

Aplicación de fertilizantes de liberación controlada al establecimiento de *Pinus radiata* en Valdivia¹

Oscar Thiers², Víctor Gerding² y Felipe Leiva³

²Universidad Austral de Chile, Instituto de Silvicultura. Casilla 567, Valdivia, Chile. othiers@uach.cl

³Centro Experimental Forestal CEFOR, Universidad Austral de Chile. Casilla 567, Valdivia, Chile.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de fertilizantes de liberación controlada (FLC) (Basacote® Plus 3M, 6M, 9M, y Starter; 10 a 20 g planta⁻¹) en el período de establecimiento de plantaciones de *Pinus radiata*. Se instaló un ensayo con FLC y una mezcla de fertilizantes hidrosolubles (fertilización tradicional, 87 g planta⁻¹) en tres sitios de la comuna de Valdivia, sobre suelos rojo arcillosos de la serie Los Ulmos (Typic Palehumult). Luego del primer año de evaluación los FLC y la fertilización tradicional permitieron crecimientos mayores ($p < 0,01 - 0,05$) de *P. radiata* con respecto al testigo sin fertilizar. La respuesta a la fertilización tradicional fue igual o menor ($p < 0,05$) que con los tratamientos de FLC. La supervivencia no fue influida por los fertilizantes, alcanzando altos niveles (> 90 %) con y sin ellos. Los valores promedio en los mejores tratamientos alcanzaron: 70 ± 16 cm de altura total (H), 16 ± 4 mm de diámetro de cuello (DAC) y 194 ± 12 cm³ de factor de producción ($F = DAC^2 \times H$). La ganancia promedio de los árboles con FLC fue de 12 a 36 % en H y en DAC , y de 68 a 154 % en FP . Ninguno de los individuos de *Pinus radiata* manifestó síntomas de toxicidad ni de otro tipo de daño, incluso estando con su sistema radicular en directo contacto con los FLC. La proporción de biomasa radicular (18 %) no fue modificada con las fertilizaciones. Los tratamientos con FLC presentaron ventajas operativas y de costos con respecto a la fertilización tradicional.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales presentan una demanda nutritiva variable a través de su rotación (Schlatter *et al.* 2001, Fox *et al.* 2006), siendo uno de los períodos críticos la etapa de establecimiento (Miller 1981, Jacobs *et al.* 2005). Dentro de dicha etapa el adecuado suministro nutritivo es decisivo, particularmente en los dos primeros años, para estimular el desarrollo radicular y otorgar un impulso inicial a los árboles que asegure su establecimiento (Miller 1981, Martin 2003, Jacobs *et al.* 2005). Frecuentemente el suelo no aporta los nutrientes con la velocidad y en la cantidad necesarias para un rápido crecimiento de los árboles, generándose en éstos algunas deficiencias nutritivas y su consecuente menor crecimiento (Miller 1981, Fox *et al.* 2006). En el sur de Chile se encuentran centenares de miles de hectáreas de suelos de diversos tipos que presentan diferentes grados de deficiencia en la oferta nutritiva para las plantaciones forestales de rápido crecimiento (Schlatter *et al.* 2001, 2003). Ello conduce a la necesidad de aplicar fertilizantes, como una alternativa, para suplir el déficit. Al respecto, existen diversos estudios de plantaciones

¹ Con aporte de COMPO AGRO Chile y del Centro Experimental Forestal (CEFOR) de la Universidad Austral de Chile.

forestales en Chile (*Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus spp.*) donde la sobrevivencia y crecimiento han sido positivamente influenciados por esquemas de fertilización (Gerding *et al.* 1989, Álvarez *et al.* 1999, Aparicio 2001, Albaugh *et al.* 2004).

La fertilización forestal genera permanentemente novedosas opciones para suplir la demanda nutricional de especies de rápido crecimiento en las cada vez más cortas rotaciones. El enfoque actual para las prácticas de manejo de cultivos con fertilización debe incluir los aspectos de productividad, rentabilidad, sustentabilidad y ambiente (social y biofísico) (Bruulsema *et al.* 2008). En este sentido, la nueva generación de fertilizantes de liberación controlada (FLC) presenta un amplio espectro de aplicación en frutales, ornamentales y agricultura (Rose *et al.* 2004, Jacobs 2005, Erro *et al.* 2007); pero en el sector forestal de Chile aun son de escaso uso y con resultados muy diversos. La aplicación de FLC en conjunto con actividades propias del establecimiento de plantaciones puede provocar un efecto de sinergia sobre el crecimiento de *P. radiata*. Así, la ejecución conjunta de diferentes faenas al establecimiento, como el control de malezas pre y postestablecimiento, el manejo físico del suelo y otros cuidados culturales, entregarían condiciones óptimas para el desarrollo de los árboles además de generar ventajas operacionales y económicas (Nilsson y Allen 2003, Xu y Dell 2003, Albaugh *et al.* 2004, Erro *et al.* 2007).

