



Restauración ecológica en la zona central de Chile: Técnicas Silvícolas para la Supervivencia y Crecimiento de Ruil - Hualo y Peumo bajo Condiciones de Estrés Hídrico

Quiroz, I., Pincheira, M. y Hernández, A.

El alto endemismo y el mal estado de conservación de los bosques naturales de la zona central de Chile, hotspot de la biodiversidad mundial, en particular de especies de alto valor ecológico como ruil, hualo, guindo santo y otras asociadas, han llevado a la necesidad de evaluar el efecto de la aplicación de técnicas silvícolas para atenuar el estrés post establecimiento al efectuar plantaciones con ellas y así asegurar el éxito de potenciales planes de restauración.

El Instituto Forestal (INFOR), a través del Centro Tecnológico de la Planta Forestal (www.ctpf.cl), ha establecido durante los últimos 3 años una serie de experiencias en vivero y terreno que evalúan el efecto de la modificación de los parámetros fisiomorfológicos sobre la supervivencia y crecimiento de especies nativas en ambientes de la zona central del país con déficit hídrico.

Entre los efectos evaluados se encuentra la variación de la nutrición y la modificación del volumen radical durante la etapa de viverización, el uso de cobertura natural y artificial como protección de la radiación directa, el riego y la fertilización de las plantas establecidas.

Esta línea de investigación se sustenta en el alto endemismo y mal estado de conservación de los bosques naturales de Chile central, consecuencia de un intenso e histórico proceso de degradación, que ha llevado a un reconocimiento mundial de la necesidad de implementar y asegurar acciones de restauración y preservación (Myers et al. 2000; Echeverría et al. 2006)

Entre las especies de mayor valor ecológico con problemas de conservación y asociadas con las cuales INFOR se encuentra experimentando se destacan: *Nothofagus alessandrii* (Ruil), cuya corta está actualmente prohibida y catalogado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN) como especie "en peligro crítico de extinción"; *Pitavia punctata* (Pitao), "en peligro crítico"; *Nothofagus glauca* (Hualo), "vulnerable"; *Eucryphia glutinosa* (Guindo Santo), *Aextoxicon punctatum* (Olivillo) y *Citronella mucronata* (Naranjillo), categorizadas como "datos insuficientes" (UICN 2001; Hechenleitner et al., 2005).

Entre las especies asociadas estudiadas se destaca *Cryptocarya alba* (Peumo), *Nothofagus obliqua* (Roble), *Laurelia sempervirens* (Laurel) y *Persea lingue* (Lingue), que si bien se encuen-

tran comúnmente, constituyen algunas de las especies más importantes de los bosque mediterráneos de Chile, comparando similares nichos ecológicos (Hechenleitner et al., 2005; Donoso et al., 2011).

Aun cuando el área de distribución natural de estas especies se caracteriza por presentar variados factores limitantes, son la insolación, el déficit hídrico y nutricional, y las altas temperaturas aquellos que determinan en mayor medida su supervivencia y crecimiento (Cabrera, 2002; Donoso et al., 2011). No obstante, estudios que establezcan la significancia y magnitud de los factores restrictivos del sitio pre y post establecimiento son escasos, aun cuando su conocimiento es de vital importancia para asegurar la efectividad de potenciales iniciativas de revegetación (Santelices et al., 2012).

Entre los ensayos de restauración establecidos por INFOR, destaca el de establecimiento de especies nativas en la comuna de Curepto, predio La Montaña, actividad financiada desde 2010 por TRANSNET SA, Grupo CGE, cuyo objetivo es evaluar el efecto de la variación de las prácticas silvícolas sobre la supervivencia y crecimiento inicial de especies nativas.

Entre las prácticas evaluadas se encuentra el aumento del volumen radical y el uso de malla de protección solar para las especies hualo y peumo, y adicionalmente, en el caso de ruil se evalúa el efecto en el tiempo de la aplicación de distintos esquemas de riego.

