

Volumen 17 N° 3
Diciembre 2011

ISSN 0718 - 4530 Versión impresa
ISSN 0718 - 4646 Versión en línea

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL



INSTITUTO FORESTAL
CHILE



ISSN 0718 - 4530 Versión impresa
ISSN 0718 - 4646 Versión en línea

VOLUMEN 17 Nº 3

**CIENCIA E
INVESTIGACIÓN
FORESTAL**

DICIEMBRE 2011

RELACIONES INTERNACIONALES Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA INFOR

**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL es una revista científica, arbitrada, periódica y seriada del Instituto Forestal, Chile, que es publicada en abril, agosto y diciembre de cada año.

Director	Hans Grosse Werner	INFOR	Chile
Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR – IUFRO	Chile
Consejo Editor	Santiago Barros Asenjo Braulio Gutiérrez Caro Jorge Cabrera Perramón	INFOR – IUFRO INFOR Concepción INFOR Valdivia	Chile Chile Chile
Comité Editor	José Bava Leonardo Gallo Mónica Gabay Heinrich Schmutzhenhofer Marcos Drumond Sebastiao Machado Antonio Vita Juan Gastó Miguel Espinosa Sergio Donoso Vicente Pérez Camilo Aldana Glenn Galloway José Joaquín Campos Ynocente Betancourt Carla Cárdenas Alejandro López de Roma Isabel Cañelas Gerardo Mery Markku Kanninen José Antonio Prado Concepción Lujan Oscar Aguirre Margarida Tomé Zohra Bennadji Florencia Montagnini John Parrotta Osvaldo Encinas	CIEFAP INTA SAyDS IUFRO EMBRAPA UFPR UCH UC UDEC UCH USACH CONIF CATIE CATIE UPR MINAMBIENTE – IUFRO INIA INIA - IUFRO METLA - IUFRO CIFOR FAO UACH UANL UTL - IUFRO INIA - IUFRO U Yale - IUFRO USDAFS - IUFRO ULA	Argentina Argentina Argentina Austria Brasil Brasil Chile Chile Chile Chile Chile Chile Colombia Costa Rica Costa Rica Cuba Ecuador España España Finlandia Indonesia Italia México México Portugal Uruguay USA USA Venezuela

Dirección Instituto Forestal
Sucre 2397 - Casilla 3085 - Santiago, Chile
Fono 56 2 3667115 Fax 56 2 2747264
Correo electrónico sbarros@infor.gob.cl

Valor suscripción anual (tres números y eventualmente uno extraordinario): ch \$ 15.000 y 10.000 para estudiantes. Para el extranjero US \$ 30, más costo envío. Valor números individuales ch \$ 5.000 y US \$ 10.

La Revista no se responsabiliza por los conceptos, afirmaciones u opiniones vertidas por los autores de las contribuciones publicadas. Se autoriza la reproducción parcial de la información contenida en la publicación, sin previa consulta, siempre que se cite como fuente a Ciencia e Investigación Forestal, INFOR, Chile.

ENSAYO DE IMPLANTACIÓN DE PASTURA EN BOSQUE DE PINO PONDEROSA

Buduba, C¹, Hansen, N¹, Bobadilla, S¹, Lexow, G¹ y Escalona, M²

RESUMEN

Identifica al ecotono estepa bosque andino patagónico argentino un régimen hídrico de tipo mediterráneo y la presencia de vientos secos, predominantes del Oeste. La escasa oferta forrajera que actualmente brinda el ecotono está vinculada a las condiciones climáticas y a su historia de uso ganadero poco sustentable.

Las condiciones indicadas implican un bajo número de animales por hectárea, siendo intensivo el uso de los sitios que por características topográficas son más húmedos y una escasa utilización de los predominantes lugares altos y secos.

La implantación de árboles en dicha porción del paisaje podría moderar las adversas condiciones climáticas favoreciendo la presencia de forraje. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de una experiencia de siembra con cuatro especies forrajeras en un bosque de *Pinus ponderosa* implantado en el ecotono patagónico.

Fue seleccionado un rodal de 14 años ubicado en la provincia del Chubut (42° 17' LS, 71° 5' LO), bajo condiciones de precipitación media anual de 430 mm. Se realizó un raleo en 1.250 m², obteniendo 667 árb ha⁻¹, 8 m² de área basal y 46 % de apertura de canopy. En un suelo areno franco profundo se retiraron los residuos forestales y el incipiente horizonte orgánico, pasando luego un rastrillo de siembra.