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de FLC (Basacote® Plus 3M, 6M y 9M, y Starter) aplicados al momento del establecimiento, sobre el crecimiento inicial de una plantación de *P. radiata* en suelos rojo arcillos (Typic Palehumult) de la zona sur de Chile. El presente trabajo se inserta dentro de la evaluación programada hasta el cierre de copas (máximo incremento corriente anual), lo que permitirá dimensionar los beneficios de la aplicación operativa de FLC a plantaciones de rápido crecimiento de *P. radiata* en la zona de Valdivia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de sitios y análisis del suelo

Los ensayos de fertilización se establecieron en dos predios del CEFOR - UACH, Los Pinos y Las Palmas, a 15 - 20 km al norte de Valdivia. Ambos predios se ubican en terrenos bajos a intermedios de topografía plana a ligeramente ondulada hasta ondulada a quebrada. En Los Pinos (bloque 1: 39°44'23''S y 73°10'51''O; 145 m s.n.m.) se ubicó en una pradera con pocos desechos leñosos. En Las Palmas los dos sitios seleccionados (bloque 2: 39°44'45''S y 73°08'39''O; bloque 3: 39°44'46''S y 73°09'07''O; ambos a 80 m s.n.m.) presentaban desechos de una cosecha reciente de *P. radiata*. El clima corresponde a un templado lluvioso con influencia mediterránea. Las precipitaciones se distribuyen a lo largo de todo el año, alcanzando un promedio de 2.400 mm, cuya distribución anual en un año normal se concentra en los meses de marzo a agosto (70 % anual) (Echeverría *et al.* 2007). La temperatura media anual alcanza a 11,5° C, mientras que durante el periodo estival (enero) ésta aumenta a 16,6° C (Huber 1970, Gerding *et al.* 2006). Los suelos derivan de cenizas volcánicas antiguas y otros sedimentos eólicos, corresponden al tipo rojo arcilloso de la serie Los Ulmos (Typic Palehumult) (CIREN 2001). Estos suelos son profundos a muy profundos, bien estructurados, con drenaje interno moderado y drenaje externo moderado a rápido. Presentan una fertilidad adecuada para el

establecimiento y desarrollo de *P. radiata*, aunque su oferta nutritiva es limitada (Schlatter *et al.* 1995, 2003).

Acompañado de la selección de sitios para la plantación se realizó un reconocimiento y análisis químico-nutritivo del suelo superficial (0-20 cm) con el objetivo de diagnosticar la situación inicial del suelo previa a la plantación (Schlatter *et al.* 2003). El análisis químico de suelo incluyó: pH (agua y KCl), carbono total (Ct), nitrógeno total (Nt), fósforo disponible, fracción de elementos extraíbles (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y Al) y aluminio intercambiable, suma de bases y saturación de aluminio. Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la UACH (Grez *et al.* 2002). El análisis químico-nutritivo entregó los niveles referenciales de elementos nutritivos del suelo necesarios para el cálculo de dosis de fertilizante tradicional operativo. El diagnóstico nutritivo mostró suelos fuertemente ácidos, ricos en materia orgánica, de moderada oferta de nitrógeno y bases, muy pobres en fósforo y pobres en boro (cuadro 1).

Cuadro 1. Características químicas-nutritivas del suelo (0-20 cm) en las áreas de estudio.

Variable	Unidad	Valor	Evaluación*	Técnicas analíticas (Grez <i>et al.</i> 2002):
pH-H ₂ O	-	5,1	b	pH: agua destilada y sol. KCl 0,1N, relación suelo:solución=1:2,5.
pH-KCl	-	4,6	b	
Ct	%	8,4	a	Ct: oxidación con dicromato de potasio ác. sulfúrico.
Nt	%	0,36	m-a	Nt: digestión Kjeldahl.
C/N	-	23	m	P: Olsen.
P	↑	2,2	B	S-sulfato: extracto fosfato de calcio.
Al		1.460	a	Al de intercambio: extracto KCl 1M.
Na	mg kg ⁻¹	46	B	B: extracto CaCl ₂ 0,15% a ebullición 5 minutos
K		161	m-a	Elementos extraíbles (Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Al): acetato de amonio pH 4,8 + DTPA.
Ca		783	a	
Mg		176	a	* Evaluación:
Fe		200	A	A: muy alto; a: alto; m: moderado; b: bajo; B: muy bajo
Mn		45	a	
Cu		4,8	m	
Zn		0,8	m	
B		0,6	b-m	
S		19	a	
Al-KCl	↓	28	a	
Suma bases	cmol+ kg ⁻¹	6	m	
Saturación Al	%	4,9	b	

Establecimiento de las plantaciones

La habilitación de un sitio en Las Palmas se realizó con retroexcavadora, ordenando en fajas los desechos de la cosecha previa. El ancho de estas fajas no superó los 2 m y su altura fue inferior a 1,5 m. La ordenación de los desechos se orientó en el sentido de la pendiente con una separación aproximada 12 m entre fajas. En los otros dos sitios se realizó un ordenamiento manual de los desechos leñosos cuando fue necesario.

La plantación se efectuó en septiembre 2006 con una densidad de 1.666 plantas ha⁻¹ (2 m x 3 m). Se utilizaron plantas a raíz desnuda con mejoramiento genético por cruza controladas contempladas dentro del programa de la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal de la UACH (CMGF-UACH). Las características de las plantas al

momento de plantación fueron: altura total de 25 a 30 cm, diámetro de cuello 4 a 6 mm y ausencia de bifurcaciones bajo 50 % de la altura (cuadro 2).

Cuadro 2. Tamaño y biomasa de las plantas en noviembre de 2006 (sin fertilización).

Dimensiones ^a				Biomasa (g)			
DC (mm)	H (cm)	H/DC	FP (cm ³)	Acículas	Tallo	Raíces gruesas	Raíces finas
7,4±0,5	41,9±7,2	57,2±10,1	22,7±4,9	8,7±2,2	5,9±1,7	1,7±0,9	1,2±0,5

^aDC: diámetro de cuello. H: altura total. $FP = DC^2 * H$.

