altos ocurrieron en las plantas fertilizadas, particularmente en aquellas con la dosis intermedia de fertilización, mientras que con niveles intermedios y altos de cobertura de malezas los crecimientos mayores ocurrieron en plantas sin fertilización. Los resultados de FP fueron una consecuencia de los dos anteriores, con tendencias similares a aquellas para la AT: las plantas con mayor crecimiento fueron aquellas con niveles medios y altos de cobertura de malezas sin fertilizante, y en el caso de plantas con baja cobertura de malezas, aquellas con niveles bajo y medio de fertilizante.

**Cuadro 2.** Valores medios y niveles de significancia para tratamientos de fertilización, coberturas de maleza e interacción.

Mean values and significance levels for each fertilizer treatment, for weed cover, and for the interaction of these factors.

	Nivel	DAC (mm)	AT (m)	FP (cm <sup>3</sup> )	Sobrevivencia (%)
Fertilización	0	6,9 ± 1,7b	0,73 ± 14	40 ± 23c	53 ± 26
	1	7,6 ± 2,1a	0,75 ± 17	49 ± 37b	68 ± 7
	2	8,1 ± 1,8a	0,82 ± 19	59 ± 34a	79 ± 29
	3	6,7 ± 1,7b	0,73 ± 14	38 ± 20c	67 ± 5
		**	ns	*	ns
Maleza	1	6,9 ± 1,6	0,72 ± 15	38 ± 22	65
	2	7,5 ± 1,8	0,74 ± 16	47 ± 33	66
	3	7,7 ± 1,8	0,79 ± 17	51 ± 30	70
		ns	ns	ns	ns
FxM		***	ns	**	ns

DAC: diámetro de cuello; AT: altura total; FP: factor de productividad. \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ; \*\*\* =  $P < 0,001$ ; ns = no significativo. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre medias según la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ).



**Figura 3.** Efecto de los tratamientos de fertilización bajo distintos niveles de cobertura de maleza (baja:  $\leq 35\%$ , media:  $> 35$  a  $\leq 70\%$  y alta:  $> 70\%$ ). A) DAC: diámetro de cuello, B) altura total, C) FP: factor de productividad.

Fertilization effects under three weed cover levels. A) Diameter at root collar, B) Height, C) Productivity factor.

La sobrevivencia no mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P = 0,536$ ), entre coberturas de maleza ( $P = 0,069$ ) ni para la interacción ( $P = 0,063$ ). Aun así puede notarse un mayor porcentaje promedio de sobrevivencia para el T2 y una tendencia a aumentar el porcentaje a medida que aumenta la cobertura de malezas.

## DISCUSIÓN

La generación de opciones exitosas para plantaciones forestales en altitudes medias a elevadas (500 a 1.000 m de elevación) de la Cordillera de Los Andes es una necesidad para forestar o restaurar terrenos forestales fuertemente alterados o degradados en esta Cordillera, en los cuales las plantaciones ayudarían a dar mayor valor a estas tierras además de contribuir, en el caso de especies nativas, a restaurar los ecosistemas forestales de esta región. Los resultados del presente estudio reflejan que *N. dombeyi* puede ser una opción interesante, particularmente entre las especies nativas, ya que en la región del presente estudio

las únicas otras especies maderables que se distribuyen en este rango altitudinal son *N. nervosa* (Phil.) Krasser, *Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde., *Saxegothaea conspicua* Lindl. y *Dasyphyllum diacanthoides* (Less.) Cabr. (Donoso 2006). Aunque el crecimiento inicial en altura (AT) logrado por *N. dombeyi* (0,3 a 0,4 m) fue modesto comparado con aquel que se logra a menores altitudes en la depresión intermedia (0,4 a 0,65 m, Donoso *et al.* 2005, 2007), éste fue similar a aquel logrado en plantas sin fertilización en suelos de mediana profundidad en la Cordillera de la Costa (Büchner 2007) y superior a aquel logrado tanto en plantas fertilizadas como no fertilizadas en suelos delgados de la misma cordillera (Torres 1996). Es decir, este conjunto de datos sugiere que el crecimiento inicial de *N. dombeyi* en la provincia de Valdivia es menor a mayores altitudes y en condiciones de suelo muy pobres.