Material y método

Para el establecimiento del ensayo, entre junio de 2009 y junio de 2010 en el vivero del INFOR-CTPF, fueron producidas 588 plantas de hualo, 588 plantas de peumo y 1764 plantas de ruil, de semillas colectadas en Curepto (35°16'S y 72°04'O), Región del Maule, Chile.

Se utilizó bandejas de poliestireno con un volumen por cavidad de 130 y 280 cm³. Se utilizó sustrato de compost pino. De acuerdo a los requerimientos de cada especie se aplicó un régimen de riego y se fertilizó según etapa de crecimiento, con productos de la línea Ultrasol® (SOQUIMICH). En forma preventiva fueron tratadas quincenalmente con fungicidas (como Thiuram y Triadimefon).



Culminada la viverización, las plantas, fueron establecidas en la comuna de Curepto, en el predio La Montaña (35°10'S y 72°05'O). Sitio con temperatura media anual de 13,9 °C y precipitación media anual de 709 mm, concentrada entre junio y agosto, con un periodo de marcado estrés hídrico (diciembre-febrero).

Los individuos fueron establecidos a una densidad de 2.000 arb-ha⁻¹. Se aplicó una fertilización inicial (Sep 2010) por planta consistente en 50 g de fosfatodiamónico ((NH₄)₂HPO₄), 20 g de boronatrocalcita (CaNaB₅O₉) y 30 g de salitre potásico (KNO₃).

En el caso de hualo y peumo, se evaluó el efecto sobre la supervivencia del volumen radical (tamaño de contenedor) y de protección con malla. Se empleó un diseño factorial de bloques aleatorios, con tres repeticiones y la protección consistió en tres polines de acacia de 1 m de alto, equidistantes a 20 cm desde la planta, rodeados por malla Raschel® (80%).

Las unidades muestrales quedaron determinadas por 49 plantas. Adicionalmente en el caso de ruil, se evaluó el efecto sobre la supervivencia de tres regimenes de riego mensuales, 0 (sin aplicación), 2 riegos (diciembre y febrero) y 5 riegos (diciembre, enero, febrero, marzo y abril). En cada oportunidad se incorporó al suelo 10 L de agua por planta.

Fueron realizadas tres evaluaciones de crecimiento en diámetro de cuello (DAC, $\pm 0,01$ cm) y altura total (H $\pm 0,1$ cm); previa al establecimiento (mayo 2010), culminada la primera temporada de crecimiento (mayo 2011) y a fines de la segunda temporada de crecimiento (abril 2012). En cada oportunidad se determinó la supervivencia por tratamiento.

El efecto del volumen radical, protección solar y riego sobre los atributos morfológicos y supervivencia, fue evaluado por especie mediante análisis de varianza (ANOVA), previo análisis de homogeneidad (Levene $P < 0,05$) y normalidad (Shapiro-Wilks, $P < 0,05$). Diferencias significativas entre tratamientos fueron establecidas aplicando pruebas de comparación de medias Tukey-Kramer (5 % de significancia). Todos los análisis fueron realizados utilizando el software Infostat (V.2011p), extensión R-project (V.2.15.0).

Resultados

Los resultados obtenidos muestran un efecto significativo ($P < 0,001$) del volumen radical sobre el DAC y la altura de las plantas en las tres especies culminada la etapa de viverización (2010) (Cuadro N° 1).

Cuadro 1. Efecto del volumen radical sobre el diámetro a la altura del cuello (DAC) y altura total de plantas de *Nothofagus alessandrii* (Ruil), *N. glauca* (Hualo) y *Cryptocaria alba* (Peumo), culminado el proceso de viverización mayo 2010, (Quiroz et al., 2012).

Especie	Volumen (cm ³)	DAC(mm)	Altura (cm)
Ruil	130	4,37 $\pm$ 1,17 b	42,8 $\pm$ 11,2 b
	280	5,50 $\pm$ 1,43 a	57,2 $\pm$ 13,7 a
Hualo	130	3,61 $\pm$ 1,01 b	36,3 $\pm$ 11,2 b
	280	4,53 $\pm$ 1,11 a	49,1 $\pm$ 14,4 a
Peumo	130	3,16 $\pm$ 0,67 b	18,1 $\pm$ 6,5 b
	280	3,54 $\pm$ 0,66 a	23,7 $\pm$ 8,1 a

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos de volumen radical por especie ($P < 0,05$).