Se realizó un control químico de malezas preplantación en la superficie total, en agosto 2006 previo a la plantación, aplicando Glifosato (3,0 kg ha⁻¹) y Garlon 4 (0,5 L ha⁻¹). El control químico de malezas posplantación (enero – febrero 2007) se realizó en torno a cada árbol con una mezcla de Atrazina, Lontrel y Galant Plus. Las aplicaciones se ejecutaron de manera manual, con bomba de espalda.

Dosificación de fertilizantes

La dosis de fertilizante tradicional se calculó de acuerdo con el método racional (Rodríguez 1993, Álvarez *et al.* 1999), considerando la oferta del suelo y la demanda nutritiva de plantaciones de *P. radiata* de un año (Schlatter *et al.* 2001), sobre la base de los resultados de los análisis de suelo (cuadro 1). Las dosis de FLC Basacote® Plus y Starter fueron determinadas por la empresa proveedora de estos productos de acuerdo con su experiencia en cultivos equivalentes. Así, el ensayo quedó conformado por siete tratamientos y testigo sin fertilizar: A) Basacote 3M, 10 g planta⁻¹, B) Basacote 6M, 10 g planta⁻¹, C) Basacote 6M, 15 g planta⁻¹, D) Basacote 9M, 10 g planta⁻¹, E) Basacote 9M, 20 g planta⁻¹, F) Starter, 20 g planta⁻¹, G) Fertilización tradicional, mezcla operativa CEFOR-UACH, 37 g Nitromag + 40 g superfosfato triple + 10 g boronatrocalcita planta⁻¹ y H) testigo sin fertilización.

En los tratamientos con Basacote la proporción de elementos es de 16-8-12+2MgO+ME, es decir, 16 % de nitrógeno, 8 % de P₂O₅, 12 % de K₂O, 2 % de MgO y trazas de microelementos. Las diferencias de los tiempos de liberación (3, 6 o 9 meses) de los productos están dadas por las características del recubrimiento de los granos. El fertilizante Starter corresponde a 50 % de Basacote 6M y 50 % de fosfato diamónico recubierto. El tratamiento de fertilización tradicional corresponde a 27 % de nitrógeno, 7 % de CaO y 5 % de MgO en Nitromag; 46 % de P₂O₅, 20 % de CaO y 1 % de S en el superfosfato triple; y 13 % de B en la boronatrocalcita.

Establecimiento y diseño experimental del ensayo

La fertilización se realizó en septiembre del 2006 paralelamente con el establecimiento de la plantación. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones, un bloque en Los Pinos y dos bloques en Las Palmas. Dentro de cada bloque se distribuyeron aleatoriamente los siete tratamientos de fertilización y el testigo. Cada repetición se constituyó por 49 plantas medibles más una línea perimetral de plantas de borde (32 plantas) (6 m² planta⁻¹ x 81 plantas parcela⁻¹ = 486 m² parcela⁻¹). El número total

de plantas del ensayo fue de 1.944, de las cuales el 60 % corresponden a plantas medibles en el largo plazo (cierre de copas).

Los fertilizantes de liberación controlada fueron aplicados al momento del establecimiento en la tasa de plantación, mientras que la mezcla operativa se aplicó posterior (fines de septiembre 2006) a la plantación en dos hoyos distantes 15 cm de la planta. Para aplicar el fertilizante de liberación controlada se esparció el fertilizante en las paredes de la casilla y luego se introdujo la planta en ella; de esta forma una parte del fertilizante quedó adherido a las paredes de las casillas y otra parte quedó en el fondo de ésta, logrando un amplio contacto con las raíces de las plantas.

Evaluación en el ensayo

Durante el primer año del ensayo se realizaron dos mediciones, febrero y julio de 2007, consideradas las siguientes variables:

- Sobrevivencia (%): se midió en términos de porcentaje de plantas vivas en relación al número establecido inicialmente. Para el análisis estadístico se realizó una transformación angular de los datos: $x = \text{arc sen } p^{1/2}$, donde p es el valor en porcentaje o proporción (Sokal y Rohlf 1979).
- Altura total (H) (cm): es una variable con gran cambio a través de la edad de los árboles, resulta de fácil medición y permite la comparación directa del desarrollo de los individuos como respuesta a los distintos tratamientos.
- Diámetro de cuello (DC) (mm): variable de importancia dado que también sufre cambios con la edad de los árboles, resultando también de fácil medición y, al igual que la anterior, permite comparar el desarrollo de los individuos en respuesta a los distintos tratamientos.
- Factor de producción ($FP = DC^2 * H / 100$) (cm^3): es un indicador de productividad por parte de la planta y se relaciona estrechamente con la biomasa de ella; esta variable considera la altura total y diámetro de cuello.
- Además se midieron: largo de copa (cm), diámetro de copa (cm), volumen de copa (considera la forma de un cono), cobertura de malezas (CM , %).
- Se estimó la biomasa de la planta promedio de cada tratamiento a partir de la determinación directa de biomasa de tres plantas de altura promedio obtenidas de los tratamientos E, G y H, en octubre de 2007.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza paramétrico de un factor con la finalidad de detectar efectos significativos de los tratamientos de fertilización. La identificación de las diferencias se realizó mediante la prueba de multicomparación de medias de Scheffé (Sokal y Rohlf 1979). Además, la relación entre estas variables se determinó mediante modelos de regresión y pruebas de bondad de ajuste. El nivel de confianza utilizado fue de 95 % ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Sobrevivencia

