

MANEJO INTENSIVO AL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES DE *PINUS* SP. Y *EUCALYPTUS* SP. EN CHILE Y ARGENTINA

Rafael Rubilar¹, Thomas Fox², Lee Alle³, Tim Albaugh³ y Colleen Carlson²

Introducción

En Chile y Argentina se han establecido más de 3 millones de hectáreas de plantaciones forestales de especies exóticas manejadas intensivamente (Ibañez et al., 2004; SAGPYA, 2006). Las principales especies incluyen *Pinus radiata*, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* entre las especies del género *Pinus*, y *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens* y *Eucalyptus grandis* entre las especies del género *Eucalyptus*. La industria forestal ha seleccionado estas especies en base a las propiedades de su fibra y sus altas tasas de crecimiento. Actualmente se manejan rotaciones de entre 7 a 15 años con objetivos pulpables y de 15 a 28 años con objetivos aserrables (madera estructural, madera libre de nudos y debobinable).

El éxito alcanzado por los programas de forestación y el crecimiento de la industria forestal en ambos países ha contado con el desarrollo paralelo de programas tecnológicos intensivos. Durante los últimos 20 años, programas de investigación cooperativa de carácter nacional e internacional, enfocados a silvicultura intensiva de sitio específico y mejoramiento genético, han permitido aumentar la productividad de las plantaciones de 20 a 50%, y/o reducir las edades históricas de rotación en 2 a 5 años. A continuación se presenta una síntesis de las principales estrategias utilizadas en el desarrollo de programas forestales que se han venido desarrollando en los últimos 20 años en ambos países, con énfasis en técnicas de silvicultura por sitio específico para el establecimiento de plantaciones manejadas intensivamente.

Selección de especies

Una de las condiciones necesarias para maximizar la productividad de plantaciones forestales manejadas intensivamente consiste en la correcta selección de especie para un “sitio” determinado de acuerdo con los objetivos de producción. En la selección de la especie se deben considerar condiciones climáticas y de suelo, además de los problemas de plagas y enfermedades actuales y potenciales.

Programas de mejoramiento genético

Programas intensivos de mejoramiento genético han enfocado sus esfuerzos en la selección de plantas de alto valor genético a partir de ensayos de progenie. Huertos semilleros, con material seleccionado inclusive de segundas y terceras generaciones de selección, son manejados por medio de polinización artificial cerrada (hermanos completos) o abierta (medios hermanos) para la obtención de semilla de alta ganancia genética. Alternativamente, la propagación del material genético de alto valor se lleva adelante por medios de propagación vegetativa. Sin embargo, el mayor impacto de los programas de mejoramiento genético ha sido el de lograr mayor calidad de la materia prima para su procesamiento industrial. Ganancias en la densidad básica y calidad de fibra pulpable, así como también en las características de las trozas para aserrío (por ejemplo rectitud fustal) han generado grandes aumentos de valor de cada unidad de volumen o biomasa producida (McKeand y Allen, 2005).

Producción de plantas

El proceso de producción de material de siembra para las plantaciones forestales manejadas intensivamente debe considerar etapas claves, como un adecuado proceso de producción de vivero que permita seleccionar el tipo de planta acorde a la temporalidad y condiciones del sitio donde se planifica establecer la especie (May, 1984; Morris y Campbell, 1991; Mason, 2004). Diferentes esquemas de producción de vivero (raíz desnuda y raíz cubierta) para material de semilla o estacas generan diferentes estructuras de sistema radical, masa y succulencia foliar, situación que además se ve afectada por las condiciones nutricionales iniciales al establecimiento. Estas características condicionan la mayor o menor resistencia de las plantas a ataques de plagas e insectos, condiciones de estrés hídrico y daños por heladas o viento.

Las características del tipo de suelo y los métodos de preparación de suelo y siembra inciden en la selección del tipo de planta a producir. Para suelos que no presenten propiedades físicas restrictivas, o sin

1 Cooperativa de Nutrición Forestal para América Latina, Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile. Correo electrónico: rrubila@unity.ncsu.edu

2 Cooperativa de Nutrición Forestal, Departamento Forestal, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.

3 Cooperativa de Nutrición Forestal, Departamento de Recursos Naturales, North Carolina State University, USA.



Foto 1. Preparación de sitios en terrenos con pendientes.