Culminadas la primera y segunda temporada de crecimiento es posible apreciar los siguientes resultados:

Ruil: Se observa un efecto significativo de los tratamientos individuales y combinados; volumen radical, sombra y riego ($P < 0,05$). Sin embargo, luego de la segunda temporada el efecto individual del riego desapareció ($P > 0,05$). Sobre el crecimiento acumulado en altura de ambas temporadas no se observó un efecto significativo del riego. Con malla, las alturas fueron significativamente mayores, registrándose una altura promedio superior a los 100 cm. Solo el efecto de la protección con malla sobre la supervivencia resultó significativo luego de ambas temporadas.

Hualo: Culminada la segunda temporada de crecimiento no se observa diferencias significativas en DAC según volúmenes radicales ($P > 0,05$). No obstante, sobre aquellas plantas sin malla se observó un diámetro significativamente superior ($P < 0,05$). Contrario a lo ocurrido con el DAC aquellas plantas con malla registraron las mayores alturas totales ($P < 0,05$). Finalizadas ambas temporadas de crecimiento se observó una mayor supervivencia de aquellas plantas establecidas con malla de protección.

Peumo: Culminada la primera y la segunda temporada de crecimiento se observó un efecto significativo y negativo de la protección sobre el DAC ($P < 0,05$), sin malla se correlacionó un DAC significativamente mayor ($P < 0,05$). Luego de ambas temporadas la malla favoreció el incremento acumulado en altura ($P < 0,05$). La supervivencia se vio favorecida por la protección con malla ($P < 0,05$). El volumen radical resultó no significativo sobre las variaciones morfológicas y supervivencia luego ambas temporadas de crecimiento ($P < 0,05$).

Cuadro 2. Efecto de la protección con malla y volumen radical sobre el diámetro a la altura del cuello (DAC), altura total y supervivencia de plantas de *Nothofagus alessandrii* (Ruil, sin riego), *N. glauca* (Hualo) y *Cryptocaria alba* (Peumo), culminada la primera y segunda temporada de crecimiento en terreno (Quiroz et al., 2012).

Especie	Tratamiento		DAC (mm)		Altura (cm)		Supervivencia (%)	
	Protección	Volumen (cm ³)	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Ruil	Con malla	130	5,26±1,08 b	7,58±1,71 a	77,0±10,9 b	113,4±18,3 a	94,0±10,4 ab	93,2±10,1 ab
		280	5,38±1,11 b	7,88±1,64 a	87,9±11,8 a	114,4±16,3 a	99,3±1,2 a	99,3±1,2 a
	Sin malla	130	5,28±0,91 b	7,89±1,65 a	58,4±10,4 d	71,5±11,7 b	74,0±7,0 b	57,1±10,8 bc
		280	6,07±1,22 a	8,53±2,10 a	70,4±10,4 c	83,4±12,1 c	82,7±6,1 ad	55,1±17,4 c
Hualo	Con malla	130	4,39±1,21 a	6,25±1,54 b	47,6±15,4 b	75,8±28,9 a	93,9±5,4 a	89,8±12,4 a
		280	4,47±0,87 a	6,08±1,67 b	59,6±13,1 a	79,1±24,4 a	86,4±10,3 a	78,2±14,8 ab
	Sin malla	130	4,41±1,03 a	7,53±1,63 a	36,4±11,1 c	46,8±10,8 b	54,4±14,5 ab	42,2±11,8 bc
		280	4,53±0,98 a	8,04±2,34 a	50,6±10,0 b	61,0±12,3 b	40,8±25,5 b	29,9±20,0 c
Peumo	Con malla	130	3,12±0,53 b	3,32±0,56 b	31,7±7,8 a	44,3±12,3 a	99,3±1,2 a	99,3±1,2 a
		280	3,2±0,63 b	3,52±0,65 b	32,3±8,6 a	44,7±13,9 a	99,3±1,2 a	99,3±1,2 a
	Sin malla	130	3,78±0,70 a	4,26±0,74 a	24,0±4,9 b	27,2±5,6 b	98,0±2,0 ab	88,4±4,7 b
		280	3,57±0,70 a	4,06±0,74 a	25,2±7,3 b	29,0±7,7 b	95,3±3,1 b	89,1±4,2 b

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos de volumen radical por especie ($P < 0,05$).