La sobrevivencia de los árboles en el ensayo fue muy alta en ambas mediciones (febrero y julio). Independientemente de la presencia, tipo y dosis de fertilizante la tasa de sobrevivencia fue superior al 90 %, lo que es normal para el establecimiento de *P. radiata* en esta zona. Los resultados indican que no hubo efecto ($p > 0,05$) de los tratamientos en la mortalidad de las plantas (figura 1), es decir, los fertilizantes no influyeron en la sobrevivencia. En febrero el ensayo presentó una sobrevivencia promedio de 95,5 %. El tratamiento con mayor sobrevivencia (98 %) fue Basacote 6M-10 g planta⁻¹ (B) y aquel con menor (90 %) fue Basacote 6M-15 g planta⁻¹ (C). En julio el ensayo presentó una sobrevivencia promedio de 94 %; el tratamiento con mayor sobrevivencia fue el de Starter-20 g planta⁻¹ (F) con 96,6 % y el de menor siguió siendo el de Basacote 6M-15 g planta⁻¹ (C) con 85 %.

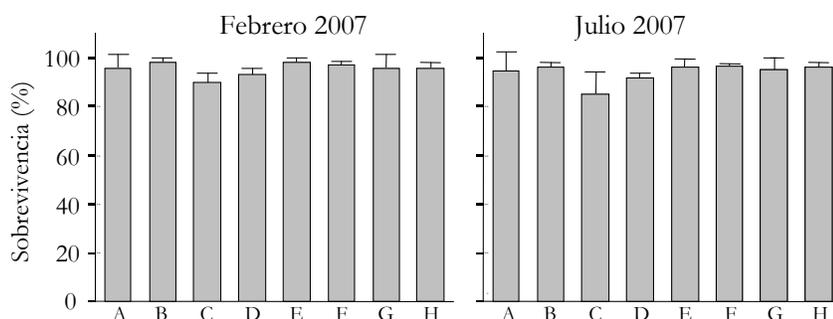


Figura 1. Sobrevivencia de *Pinus radiata* según tratamiento durante el primer año de crecimiento (izquierda: febrero 2007; derecha: julio 2007). A) Basacote 3M, 10 g planta⁻¹, B) Basacote 6M, 10 g planta⁻¹, C) Basacote 6M, 15 g planta⁻¹, D) Basacote 9M, 10 g planta⁻¹, E) Basacote 9M, 20 g planta⁻¹, F) Starter, 20 g planta⁻¹, G) Fertilización tradicional (mezcla operativa CEFOR): 37 Nitromag + 40 SFT + 10 boronatrocalcita g planta⁻¹, H) testigo sin fertilización. Valores corresponden a promedios de los tres bloques, líneas sobre las columnas muestran la desviación estándar. Tratamientos no difieren significativamente ($p > 0,05$).

Altura total

La fertilización indujo un mayor crecimiento en los árboles que se apreció significativamente desde la primera medición en febrero (al quinto mes después de la fertilización) (cuadro 2). Tanto en febrero como en julio los tratamientos con FLC presentaron valores de altura total promedio significativamente mayores que ambos tratamientos de control (testigo y fertilización tradicional). En febrero la ganancia promedio respecto al tratamiento G (fertilización tradicional) fue de 13 % y respecto al tratamiento H (testigo sin fertilizante) de 11 %. En julio (al décimo mes de fertilizar) estas mismas diferencias promedio se mantuvieron o aumentaron, siendo de 12 % y 23 %, respectivamente.

La altura total promedio en todos los tratamientos con FLC (Basacote y Starter) fue mayor que en la fertilización tradicional y en el tratamiento testigo. Entre los tratamientos

con fertilización controlada no hubo diferencias significativas para la altura promedio de los árboles. Los tratamientos D (Basacote 9M-10 g planta⁻¹) y F (Starter-20 g planta⁻¹) sobresalieron en la medición de febrero con valores promedios de altura total de 33 cm, cuya superioridad fue de 15 % respecto de la altura total del tratamiento H (testigo sin fertilizante). En la medición de julio el tratamiento F (Starter-20 g planta⁻¹) fue nuevamente el de mayor altura promedio (69,5 cm), la cual era 36 % superior al tratamiento H.

Cuadro 2. Altura total, diámetro de cuello y factor de producción de *Pinus radiata* por tratamiento en orden descendente. Valores corresponden a promedios de los tres bloques \pm S en febrero y julio de 2007.

Tratamiento	Febrero*	Tratamiento	Julio*
Altura total (cm)			
D	33,9 \pm 5,8 a	F	69,5 \pm 15,8 a
F	32,8 \pm 6,1 a	A	66,3 \pm 13,1 a
A	32,1 \pm 6,5 a	E	66,2 \pm 13,9 a
E	31,8 \pm 5,3 a	C	65,3 \pm 15,7 a
C	31,2 \pm 6,2 a	D	64,5 \pm 14,1 a
B	31,1 \pm 5,9 a	B	64,4 \pm 14,3 ab
H	28,6 \pm 3,8 b	G	58,2 \pm 14,5 b
G	28,0 \pm 4,5 b	H	50,9 \pm 11,1 c
Diámetro de cuello (mm)			
F	7,5 \pm 1,4 a	F	15,6 \pm 4 a
E	7,5 \pm 1,3 ab	E	14,4 \pm 3 ab
B	7,3 \pm 1,4 ab	D	14,1 \pm 3 bc
D	7,2 \pm 1,3 ab	B	14,0 \pm 3 bc
A	7,1 \pm 1,4 ab	C	13,9 \pm 3 bc
C	7,0 \pm 1,2 b	A	13,9 \pm 2 bc
G	6,4 \pm 1,2 c	G	12,8 \pm 3 cd
H	6,2 \pm 0,9 c	H	11,6 \pm 3 d
Factor de producción (cm ³)			
F	20 \pm 1,0 a	F	194 \pm 12a
E	19 \pm 0,8 a	E	150 \pm 7 b
D	18 \pm 0,9 a	D	145 \pm 9 bc
B	18 \pm 0,9 a	C	141 \pm 8 bc
A	17 \pm 0,9 a	B	140 \pm 8 bc
C	16 \pm 0,8 a	A	136 \pm 6 bc
G	12 \pm 0,6 b	G	110 \pm 7 cd
H	12 \pm 0,5 b	H	76 \pm 5 d

*Letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Valores corresponden a promedios de los tres bloques \pm desviación estándar. A) Basacote 3M, 10 g planta⁻¹, B) Basacote 6M, 10 g planta⁻¹, C) Basacote 6M, 15 g planta⁻¹, D) Basacote 9M, 10 g planta⁻¹, E) Basacote 9M, 20 g planta⁻¹, F) Starter, 20 g planta⁻¹, G) Fertilización tradicional (mezcla operativa CEFOR): 37 g Nitromag + 40 g SFT + 10 g boronatrocalcita planta⁻¹, H) testigo sin fertilización.

El crecimiento en altura promedio que experimentaron los árboles durante el lapso entre ambas mediciones (5 meses) fue de 32 cm para el total de los tratamientos con fertilizante, aumentando a 34 cm para los tratamientos de FLC y siendo de 37 cm para el mejor tratamiento (F, Starter-20 g planta⁻¹). En este último caso el crecimiento entre ambas mediciones fue superior en 39 % respecto al crecimiento observado en el tratamiento H (testigo sin fertilizar).

Diámetro de cuello

Al igual que en la altura total, los resultados indican que también hubo efectos significativos de la fertilización sobre el diámetro de cuello (cuadro 2). Los FLC permitieron valores promedio mayores que ambos controles (testigo sin fertilizar y fertilización tradicional). En la medición de febrero los tratamientos con FLC presentaron en promedio un diámetro de cuello superior en 12 % con respecto a la fertilización tradicional (G) y en 14 % con respecto al testigo (H). En julio tales diferencias fueron de 10 % y 19 %, respectivamente.

Los mejores tratamientos en febrero correspondieron al F (Starter-20 g planta⁻¹) y al E (Basacote 9M-20 g planta⁻¹), ambos con promedio de diámetro de cuello de 7,5 mm. A su vez, éstos presentaron una superioridad de 20 % respecto del tratamiento H. En julio el mejor tratamiento fue el F, con un diámetro de cuello promedio de 16 mm, superior en 35 % respecto del tratamiento H. El incremento en diámetro de cuello entre ambas mediciones fue de 6,8 mm como promedio para el total de los tratamientos, de 7,1 mm para los tratamientos de FLC y de 8,1 mm para el mejor tratamiento (F), cuyo crecimiento fue superior en 34 % respecto al observado en el tratamiento H.

Factor de producción

El factor de producción, debido a su origen en el diámetro de cuello y la altura, mostró un comportamiento similar a tales variables con efectos positivos significativos de los diferentes tratamientos de fertilización. En general, la tendencia de un mayor crecimiento de *P. radiata* en los tratamientos con FLC se mantuvo, aunque para este parámetro se apreciaron mayores diferencias de magnitud respecto a los tratamientos de control (cuadro 2).

El promedio con FLC presentó en febrero 2007 un valor superior en 33 % y 36 % respecto de los tratamientos G y H, respectivamente. En julio 2007 estas diferencias fueron de 27 % y 50 % respectivamente. Siguiendo con la tendencia identificada anteriormente, el mejor tratamiento en ambas mediciones fue el F (Starter-20 g planta⁻¹). La superioridad que presentó este tratamiento en relación al tratamiento H fue de 71 % en febrero y de 154 % en julio.

El crecimiento en el factor de producción que experimentaron estos árboles en el lapso entre ambas mediciones fue de 120 cm³ como promedio para el total de los tratamientos, de 133 cm³ para el promedio de los tratamientos de FLC y de 174 cm³ para el mejor tratamiento (F), cuyo crecimiento fue superior en 68 % respecto al observado en el tratamiento H.

Otras variables y relaciones

El largo de copa fue homogéneo entre los tratamientos con FLC y significativamente mayor ($p < 0,05$) que en los tratamientos de fertilización tradicional y testigo sin fertilizar; entre estos últimos no hubo diferencias en febrero pero sí en julio, ocasión en que el testigo sin fertilizar obtuvo la menor longitud de copa. El diámetro de copa mostró tendencias similares a las del largo de copa. El volumen de copa presentó una tendencia equivalente a la del factor de producción, destacando el mayor crecimiento en los

tratamientos con FLC. En julio 2007 el volumen de copa de los tratamientos con fertilización había duplicado y casi triplicado el volumen de la copa del testigo sin fertilizar.

La cobertura de malezas alcanzó niveles bajos (< 30 %), evidenciando un buen control de malezas; no hubo diferencias importantes entre tratamientos, aunque sí se apreció alta variabilidad en la cobertura al interior de cada tratamiento y entre bloques.

De las relaciones del *FP* con *H* y con *DC* se desprende que el desarrollo de los árboles fue normal y ello permitió estimar satisfactoriamente la biomasa de los individuos de *P. radiata* a partir del *FP*: Biomasa total (g) = 0,4583* *DC*² (cm²) * *H* (cm) + 6,1387; R²= 0,87 (*p* < 0,001).