Foto 2. Quema de desechos de cosecha.

limitaciones hídricas o de fertilidad, no existe diferencia si se usan plantas producidas a raíz desnuda o en contenedores (Mason, 2004). En suelos de baja retención de humedad, sujetos a condiciones de estrés hídrico después de la siembra, es deseable el uso de plantas producidas en contenedores.

Finalmente, uno de los aspectos más críticos para lograr un buen desarrollo de las plantas salidas del vivero consiste en minimizar el tiempo de transporte y condiciones de estrés de las plantas antes de ser establecidas.

Establecimiento de plantaciones

A continuación se revisan las principales estrategias utilizadas y los criterios de selección de las técnicas de establecimiento de plantaciones manejadas intensivamente.

Preparación de sitio

Esta etapa considera la adecuada manipulación de los desechos de la rotación anterior. También deben considerarse tareas de control de la erosión en sitios con pendiente (Foto 1), trabajos de drenaje en sitios con exceso de humedad, preparación de cubiertas de mulch en sitios con restricciones hídricas y establecimiento de especies fijadoras de nitrógeno (N) en sitios de muy baja fertilidad. En sitios de menor fertilidad se requiere favorecer la acumulación e incorporación de materia orgánica para maximizar la disponibilidad de los recursos nutricionales. Varios estudios han demostrado que entre el 5 al 50% del N del sitio puede estar almacenado en los residuos provenientes de la cosecha anterior (Rubilar, 2005). Sin embargo, un alto volumen de desechos puede limitar el desarrollo y efectividad de la operación de preparación del suelo y el adecuado desarrollo del sistema radical de las plantas.

En sitios de menor fragilidad y que tengan altos niveles de materia orgánica en el suelo, se puede utilizar la quema controlada (Foto 2) como estrategia de reducción de desechos. Sin embargo, dadas las actuales regulaciones ambientales, la quema de desechos no es una opción que se pueda utilizar extensivamente. Complementariamente, en suelos de bajo tenor de materia orgánica, se ha implementado el picado de desechos por medio de trituración mecánica como estrategia de reciclaje de nutrientes con menor impacto ambiental.

La necesidad de preparar el suelo debe considerarse conjuntamente con las tasas de crecimiento potencial. Respuestas en sobrevivencia y uniformidad del rodal son de gran importancia, inclusive cuando las respuestas en crecimiento sean de menor magnitud. Es esencial considerar reducciones en los costos de siembra y en la evaluación económica de las respuestas a la preparación de sitio.

Control de vegetación competidora

Una de las técnicas silvícolas de mayor importancia en el manejo intensivo de plantaciones forestales es la de reducir el impacto generado por la competencia de otro tipo de vegetación por los recursos del sitio (Watt et al., 2003; Albaugh et al., 2004). En muchas situaciones, el control de la competencia puede definir la rentabilidad de una plantación al afectar tanto la sobrevivencia como el crecimiento de la plantación (Garau et al., 2006). La magnitud de la respuesta o de la rentabilidad del control de malezas está modulada por las características del sitio y de las principales especies competidoras. Los sitios donde existe una alta disponibilidad de recursos hídricos y donde no existen grandes limitaciones nutricionales generan una respuesta de menor magnitud en crecimiento, comparada con la respuesta encontrada en sitios con limitaciones de recursos (Albaugh et al., 2004; Rubilar, 2005; Rubilar et al., 2008). El adecuado control

de malezas en los primeros años de desarrollo permite la captura del potencial natural de producción del sitio y el posterior desarrollo de la plantación libre de mayores interferencias (Albaugh et al., 2004; Rubilar, 2005).

Respecto a la mejor estrategia de control de especies competidoras, la intensidad y duración del control presenta alta especificidad. En el caso de especies del género *Eucalyptus*, o material genético del género *Pinus* con altas tasas de crecimiento, se requiere de un intensivo control de malezas hasta el cierre de las copas del cultivo, debido a la alta demanda de recursos de estos materiales (Pezzutti y Caldato, 2004). Sin embargo, se han observado una mayor gama de situaciones para especies del género *Pinus*, dada su menor demanda y mayor tolerancia a condiciones de competencia (Pezzutti, 2000; Rubilar, 2005).

Fertilización

El uso de fertilizantes al establecimiento de plantaciones manejadas intensivamente, partiendo de un adecuado control de malezas, es una herramienta clave para el aumento de la productividad forestal de especies de rápido crecimiento en Argentina y Chile.