Discusión

El efecto significativo del volumen radical sobre el DAC y altura de las tres especies culminada la viverización es coincidente con lo descrito para *Eucalyptus* y *Pinus*. Un mayor volumen radical determina un mayor crecimiento en diámetro y altura como consecuencia del aumento de la superficie de absorción y disponibilidad de agua y nutrientes en el medio (Dominguez-Larenas et al., 2006; Close et al., 2010).

La tendencia general observada, orientada a la igualación morfológica entre plantas con volumen radical de 130 y 280 cm³, y el nulo efecto del volumen radical sobre la supervivencia luego de ambas temporadas de crecimiento se explica, al igual que en *Eucalyptus globulus* Labill. y *Pinus pinea* L. por las altas tasas de crecimiento iniciales y la buena preparación de suelo, similar estado nutricional inicial, buena manipulación preplantación y adecuada precipitación postplantación, factores que atenuaron el shock inicial postestablecimiento (Dominguez-Larenas et al., 2006; Close et al., 2010).

La pérdida de efecto del riego sobre la supervivencia y morfología de las plantas de ruil es coincidente con datos publicados por Santelices (2005), que al evaluar el comportamiento de *E. globulus* durante las primeras ocho temporadas

de crecimiento no encontró diferencias morfológicas y de supervivencia significativas luego de la aplicación de 2 y 3 litros de agua al establecimiento, y 0 y 2 litros durante el mes de enero (mes de mayor restricción hídrica).

Por otra parte, el uso de malla de protección resulta determinante para la supervivencia de las plantas establecidas. La malla actúa como barrera física de la radiación, evita la fotoinhibición y la fotoprotección, mejorando la disipación de la energía (temperatura), el déficit de presión de vapor, concentración de CO₂ y flujos de aire (viento), favoreciendo la mantención de la turgencia de los tejidos (Bellot et al., 2002; Cabrera, 2002; Puértolas et al., 2010).

El efecto positivo de la regulación de la radiación sobre la supervivencia y crecimiento de plantas es extensivo a otras especies. Sobre plantas viverizadas de *Nothofagus obliqua* Mirb (Roble), *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. et Mil. (Raulí) y *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst (Coihue) han sido reportadas mayores tasas de crecimiento y supervivencia con una cobertura cercana al 40 % (Aguilera y Fehlandt, 1981). Mientras que en específico de *N. nervosa* se han reportado mayores tasas de crecimiento y supervivencia con una cobertura entre un 60 y 80 % (Grosse y Bourke, 1988; Peyrou, 2002).

Finalmente, la disminución significativa del DAC y el aumento significativo de la altura en las tres especies evaluadas con cobertura es coincidente con lo registrado por Santelices et al. (2012), quienes en la única experiencia previa de este tipo en plantas de *N. alessandrii* establecidas en terreno, bajo condiciones de estrés térmico y lumínico, determinaron una correlación negativa entre la cobertura y el DAC, y positiva entre la cobertura y la altura. Esta fotorespuesta estaría explicada por un cambio en los patrones de distribución de biomasa, tal que, la disminución de la radiación PAR inducida por la malla favorecería que la planta redistribuyese su biomasa hacia la parte aérea apical con el objeto potenciar el desarrollo superior del tallo y hojas para suplir una baja disponibilidad de luz (Reich, 2002).