Los árboles alcanzaron en 10 meses de crecimiento una biomasa de hasta 275 g planta⁻¹, es decir, casi 16 veces su biomasa inicial. En este período, la distribución de biomasa siguió un comportamiento normal con un aumento de la proporción del tallo y una disminución en la copa (figura 2). Por otra parte, las raíces no cambiaron su relación con respecto a la biomasa aérea mostrando que, independiente del bloque y tratamiento, la proporción de raíces no superó el 20 % de la biomasa total de la planta (figura 2). Esto indicaría que el sistema radicular de *P. radiata* durante esta etapa de establecimiento no se vio afectado por ninguno de los tipos y dosis de fertilización aplicada.

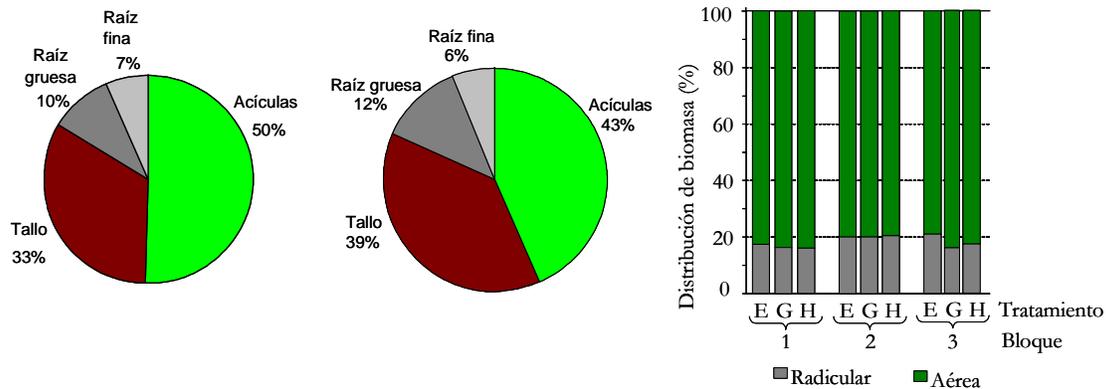


Figura 2. Distribución de la biomasa de las plantas. Izquierda: sin fertilización, en noviembre de 2006. Centro: promedio con y sin fertilizantes, en septiembre de 2007. Derecha: proporciones medias de biomasa aérea y radicular en tres tratamientos por bloque en septiembre de 2007 [E) B-9M-20: Basacote 9M, 20 g planta⁻¹, G) Tradicional: 37 Nitromag+40 SFT+10 Boronatrocita g planta⁻¹ y H) Testigo: sin fertilizante].

DISCUSIÓN

La aplicación de los FLC directamente en la taza de plantación no produjo efectos sobre la sobrevivencia de los árboles de *P. radiata*. No se apreció ningún efecto de toxicidad atribuible a este tipo de fertilizantes, no obstante que ellos fueron ubicados en directo contacto con las raíces de las plantas al momento del establecimiento y permanecieron allí durante toda la primera temporada de crecimiento. Óskarsson *et al.* (2006) identificaron similares respuestas, alta sobrevivencia y crecimiento inicial sin toxicidad, a la aplicación de FLC al establecimiento de *Betula pubescens* Ehrh., *Larix sibirica* Ledeb. y *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière en suelos andisoles en Islandia.

Además, la proporción de biomasa radicular respecto a la biomasa aérea no se ve afectada por los tratamientos y es de igual magnitud en todos ellos, incluyendo el testigo sin fertilizar. Es decir, en el primer año de crecimiento no hay evidencias de daño radicular como tampoco de una merma ni de un incremento de la proporción de la masa de raíces de los árboles que se pueda atribuir a los fertilizantes como factor causante. Un comportamiento similar fue observado por Gálvez (2003) en el desarrollo radicular de *Eucalyptus nitens* Maiden con diferentes esquemas de fertilización.

Los resultados observados en julio de 2007, es decir, 10 meses después de instalado el ensayo, demuestran un efecto significativo de los FLC sobre el crecimiento de *P. radiata* en su primer año (cuadro 2). La fertilización tradicional, con productos de mayor nivel de solubilidad, también mostró un resultado positivo sobre el crecimiento de *P. radiata* respecto al testigo sin fertilizar, aunque de menor o igual magnitud que los FLC. Las ganancias de crecimiento explicadas por los FLC fueron de alta magnitud, alcanzando a casi tres veces el FP del testigo en el mejor de los casos (cuadro 2). Tales resultados son más auspiciosos que los encontrados por Gerding *et al.* (1986) en sitios similares aplicando fertilizantes solubles tradicionales.

El mayor crecimiento con fertilización, independiente del tipo de fertilizante, se debió a que los suelos presentan deficiencias nutritivas (P y B) para el desarrollo de *P. radiata* y los productos aplicados pudieron abastecer de mejor manera a los árboles. Las tendencias indican que los FLC permitieron el mayor crecimiento de *P. radiata*, luego la fertilización tradicional y, finalmente, las plantaciones sin fertilizar con un crecimiento significativamente menor. Este resultado se debe comprobar con estudios futuros para verificar cuánto fue el aporte real de los fertilizantes y por cuánto tiempo puede sostenerse una diferencia significativa con el testigo (Nilsson y Allen 2003, Elliot y Fox 2006).