La fertilización fue efectiva en las plantas en que hubo una cobertura relativamente baja de malezas ( $< 35\%$ ), en las cuales particularmente las plantas con las dosis intermedia lograron mayores crecimientos. Esta relación positiva con el control de malezas es consistente con estudios en *Pinus radiata* (Gerding *et al.* 1986, Albaugh *et al.* 2004). El mayor crecimiento observado con la fertilización intermedia puede deberse, principalmente, a la acción del fósforo, elemento deficitario en este suelo (cuadro 1) de acuerdo con las evaluaciones de Rodríguez (1993) y Rodríguez *et al.* (2001). De esta manera, en suelos pobres en fósforo, la adición de este elemento incrementa el potencial de crecimiento (Albaugh *et al.* 1998, Allen y Albaugh 1999, Álvarez *et al.* 1999).

Con niveles de cobertura de malezas medianos y altos lo más probable es que haya sido la maleza más que las plantas de *N. dombeyi* las que capturaron los nutrientes de los fertilizantes. Esta observación es más evidente en la variable AT, en la cual plantas fertilizadas con niveles medios y altos de cobertura tuvieron crecimientos muy similares y del orden de 10 cm menos que plantas no fertilizadas (figura 3). En cambio, en el caso del DAC, con niveles de cobertura medio y alto, los mayores valores se lograron con los niveles bajos e intermedios de fertilizantes, lo cual es un reflejo de que plantas en un ambiente de competencia por agua y nutrientes desarrollan mayor proporción de biomasa radicular que en condiciones sin restricción de estos factores del crecimiento (Binkley 1993), y ello se manifiesta en un mayor DAC. Los resultados indican en todo caso que la dosis alta de fertilización fue innecesaria y que, por el contrario, es muy probable que haya causado toxicidad de las plantas, lo cual se manifestó en que en casi todos los casos los crecimientos alcanzados por las plantas con la dosis alta de fertilización fueron similares o inferiores a aquellos logrados en plantas sin fertilización (figura 3 y cuadro 2).

A pesar de que los resultados de crecimiento de plantas son muy ilustrativos con respecto a las potencialidades de *N. dombeyi* en la Cordillera de Los Andes en este caso, es fundamental también tener en cuenta aquellos de sobrevi-

vencia, particularmente en cuanto a la alta frecuencia de heladas en esta zona (figura 2). En este sentido, el aumento de la sobrevivencia de plantas con mayor cobertura constituye un efecto positivo de la vegetación acompañante, en este caso, la protección contra heladas. De las heladas estivales registradas (figura 2), al menos cinco fueron de gravedad alta para *N. dombeyi*, es decir, iguales o inferiores a  $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Reyes-Díaz *et al.* 2005). Sin embargo, el estrés fisiológico que sufren las plantas al ser llevadas durante su período de crecimiento a terreno (en este caso fines de octubre) disminuye considerablemente la capacidad de soportar temperaturas tan bajas (Alberdi *et al.* 1985), por lo que a temperaturas inferiores a  $-2^{\circ}\text{C}$  esta especie sufriría un daño fisiológico irreversible<sup>1</sup>. Este resultado sugiere que se debe evaluar la conveniencia de dimensionar adecuadamente el control de malezas en plantaciones en las condiciones climáticas como las de este sitio de estudio. Adicionalmente al efecto positivo descrito anteriormente, la vegetación acompañante puede tener una serie de otros beneficios durante los primeros años de la regeneración natural o plantaciones en condiciones de campo abierto (Donoso y Nyland 2006).

Los registros de mortalidad indican que ésta ocurrió mayoritariamente después del mes de enero, pero todavía en verano. Los factores estresantes ocurridos en ese período, que se pueden relacionar con la mortalidad, fueron: menores precipitaciones durante el final del verano que habrían desecado el estrato superficial del suelo donde las raíces se concentran en esta etapa y una helada ( $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nivel del suelo) repentina en medio de un período de altas temperaturas (figura 1). Es posible inferir del cuadro 2 que este último factor sería más significativo ya que hubo una influencia positiva de la cobertura sobre el crecimiento de *N. dombeyi*, lo que muestra una situación de competencia por disponibilidad de recursos, entre ellos agua, sin afectar la sobrevivencia de las plantas.