Gran parte de los fundamentos para el desarrollo de programas extensivos de fertilización han sido inicialmente desarrollados en base a experiencias internacionales. Son ampliamente reconocidos los beneficios de la fertilización al establecimiento de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* en suelos con mal drenaje y con deficiencia en fósforo (P) localizados en la planicie costera baja del sureste de los EE.UU. Las respuestas observadas en estos sitios pueden ser de 3 a 4 m³ ha⁻¹ año⁻¹, representando cerca de un 100% de ganancia sobre plantaciones no fertilizadas a la edad de rotación (Allen y Albaugh, 2000). Del mismo modo, experiencias con *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis* en Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica han demostrado respuestas positivas a la fertilización (Wollons y Snowdon, 1981; Donald et al., 1987). La respuesta a la fertilización de plantaciones forestales de manejo intensivo en Chile y Argentina ha sido variable y de incierta proyección en el tiempo (Alvárez et al., 1999). Las causas de esta variabilidad en respuesta radican en una serie de factores donde se incluyen los siguientes:

- Baja demanda nutricional de algunas especies en etapas de desarrollo temprano y altos niveles de disponibilidad de nutrientes en el sitio.
- Desconocimiento de las limitaciones nutricionales efectivas del sitio.
- Pérdidas por volatilización (Kissel et al., 2004).

- Interacción entre disponibilidad nutricional e hídrica dentro de la temporada de crecimiento.

En suelos de Argentina clasificados como Ultisoles y Alfisoles, Fernández et al. (1999) e Ibañez et al. (2004) reportaron respuestas a la fertilización fosforada aplicada al establecimiento de 10 a 30% en índice de volumen ($d^2 \cdot h$; donde d es el diámetro y h la altura) en *Pinus taeda*. Se han reportado similares respuestas en crecimiento a la fertilización fosforada al establecimiento de *Eucalyptus grandis* (Lupi et al., 2000). Estudios detallados han encontrado relación entre la disponibilidad de P en el suelo y la productividad de *Eucalyptus grandis* en estos sitios (Aparicio y López, 1995). En Argentina, no existen muchos antecedentes respecto a fertilización con otros macro o micro elementos en plantaciones de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* manejadas intensivamente. Fernández et al. (1999) observaron una respuesta negativa al N y una interacción de N con potasio (K) para *Pinus taeda* en un Alfisol de Argentina.

En Chile, se han reportado respuestas en crecimiento a la fertilización con boro (B), al establecimiento de la plantación, iguales o mayores al 100%, en una amplia variedad de sitios (Tollenaar, 1970; Toro y Gessel, 1999). Las deficiencias más acentuadas están asociadas a suelos de origen granítico, metamórfico y de cenizas volcánicas antiguas de bajo contenido de B (Gerding et al., 1985). Estas deficiencias se intensifican en años secos. Sin duda la adición de 2 a 3 g de B por planta es fundamental para lograr el adecuado establecimiento y desarrollo de *Pinus radiata* y de las especies de *Eucalyptus*, debido a la conocida deficiencia de este nutriente en la mayoría de los sitios donde se establecen estas especies (Toro y Gessel, 1999). La fertilización con B se ha transformado en una herramienta preventiva básica al establecimiento (Alvárez et al., 1999). Respuestas a otros microelementos, a pesar de que han sido estudiadas, no han sido claramente reportadas en la literatura. A continuación se discuten las respuestas a la fertilización de *Pinus* y *Eucalyptus* en la región.

Pinus

A pesar de que en la década de 1990 un alto porcentaje de plantaciones de *Pinus radiata* recibían fertilización completa con N, P, K y B al establecimiento, las respuestas para una gama de sitios han sido altamente variables. Respuestas de 20% en índice de volumen ($d^2 \cdot h$) a fertilización con 100 g de N y 50 g de K observadas a los 6 meses en suelos metamórficos de la Cordillera de la Costa no se observaron a los 3 años de desarrollo de la plantación (Rubilar, 1998). Estudios no publicados conducidos por Toro mostraron respuestas al primer año de 13 a 43% en índice de volumen en suelos