Por otra parte, según Albaugh *et al.* (2004), *P. radiata* no requiere de fertilización al establecimiento en suelos volcánicos, lo que difiere con los resultados hasta ahora logrados en el presente trabajo. Ello puede deberse a la naturaleza del suelo Los Ulmos que, si bien presenta material de origen volcánico, también está constituido por otros materiales no volcánicos. Además estos materiales minerales están muy evolucionados (Ultisol) y, por lo tanto, lixiviados (cuadro 1). Por lo anterior, la decisión de no fertilizar no puede basarse sólo en la presencia de un tipo de suelo determinado, sino que es necesario contar con un diagnóstico adecuado del sitio y, particularmente, del régimen de elementos nutritivos (cuadro 1). A partir del diagnóstico deben evaluarse los principios que sintetizan Bruulsema *et al.* (2008), los cuales señalan que, además de los beneficios en productividad y rentabilidad de la práctica silvicultural de fertilizar, es necesario evaluar su sustentabilidad y los efectos en los ambientes social y biofísico.

El control de malezas es fundamental para el éxito del establecimiento de una plantación (Albaugh *et al.* 2004, Jacobs *et al.* 2005). En todos los casos de este ensayo dicho control fue apropiado y no hubo evidencias de efectos de la maleza sobre *P. radiata* ni produjo confusión en la identificación de los efectos de los tratamientos de fertilización. Si bien se observaron diferencias significativas de coberturas medias de maleza entre algunos tratamientos, ellas no tienen un efecto sobre el crecimiento de *P. radiata* debido a que en todos los casos la maleza estuvo en rangos bajos de cobertura (< 30 %). Álvarez *et al.* (2004) no encontraron diferencias significativas entre distintas intensidades de control de malezas (total y bandas) en plantaciones de *P. radiata* en suelos Ultisoles, durante los primeros tres años.

Desde el punto de vista de la valoración financiera y operacional, de acuerdo con la experiencia obtenida en el ensayo, se identifican algunas ventajas de la aplicación de fertilizantes de entrega controlada con respecto a la fertilización tradicional (Rose *et al.* 2004, Erro *et al.* 2007). Los ítems de mayor eficiencia, con respecto a una fertilización tradicional, observados y reconocidos son, en general, los siguientes:

- transporte mayor (vehículos de carga): disminuyen el tiempo de traslado y sus costos;
- transporte menor (operarios que fertilizan, traslado del producto dentro de la plantación): disminuyen el tiempo y los costos, menor esfuerzo para los operarios;
- oportunidad de la faena: mejora la gestión al congregarse en una faena la plantación y la fertilización;
- simplicidad de las faenas: aumenta por la aplicación de un solo producto, en una faena junto con la plantación;
- homogeneidad del fertilizante: aumenta por ser un producto monograno de contenidos nutritivos homogéneos, y
- eficiencia del fertilizante: aumenta, permitiendo mayor aprovechamiento de nutrientes, menores pérdidas por fijación, lixiviación o volatilización, y disminuye la contaminación ambiental.

En las evaluaciones del ensayo se ha podido constatar, en lo principal, una disminución de costos directos de la aplicación de los fertilizantes de entrega controlada (preliminarmente estimada en torno al 27 % de ahorro), debido principalmente a que se realiza en una sola faena tanto la plantación como la fertilización. Además, debido a las dosis comparativamente menores, el volumen de fertilizantes transportado se reduce significativamente (en general, 70 - 90 % de reducción).

CONCLUSIONES

Los fertilizantes de liberación controlada Basacote Plus y Starter permiten crecimientos significativamente mayores de *P. radiata*, en el primer año de establecimiento, con respecto al testigo sin fertilizar. En el mejor de los tratamientos el factor de producción de las plantas con FLC es casi tres veces superior que en el testigo sin fertilizar. La fertilización tradicional, con fertilizantes hidrosolubles, permite un crecimiento de *P. radiata* significativamente mayor que en el testigo sin fertilizar, y de igual o menor magnitud que en los tratamientos con los FLC, Basacote Plus y Starter. La sobrevivencia no está influida por los tratamientos de fertilización, alcanzando altos niveles con y sin fertilizante. Las plantas de *P. radiata* no manifiestan síntomas de toxicidad u otro tipo de daño estando con su sistema radicular en directo contacto con los FLC Basacote Plus y Starter. La proporción de biomasa radicular/aérea no se ha visto modificada con los tratamientos de fertilización. Los tratamientos con FLC Basacote Plus y Starter presentan ventajas operativas y de costos con respecto a la fertilización tradicional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa COMPO Agro Chile Ltda. y sus Ingenieros Agrónomos Lautaro Ríos y Joaquín Orellana por el apoyo entregado para el desarrollo de este trabajo. También se agradece al Centro Experimental Forestal (CEFOR-UACH) por el

apoyo logístico para la instalación y medición del ensayo; y a los estudiantes de Ing. Forestal e Ing. en Conservación de Recursos Naturales de la UACH, Srs. Rodrigo Labbé, Erico Kutchartt, Alejandro Aguirre y Wilson Cid por su trabajo en la captación de datos en terreno.