En julio de 2009 se dispuso, en parcelas de 1,44 m², un diseño aleatorizado con 14 tratamientos (n = 9), conformados por cuatro especies (alfalfa, trébol rojo, agropiro, festuca) solas o combinadas. Al final del verano (período seco) se realizó un recuento de plantas en donde el agropiro se diferenció significativamente del resto (ANVA, Tukey, p<0,05), con un promedio de 39 plantas m⁻². El agropiro es una gramínea perenne cultivada en zonas con condiciones edafoclimáticas limitantes que podría representar una importante mejora forrajera.

Esta experiencia es parte de un proyecto orientado a mejorar la oferta forrajera en el ecotono, utilizando al bosque de pino como facilitador.

Palabras clave: Siembra, estepa, bosque, pastura.

1 INTA Esquel, Chubut, Argentina. cgbuduba@correo.inta.gov.ar

2 Facultad de Ingeniería, UNPSJB, Esquel, Chubut, Argentina.

SUMMARY

The ecotone steppe andino patagónico forest is under a mediterranean climate regime, with westerly dry winds. Climate and overgrazing history resulted in a low carrying capacity, with intensive grazing on meadows and a relative low use of higher and dryer slopes.

Tree plantation on these sites could moderate the effect of harsh climate conditions leading to improved grass offer.

This paper presents results obtained with four species (alfalfa, red clover, fescue and wheatgrass) under a 14 years old *Pinus ponderosa* forest in the ecotone zone.

The site is located in the Chubut province of Argentina (42° 17' SL , 71° 5' WL) with 430 mm of annual rain average. The forest was thinned to 667 trees ha⁻¹, 8 m² of basal area and 46 % of open canopy.

A place on a deep sandy loam soil was cleared and, on July 2009, 14 plots were seeded. Each plot covered 1.44 m² and were allocated at random (n = 9) with the four species alone or mixed. At the end of summer (dry period) seedlings were counted.

Wheatgrass counting were higher than the other species (p<0,05) with an average of 39 seedlings m⁻². Weathgrass is a perennial grass well adapted to dry conditions that could improve the forage offer under these conditions.

This work is part of a project leading to improve forage production on the ecotone under pine forest cover.

Key words: Sowing, steppe, forest, pasture.

INTRODUCCIÓN

El ecotono estepa bosque andino patagónico argentino es utilizado para la producción ganadera extensiva. En un ambiente definido por un régimen hídrico de tipo mediterráneo y vientos secos predominantes del Oeste, el pastizal es el principal recurso natural que sustenta la actividad ganadera. Sin embargo, más de 100 años de uso han deteriorado el recurso, que hoy evidencia en amplias superficies serios procesos de degradación, disminuyendo la receptividad de animales por hectárea (Salomone *et al.*, 2008).

La implantación de árboles en el mismo paisaje es alentada desde hace unos 40 años por diferentes organismos técnico - científicos como una alternativa productiva que puede generar diversos beneficios socio ambientales. Esto generó la existencia de parches boscosos en una matriz de pastizal, que en la provincia del Chubut suman unas 21.500 ha, predominando los rodales con menos de 15 años (Bava *et al.*, 2006). La superficie de cada bosque es variable y en general tienen escaso manejo silvícola, siendo muy susceptibles a los daños por plagas y fuego.

Dadas las actuales características de numerosos rodales sin manejo, que presumiblemente mejorarían las condiciones micro ambientales para la implantación de especies herbáceas al reparo del viento, es factible realizar intervenciones que mejoren la calidad de la madera y la oferta forrajera.

En este marco se inició en el año 2009 un proyecto que estudia la factibilidad de implementar sistemas agroforestales en el ecotono de la provincia del Chubut.

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de una experiencia de siembra con cuatro especies forrajeras en un bosque de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. implantada en el ecotono patagónico argentino.

METODOLOGÍA

Se seleccionó un rodal de pino ponderosa en la provincia del Chubut (42° 17' lat. S, 71° 5' long. O), con una precipitación media anual de 430 mm, una superficie total de 9 ha, 14 años de edad y 5,8 m de altura de los árboles dominantes.

Se realizó un raleo entre filas (sistemático) en 1.250 m², obteniendo 667 árb ha⁻¹, 8 m² de área basal y 46 % de abertura del dosel (originalmente 2.000 árb ha⁻¹, 17 m² de área basal y 26 % de abertura del dosel).