Conclusiones

Los conocimientos disponibles sobre los efectos de la aplicación de técnicas silviculturales centradas en asegurar la supervivencia y crecimiento de plantas en programas de restauración ecológica son escasos. Sin embargo, con los antecedentes previos es posible concluir que:

El volumen radical afecta la morfología de plantas de rauli, hualo y peumo durante la viverización. No obstante, en el largo plazo un mayor volumen no se correlaciona con una mayor supervivencia, siendo suficiente el establecimiento de plantas con volumen de 130 cm³.

El uso de malla de protección constituye una herramienta efectiva y absolutamente necesaria para asegurar la supervivencia y crecimiento de las tres especies estudiadas luego de la primera y segunda temporada de crecimiento.

Bajo las condiciones físico-ambientales del sitio evaluado, la implementación de regímenes de riego, en el largo plazo, no se justifica.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento entregado por TRANSNET SA, Grupo CGE, bajo el marco del proyecto "Establecimiento de especies nativas en la comuna de Curepto, predio La Montaña" .

Referencias

- Aguilera, L. A., Fehlandt, A., 1981. Desarrollo inicial de *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst., *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Bl. y *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Bl. bajo tres grados de sombra. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 101 p.
- Bellot, J., Ortiz De Urbina, J., Bonet, A. Sánchez, J., 2002. The effects of tree shelters on the growth of *Quercus coccoifera* L. seedlings in a semiarid environment. *Forestry* 75(1): 89-106.
- Cabrera, H. 2002. Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 625-637.
- Close, D., Paterson, S., Corkrey, R., Mc Arthur, C., 2010. Influences of seedling size, container type and mammal browsing on the establishment of *Eucalyptus globulus* in plantation forestry. *New Forests* 39(1): 105-115.
- Domínguez-Lerena, S., Herrero, N., Carrasco, I., Ocaña, L., Peñuelas, J., Mexal, J., 2006. Container characteristics influence *Pinus pinaster* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management* 221: 63-71.
- Donoso, S., Peña, K., Pacheco, C., Luna, G., Aguirre, A., 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricciones hídricas. *Bosque* 2(2): 187-195.
- Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J., Lara, A., Newton, A., 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation* 130: 481-494.
- Grosse, H. y Bourke, M., 1988. Desarrollo de rauli en vivero bajo distintos niveles de luminosidad y espaciamiento. *Ciencia e Investigación Forestal* 2(3): 1-11.
- Hechenleitner, P., Gardner, M., Thomas, P., Echeverría, C., Escobar, B., Brownless, P., Martínez, C., 2005. Plantas Amenazadas del Centro-sur de Chile. Distribución, Conservación y Propagación. 1ª ed. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. Valdivia, Chile. 188 p.
- Myers, N., ittermeler, R., ittermele, C., Da Fonseca, G., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Peyrou, M., 2002. Capacidad fotosintética de plántulas de tres especies del bosque mixto de *Nothofagus* y su relación con el manejo silvícola. Tesis de grado. Universidad Nacional del Comahue. San Carlos de Bariloche, Argentina. 86 p.
- Puértolas, J., Olliet, J., Jacobs, D., Benito, L., Peñuelas, J., 2010. Is light the key factor for success of tube shelters in forest restoration plantings under Mediterranean climates?. *Forest Ecology and Management* 260: 610-617.
- Quiroz I., Pincheira M., Hernández JA García E. Gonzalez M. Soto H. 2012. Efectos de técnicas silvícolas sobre la supervivencia y crecimiento de *Nothofagus alessandrii*, *Nothofagus glauca* y *Cryptocarya alba* en planes de restauración establecidos bajo condiciones de estrés hídrico. En revisión.
- Reich, P., 2002. Root-shoot relations: optimality in acclimation and adaptation or the "Emperor's New Clothes"? En Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U, editors. *Plant Roots, The hidden half*. New York: Marcel Dekker, Inc. 205-220 p.
- Santelices, R., 2005. Desarrollo de una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. *Bosque* 26(3): 105-112.
- Santelices, R., Navarro, R., Drake, F., 2012. Establishment of a *Nothofagus alessandrii* plantation using different levels of shade and weed control methods in Talca province, central Chile. *Southern Forests* 74(1): 71-76.
- UICN, 2001. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. p. 33.