LITERATURA CITADA

- Albaugh, T. J., R. Rubilar, J. Álvarez, H. L. Allen. 2004. Respuesta a la preparación de suelos, control de malezas y fertilización en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque* 25(2): 5-16.
- Álvarez, J.; J. Rodríguez y 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.
- Álvarez, J.; R. Venegas y C. Pérez. 2004. Impacto de la duración y geometría del control de malezas en la productividad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en cinco ecosistemas del sur de Chile. *Bosque* 25(5): 57-67.
- Aparicio, J. L. 2001. Biomasa y balance nutritivo en *Eucalyptus nitens* de 4 años con distintos manejos nutritivos. Tesis Magíster en Ciencias mención Silvicultura. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 170 p.
- Bruulsema, T. W.; C. Witt; F. García; S. Li; T. N. Rao; F. Chen y S. Ivanova. 2008. Un marco global para las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 38. Acassuso, Argentina. Internacional Plant Nutrition Institute. 4 p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales, CL). 2001. Estudio agrológico X Región. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Tomo I. Santiago, Chile. Centro de Investigación de Recursos Naturales. 199 p.
- Echeverría, C.; A. Huber y F. Taberlet. 2007. Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque* 28(3): 271-280.
- Elliot, J.R. y T. Fox. 2006. Effects of a controlled release fertilizer on the nitrogen dynamics of mid-rotation Loblolly Pine plantation in the Piedmont, Virginia. In: Connor, K. F. (ed.). *Proceedings of the 13th biennial southern silvicultural research conference*. Gen. Tech. Rep. SRS-92. Asheville, NC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 640 p.
- Erro, J.; O. Urrutia; S. San Francisco y J. M. García-Mina. 2007. Development and agronomical validation of new fertilizer compositions of high bioavailability and reduced potential nutrient losses. *J. Agric. Food Chem.* 55: 7831-7839.
- Gálvez, J. M. 2003. Nitrógeno, fósforo y potasio en las raíces de una plantación de cinco años de *Eucalyptus nitens* con diferentes manejos nutritivos. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 33p.
- Gerding, V.; E. Geldres y J. Moya. 2006. Diagnóstico del desarrollo de *Pinus massoniana* y *Pinus brutia* establecidos en el arboreto de la Universidad Austral de Chile, Valdivia. *Bosque* 27(1): 57-63.
- Gerding, V.; J. E. Schlatter y L. Barriga. 1986. Fertilización para el establecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Valdivia. *Bosque* 7(2):121-128.

- Grez, R.; L. Piel; R. Añazco; V. Gerding; J. E. Schlatter y G. Romeny. 2002. Manual de laboratorio para el análisis de suelo. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales. 144 p.
- Huber, H. 1970. Diez años de observaciones climatológicas en la estación Teja-Valdivia (Chile) 1960-1969. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile. 154 p.
- Jacobs, D. F. 2005. Variation in nutrient release of polymer-coated-fertilizers. In: Dumroese, R. K., L. E. Riley and T. D. Landis. 2005. National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2004; 2004 July 12–15; Charleston, NC; and 2004 July 26–29; Medford, OR. Proc.RMRS-P-35. Fort Collins, CO, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Jacobs, D. F.; K. F. Salifu y J. R. Seifert. 2005. Growth and nutritional response of hardwood seedlings to controlled-release fertilization at outplanting. *Forest Ecology and Management* 214: 28-39.
- Fox, T. R.; H. L. Allen; T. J. Albaugh; R. Rubilar y C. A. Carlson. 2006. Forest fertilization in southern pine plantations. *Better Crops* 90(3): 12-15.
- Martin, B. 2003. Eucalyptus: a strategic forest tree. In: Eucalyptus plantation. Research, Management and Development. Proceedings of the International Symposium. Ed. R. P. Wei and D. Xu. Singapore. World Scientific. p.3-18.
- Miller, H. G. 1981. Forest fertilization: some guiding concepts. *Forestry* 54: 157-167.
- Nilsson, H. y H. L. Allen. 2003. Short- and long-term effects of site preparation, fertilization and vegetation control on growth and stand development of planted loblolly pine. *Forest Ecology and Management* 175: 367-377.
- Óskarsson, H., A. Sigurgeirsson y K. Raulund-Rasmussen. 2006. Survival, growth, and nutrition of tree seedlings fertilized at planting on Andisol soils in Iceland: Six-year results. *Forest Ecology and Management* 229: 88-97.
- Rose, R.; D. L. Haase y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25(2): 89-100.
- Schlatter, J. E.; V. Gerding y E. Brandt. 2001. Silvicultura. Capítulo XXII. In: Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (ed.). Agenda del Salitre. 11ª edición. Santiago, Chile. p. 1199-1227.
- Schlatter, J.E.; Gerding, V. y Huber, H. 1995. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal aplicada a la X Región. Serie Técnica, Fac. Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 93 p.
- Schlatter, J. E.; R. Grez y V. Gerding. 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 114 p.
- Sokal, R. y F. J. Rohlf. 1979. Biometría: principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Madrid, España. Blume. 832 p.
- Xu, D. y B. Dell. 2003. Nutrient management of Eucalypt plantations in south China. In: Eucalyptus plantation. Research, Management and Development. Proceedings of the International Symposium. Ed. R. P. Wei and D. Xu. Singapore. World Scientific. p. 269-289.



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
4° CONGRESO CHILENO DE CIENCIAS FORESTALES



Aceptación para publicación en plataforma virtual

Señores
Comisión Organizadora
4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales
Universidad de Talca, Chile.

Estimados Señores

Quien suscribe, autores de la ponencia: "Aplicación de fertilizantes de liberación controlada al establecimiento de *Pinus radiata* en Valdivia." autorizan a los organizadores del 4° Congreso Chileno de Ciencias Forestales, a la publicación del texto completo en la plataforma virtual *Dspace* de la Biblioteca de la Universidad de Talca, permitiendo con ello a su acceso a través de la Internet.

El texto, que se envió en formato Word, será transformado a formato pdf para su publicación. Su difusión estará disponible hasta el mes de Octubre del 2010.

Atentamente

Oscar Thiers

Víctor Gerding

Felipe Leiva

Talca, junio de 2009.