graníticos y de 11 a 23% en suelos de cenizas volcánicas recientes (trumao) con formulaciones de 80 a 100 g de N, 50 a 100 g de P y 25 g de B por planta. Experiencias de Álvarez et al. (1999), en diversos tipos de suelo, mostraron buenas respuestas (> 10% en índice de volumen) con dosis entre 100 a 200 kg de P₂O₅ ha⁻¹, en suelos deficientes en este nutriente. Existen pocas evidencias de respuesta a la fertilización nitrogenada al establecimiento de *Pinus radiata* (Álvarez et al., 1999; Rubilar, 2005), sin embargo, es común observar un mayor crecimiento y homogeneidad de la plantación al primer año de crecimiento en repuesta a la aplicación de N en suelos erosionados de primera rotación. Datos de Álvarez et al. (1999) en Andisoles indican respuestas de 20% a la fertilización con 20 g de N por planta al primer y segundo año de la plantación y de 160% a 200 g de P por planta al primer año. Respuestas diferenciadas de 10 a 40% a la fertilización al establecimiento de dos familias genéticas de *Pinus radiata*, a los 3 años de crecimiento, han sido reportadas por Toro et al. (1998).

Eucalyptus

En el caso de especies del género *Eucalyptus*, mezclas de fertilizantes específicas para cada sitio que van de 70 a 350 g de N, P, K y B, en combinaciones de uno o más elementos, han sido aplicadas de la VI a la X región en Chile. Se han utilizado exitosamente dosis de entre 50 a 100 g de N y 25 a 100 g de P por planta al establecimiento, seguidas de fertilizaciones al segundo y tercer año (Bonomelli y Suárez, 1999a, 1999b).

Trabajos conducidos por Forestal Colcura y Forestal Arauco estudiando la aplicación de fertilizantes líquidos en casilla de plantación a *Eucalyptus globulus*, junto con fertilización sólida, mostraron incrementos de 1 a 3 m de altura adicionales a los 4 años de establecida la especie (Fuentes y Rebolledo, 1998). Sin embargo, no se han encontrado respuestas económicamente atractivas para la fertilización de *Eucalyptus nitens* con roca fosfórica en suelos rojos arcillosos con alta pluviometría (Barrera, 2006). Bonomelli y Suárez (1999a, 1999b), reportaron ganancias de 33 a 57% en biomasa total en *Eucalyptus globulus*, a los 3 años, en respuesta a la fertilización completa consistente en 50 g de N, 22 g de P, 42 g de K, 24 g de S, 12 g de Mg y 3.3 g de B al establecimiento, en el Valle Central y la Costa y de 33% para *Eucalyptus nitens* en la Precordillera Andina a la misma edad. La magnitud de la respuesta coincide con los datos de investigación reportados en la literatura internacional (Pereira et al., 1989). En algunos sitios con presencia de heladas, se han reportado efectos negativos a la fertilización intensa debido al estado de suculencia y susceptibilidad de tejidos de estas especies bajo condiciones de crecimiento acelerado (Geldres y Schlatter, 2004).

Las deficiencias de nutrientes en plantaciones forestales están altamente relacionadas con el uso anterior del suelo y su grado de erosión. Suelos altamente erosionados, o abandonados debido a un intenso y extractivo uso agrícola anterior, presentan, en muchos casos, buena respuesta a la fertilización. Las actuales tendencias de los programas de fertilización al establecimiento de la plantación se basan en el desarrollo de programas de manejo nutricional por sitio específico. En estos programas se consideran variables que afectan el potencial de crecimiento del material genético en un sitio particular con un clima determinado, las prácticas previas de manejo y las propiedades físicas y químicas específicas del suelo.

Combinación de estrategias y desafíos futuros

Sin duda, los beneficios de la combinación de preparación de suelo, control de malezas y fertilización son ampliamente aceptados (Nambiar, 1984; Mason y Milne, 1999), sin embargo, la adecuada selección de técnicas silvícola y la intensidad del manejo debe ser evaluada en función de los retornos económicos esperados a la edad de rotación (Albaugh et al., 2004). En la evaluación económica es fundamental considerar integralmente las reducciones o aumentos de costos en la siembra, replantes, control de maleza, sobrevivencia y calidad de la madera producida, además de las posibles interacciones con vientos, heladas, plagas o enfermedades, que puedan ser exacerbadas por mala selección de estrategias. Un aspecto de gran importancia en el éxito de un programa de silvicultura por sitio específico constituye la oportunidad de ejecución de las operaciones silvícolas, que deben ser planificadas y ejecutadas en las ventanas apropiadas para lograr las respuestas esperadas.