Los resultados aquí reportados proveen algunas pautas técnicas para el establecimiento de plantaciones de *N. dombeyi* en una zona de la Cordillera de Los Andes. Sin embargo, aún es necesario experimentar con distintos tipos de plantas (tamaño, raíz cubierta vs. raíz desnuda, procedencias, tratamiento de fertilización para la producción de plantas del vivero), con control total de maleza en la taza de plantación y en condiciones variables de terreno (exposición, pendiente, microtopografía, etc.). También es necesario experimentar con plantaciones bajo dosel como, por ejemplo, luego de cortas de protección, o en fajas entremedio de vegetación arbustiva. Con respecto a este último punto, Álvarez (2006) reporta que *N. dombeyi* plantado en fajas anchas (11 m) limpiadas en terrenos fuertemente invadidos por *Chusquea culeou* Desv. tuvo una sobrevivencia mayor a 90% y que el crecimiento de los primeros años ha sido mayor que aquellos reportados por Donoso *et al.* (2005)

en plantaciones de la Depresión Intermedia de la provincia de Valdivia. El efecto positivo de plantaciones en fajas también es reportado por Torres (1996) para plantaciones en suelos muy delgados de la Cordillera de la Costa, en donde se encontraron mayores crecimientos en plantas de *N. dombeyi* establecidas en fajas con respecto al campo abierto (luminosidad sobre 40.000 a 50.000 lux). En definitiva, es necesario continuar investigando el desarrollo de plantaciones de *N. dombeyi* (y de otras especies nativas) en diferentes condiciones de sitio e intensidades de tecnología aplicada, en función de determinar los mejores sitios en que se requiera el menor nivel posible de fertilizantes y herbicidas, en el contexto de un manejo integrado de la vegetación (Wagner 1994).

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue desarrollado como parte del Proyecto FONDEF-CONICYT D04 I 1271. Además, se agradecen los comentarios y sugerencias de tres revisores anónimos.

#### REFERENCIAS

- Allen HL, TJ Albaugh. 1999. Ecophysiological basis for plantation production: A loblolly pine case study. *Bosque* 20(1):3-8.
- Albaugh TJ, HL Allen, PM Dougherty, LW Kress, JS King. 1998. Leaf area and above- and belowground growth responses of loblolly pine to nutrient and water additions. *Forest Science* 44:317-328.
- Albaugh TJ, R Rubilar, J Álvarez, HL Allen. 2004. Radiata pine response to tillage, fertilization, and weed control in Chile. *Bosque* 25(2):5-15.
- Alberdi, M, M Romero, D Ríos, H Wenzel. 1985. Altitudinal gradients of seasonal frost resistance in *Nothofagus* communities of southern Chile. *Acta Oecol.* 6(1):21-30.
- Álvarez C. 2006. Evaluación de crecimiento de una plantación joven en fajas en la Cordillera de Los Andes de la Provincia de Valdivia. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 41 p.
- Álvarez J, J Rodríguez, D Suárez. 1999. Mejoramiento de la productividad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, a través de un modelo racional de fertilización. *Bosque* 20(1):23-36
- Binkley D. 1993. Nutrición Forestal, Prácticas de Manejo. Uteha-Limusa. México DF, México. 340 p.
- Broquen P, F Candan, G Falbo, JL Girardin, V Pellegrini. 2005. Impacto de *Pinus ponderosa* sobre la acidificación de los suelos de la transición bosque-estepa, SO del Neuquén, Argentina. *Bosque* 26(3):63-74.
- Bücher C. 2007. Respuesta inicial de una plantación de *Nothofagus dombeyi* a distintas dosis de fertilizante, en la Precordillera de la Costa de Valdivia. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 44 p.

<sup>1</sup> Alejandra Zúñiga. Ecofisióloga del Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, azuniga@uach.cl. Comunicación personal.

- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales, CL). 1999. Estudio Agrológico de la Provincia de Valdivia - X Región. Descripciones de suelos. Materiales y Símbolos. Santiago, Chile. 199 p.
- Donoso, C. 2006. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cúneo Ediciones, Valdivia, Chile. 678 p.
- Donoso C, B Escobar, M Cortés. 1991. Técnicas de vivero y plantaciones para Coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Documento Técnico 55, *Chile Forestal*. 8 p.
- Donoso C, A Premoli, PJ Donoso. 2004. Variación genética en *Nothofagus* siempreverdes (Coihues). In Donoso C ed. Variación Genética de Especies Arbóreas Nativas de los Bosques Templados de Chile y Argentina. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. p. 189-211.
- Donoso PJ, RD Nyland. 2006. Interference to hardwood regeneration in Northeastern North America: The effects of raspberries (*Rubus spp.*) following clearcutting and shelterwood methods. *Northern Journal of Applied Forestry* 23(4):288-296.
- Donoso PJ, C Cabezas, A Lavanderos, C. Donoso. 1999a. Estudio comparativo de la estructura y crecimiento de renovales de Coihue (*Nothofagus dombeyi*) en la precordillera de la Costa y de Los Andes de la provincia de Valdivia. *Bosque* 20(2):9-23.
- Donoso PJ, C Donoso, V Sandoval. 1993a. Proposición de zonas de crecimiento para renovales de roble y raulí en sus rangos de distribución natural. *Bosque* 14(2):37-56.
- Donoso PJ, T Monfil, L Otero, L Barrales. 1993b. Estudio de crecimiento de plantaciones y renovales de especies nativas en el área andina de la provincia de Valdivia y Cautín. *Ciencia e Investigación Forestal* 7(2): 24-42.
- Donoso PJ, C Donoso, F Utreras, A Zúñiga, DP Soto. 2005. El majestuoso coihue valdiviano. *Chile Forestal* 318:26-29.
- Donoso PJ, DP Soto, C Donoso, H Rivera. 2007. Crecimiento inicial en altura para plantaciones de Coihue, Roble y Raulí en altitudes medias en la provincia de Valdivia, Chile. *Bosque Nativo* 40: 8-12.
- Donoso PJ, M González, B Escobar, I Basso, L Otero. 1999b. Viverización y plantación de Raulí, Roble y Coihue en Chile. In Donoso C, A Lara ed. Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. p. 145-189.
- Donoso PJ, C Donoso, B Escobar, C Navarro, L Gallo. 2006. *Nothofagus dombeyi*. In Donoso C ed. Especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Valdivia, Chile. Marisa Cúneo Ediciones. p. 423-432.
- Duryea M, P Dougherty. 1991. Forest Regeneration Manual. Netherlands. Kluwer Academic Publishing. 233 p.
- Echeverría C, A Lara. 2004. Growth patterns of secondary *Nothofagus obliqua*-*N. alpina* forest in southern Chile. *Forest Ecology and Management* 195: 29-43.
- Gerding V, JE Schlatter, L Barriga. 1986. Fertilización para el establecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Valdivia. *Bosque* 7(2): 121-128.
- Grosse H, I Quiroz. 1999. Silvicultura de los bosques de segundo crecimiento de roble, raulí y coigüe en la región centro-sur de Chile. In Donoso C, A Lara ed. Silvicultura de los Bosques Nativos de Chile. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. p. 129-144.
- Ibáñez C, P Núñez, R Pezzutti, F Rodríguez. 2004. Efectos de la roturación del suelo y fertilización con fósforo en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus taeda* en suelos rojos del noreste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Bosque* 25(2):69-76.
- Neira E. 2005. Producción de agua en dos microcuencas con diferente cobertura de renovales de *Nothofagus* en la Cordillera de Los Andes (San Pablo de Tregua). Tesis Magíster en Ciencias. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 84 p.
- Pezzutti R, S Caldato. 2004. Efecto del control de malezas en el crecimiento de plantaciones de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* y *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. *Bosque* 25(2):77-87, 2004
- Reyes-Díaz M, M Alberdi, F Piper, L Bravo, L Corcuera. 2005. Low temperature responses of *Nothofagus dombeyi* and *Nothofagus nitida*, two evergreen species from south central Chile. *Tree physiology* 25(11):1389-98.
- Rodríguez J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica. Colección en Agricultura. 237 p.
- Rodríguez J, D Pinochet, FJ Matus. 2001. Fertilización de los cultivos. Santiago, Valdivia, Talca, Chile. LOM Ediciones. 117 p.
- Silva J. 2003. Estudio de seis años de respuesta al raleo de renovales de *Nothofagus obliqua* en el predio Aillapán, Comuna de Loncoche, IX Región. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 40 p.
- Sokal R, F Rohlf. 1995. Biometry. San Francisco, USA. WH Freeman and Company. 887 p.
- Torres A. 1996. Grados de cobertura y fertilización en el establecimiento de plantaciones de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Bl.), raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst.) y coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.). Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 78 p.
- Wagner RG. 1994. Toward integrated forest vegetation management. *Journal of Forestry* 92(11):26-30.

Recibido: 21.03.07  
Aceptado: 28.09.07