El establecimiento de plantaciones forestales requiere de inversiones de largo plazo, por lo cual es crucial predecir respuestas específicas al sitio para poder realizar decisiones de manejo que sean efectivas en costo y económicamente rentables (Mason y Milne, 1999).

Uno de los mayores desafíos que enfrenta el establecimiento intensivo de plantaciones forestales es la correcta definición de especies y genotipos, junto con la adecuada combinación de técnicas silvícolas que permitan maximizar la rentabilidad del sitio de una manera sustentable o ecológicamente aceptable. El uso de sistemas de silvicultura de precisión apoyados por información de sensores remotos y programas de modelos espaciales de información son herramientas de apoyo en la adecuada toma de decisiones, sin embargo, la efectividad de estas herramientas requiere de una adecuada comprensión de los procesos ecofisiológicos inherentes al desarrollo de especies y genotipos forestales.

Bibliografía

- Albaugh, T.J., R. Rubilar, J. Alvarez y H.L. Allen. 2004. *Radiata pine* response to tillage fertilization and weed control in Chile. *Bosque*, 25(2).
- Allen, H.L. y T.J. Albaugh. 2000. Understanding the interactions between vegetation control and fertilization in young plantations: Southern pine plantations in the Southeast USA. *In* Proceedings seminário sobre manejo de plantas infestantes em áreas florestais, Oct 18-19, 2000, Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP, Brazil.
- Alvárez, M.J., J. Rodríguez y D. Suárez. 1999. Mejoramiento de la productividad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, a través de un método racional de fertilización. *Bosque* 20(1):23-36.
- Aparicio, J. y J. López. 1995. Potencial de *Eucalyptus grandis* en los suelos del sudeste de la provincia de corrientes y algunos factores edáficos relacionados con la producción de madera. *Revista Bosque* 16(2):81-89.
- Barrera, V. 2006. Evaluación del crecimiento de *Eucalyptus nitens* de 5-7 años de edad, con diferentes manejos nutritivos, en la región de Los Lagos. Tesis de grado Universidad Austral de Chile. 57 p.
- Bonomelli, C. y D. Suárez. 1999a. Fertilización del Eucalipto. 1 Efecto sobre la acumulación de biomasa. *Ciencia e Investigación Agraria* 26 (1):1-11.
- Bonomelli, C. y D. Suárez. 1999b. Fertilización del Eucalipto. 2 Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio. *Ciencia e Investigación Agraria* 26 (1):12-20.
- Donald, D., P. Lange, C. Schutz y A. Morris. 1987. The application of fertilizers to pines in Southern Africa. *South African Forestry Journal* 141:53-62.
- Fernández, R., F. Rodríguez, A. Lupi, A. Hernández y H. Reis. 1999. Efectos de diferentes prácticas de preparación de suelo y fertilización sobre el crecimiento inicial de *Pinus sp* en el NE argentino. *Revista Bosque* 20(1):47-55.
- Fuentes, C. y J.M. Rebolledo. 1998. Fertirrigación en *Eucalyptus*: Uso de fertilizantes líquidos en plantaciones. X Silvotecná, IUFRO Conference.
- Garau, A., G. Meyer y D. de Filippini. 2006. Establecimiento de *Pinus taeda* en la provincia de Corrientes (Argentina): Efecto del herbicida metsulfurón-metil sobre el crecimiento y la sobrevivencia de los plantines. *Revista Bosque* 27 (2):108-114.
- Geldres, E. y J.E. Schlatter. 2004. Crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* sobre suelos rojo arcillosos de la provincial de Osorno, Décima Región. *Revista Bosque* 25(1):95-101.
- Gerding, V., O. Fuentes, J. Schlatter y P. González. 1985. Fertilización con boronotrocalcita en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* en suelos graníticos. *Revista Bosque* 6(2):100-112.
- Ibañez, C., P. Núñez, R. Pezzutti y 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. *Revista Bosque* 25(2):69-76.
- Kissel, D.E., M.L. Cabrera, N. Vaio, J.R. Craig, J.A. Rema, y L.A. Morris. 2004. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a Loblolly pine plantation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1744-1750.
- Lupi, A., R. Fernández, H. Reis, J. Bernio, J. Elizaul y H. Reboratti. 2000. Evaluación inicial de técnicas de establecimiento post-tala rasa sobre el crecimiento inicial de *Eucalyptus grandis* hill. ex maiden en el Noreste Argentino. Documento resumen en: Actas de Congreso Mundial IUFRO 2000. Malasia.
- Mason, E.G. y P.G. Milne. 1999. Effects of weed control, fertilisation and soil cultivation on the growth of *Pinus radiata* D. Don at mid-rotation in Canterbury. *Canadian Journal of Forest Research* 29:985-982.
- Mason, E. 2004. Effects of soil cultivation, fertilisation, initial seedling diameter and plant handling on the development of maturing *Pinus radiata* D. Don on Kaingaroa gravelly sand in the Central North island of New Zealand. *Revista Bosque* 25(2):43-55.
- May, J. 1984. Southern pine nursery handbook. United States Department of Agriculture. Forest Service Southern Region.
- McKeand, S. y H.L. Allen. 2005. Summary of IEG-40 meeting: Silviculture and genetic impacts on productivity of Southern pine Forests. *Southern Journal of Applied Forestry* 29(2):2005.
- Morris, L.A. y R.G. Campbell. 1991. Soil and site potential. 1991. *En*: Duryea, M.L.; Dougherty, P.M. (Ed.). *Forest regeneration manual*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.117-142.
- Nambiar, E. 1984. Manipulation of water and nutrients in plantations of fast growing species. p. 489-506. *In*: D.C. Grey, A.P.G. Schonau y C.J. Schutz (Ed.). *Proceedings IUFRO Symp. Site and productivity of fast growing plantations*. Pretoria and pietermaritzburg. South Africa 30 April-11 May 1984. Forestry Research Institute Department of Enviroment Affairs. Pretoria. 957 p.
- Pereira, J., S. Linder, M. Araujo, H. Pereira y J. Landsberg. 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations a case study. *In*: Pereira J., Landsberg J. Editors. *Biomass production by fast growing trees*, p.101-121.

Bibliografía

- Pezzutti, R. 2000. Efecto del control de malezas en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus taeda* L. del NE de Corrientes, Argentina. *En: Silvoargentina: Avances en el establecimiento de plantaciones de coníferas subtropicales en el Mercosur*. Gob. Virasoro. 16 p.
- Pezzutti, R. y 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*. *Revista Bosque* 25(2):77-87.
- Rubilar, R. 1998. Control de malezas y fertilización de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don establecidas en suelos metamórficos del predio Quivolgo II, Constitución, VII Región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad de Chile.
- Rubilar, R.A. 2005. Environmental constraints on growth phenology, leaf area display, and above and belowground biomass accumulation of *Pinus radiata* (D. Don) in Chile. Ph.D. Dissertation. Dept. of Forestry and Environmental Resources, North Carolina State Univ., Raleigh, NC. 190 pp.
- Rubilar, et al., 2008. Three-year response of *radiata* pine plantations to weed control duration and fertilization on metamorphic soils of the VII región Chilean Coastal Range. *Revista Bosque* 29(1): (en impresión).
- SAGPYA. 2006. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>
- Tollenaar, H. 1970. Deficiencias de boro en plantaciones de pino en la zona central de Chile. Instituto Forestal Latino-Americano de Investigación y Capacitación. Mérida, Venezuela. 1970. *Boletín* N° 33-34, p. 80-86.
- Toro, J., R. Rubilar, C. González. 1998. Métodos para aumentar la productividad de plantaciones de *Pino radiata* y *Eucalyptus globulus* entre las regiones séptima y octava, *In: Simposio IUFRO: Manejo sustentable de los recursos forestales, Desafío del siglo XXI*. Primer Congreso Latinoamericano. Valdivia, noviembre 1998, 10 p.
- Toro, J. y S. Gessel. 1999. *Radiata* pine plantations in Chile. *New Forests* 18:33-44.
- Watt, M.S., D. Whitehead, E. Mason, B. Richardson y M.O. Kimberley. 2003. The influence of weed competition for light and water on growth and dry matter partitioning of young *Pinus radiata*, at a dryland site. *Forest Ecology and Management* 183: 363-376.
- Wollons, R. y P. Snowdon. 1981. Theory and practice of forest fertilization. *In: Proceedings Australian forest nutrition workshop. Productivity in Perpetuity*. Melbourne. Australia 1981. CSIRO. 367 p. 