En las filas remanentes también se extrajeron árboles, luego se podaron todos los ejemplares hasta 2 m y se retiraron manualmente los residuos forestales, inclusive el incipiente horizonte orgánico. El suelo era areno franco, profundo (+110 cm), con pH (1:1) 7,15 y 1,8 % de materia orgánica total en los 20 cm superficiales.

En julio de 2009 se dispusieron parcelas de 1,44 m² en un diseño aleatorizado con 14 tratamientos (n = 9):

- 1 - Agropiro / alfalfa (12 y 5 kg ha⁻¹);
- 2 - Festuca / trébol rojo (6 y 6 kg ha⁻¹);
- 3 – Festuca / alfalfa (6 y 5 kg ha⁻¹);
- 4 – Agropiro (20 kg ha⁻¹);
- 5 – Alfalfa (12 kg ha⁻¹);
- 6 – Trébol rojo (12 kg ha⁻¹);
- 7 – Festuca (10,5 kg ha⁻¹);
- 8 – Agropiro / alfalfa pelleteado (12 y 5 kg ha⁻¹);
- 9 – Festuca / trébol rojo pelleteado (8 y 6 kg ha⁻¹);
- 10 – Festuca / alfalfa pelleteado (6 y 5 kg ha⁻¹);
- 11 – Agropiro pelleteado (20 kg ha⁻¹);
- 12 – Alfalfa pelleteado (12 kg ha⁻¹);
- 13 – Trébol rojo pelleteado (12 kg ha⁻¹);
- 14 – Festuca pelleteado (10,5 kg ha⁻¹).

Los tratamientos pelleteados consistieron en pequeñas esferas de arcilla mezclada con semillas, dispuestas sobre la superficie del suelo según la propuesta de Fukuoka (2009). Se utilizó un rastrillo para marcar 4 surcos de siembra, cubriéndose con tierra sólo los primeros siete tratamientos (siembra tradicional).

Al final del verano (abril 2010) se realizó un recuento de plantas en cada parcela considerando los 2 surcos centrales. Para evaluar diferencias entre tratamientos se realizó un análisis de varianza (Tukey, $p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los 9 meses de la siembra, al concluir el período seco, el agropiro sembrado en surcos, con una densidad de 20 kg ha⁻¹ (tratamiento 4), logró el mayor número de plantas establecidas (Cuadro N° 1).

El siguiente tratamiento con mayor número de plantas se observó con agropiro / alfalfa, aunque la densidad para la primera especie sólo era de 12 kg ha⁻¹. Los tratamientos pelleteados (esferas de arcilla y semillas), que según Fukuoka (2009) podrían ser una alternativa para la implantación de pasturas en lugares secos y degradados, no resultaron ser significativamente adecuados.

El agropiro es una gramínea perenne cultivada en zonas con condiciones edafoclimáticas limitantes que necesita de un manejo adecuado para evitar que se encañe (los tallos lignificados son poco palatables). A bajas densidades el agropiro forma matas (menor calidad de forraje), no obstante, lograr densidades de 39 plantas m⁻² podría representar una importante mejora forrajera en el ecotono patagónico.

CUADRO N° 1
NÚMERO DE PLANTAS PROMEDIO POR ESPECIE Y TRATAMIENTO

Tratamiento	Número de plantas promedio por especie	Número de plantas promedio por tratamiento	Número de plantas promedio por m ²
1 - Agropiro ³ / alfalfa ⁴	10 / 0	10,11 ^b	14
2 - Festuca ⁵ / trébol rojo ⁶	4 / 0	4,22 ^{bc}	6
3 - Festuca ⁵ / alfalfa ⁴	1 / 0	0,89 ^{bc}	1
4 - Agropiro ³	28	28,22 ^a	39
5 - Alfalfa ⁴	1	1,22 ^{bc}	2
6 - Trébol rojo ⁶	0	0 ^c	0
7 - Festuca ⁵	3	2,67 ^{bc}	4
8 - Agropiro ³ / alfalfa ⁴ pelleteado	4 / 2	5,56 ^{bc}	8
9 - Festuca ⁵ / trébol rojo ⁶ pelleteado	2 / 1	2,22 ^{bc}	3
10 - Festuca ⁵ / alfalfa ⁴ pelleteado	5 / 1	6,33 ^{bc}	9
11 - Agropiro ³ pelleteado	7	7 ^{bc}	10
12 - Alfalfa ⁴ pelleteado	2	2,22 ^{bc}	3
13 - Trébol rojo ⁶ pelleteado	0	0,22 ^c	0
14 - Festuca ⁵ pelleteado	4	3,56 ^{bc}	5

(Letras diferentes manifiestan diferencias significativas $p < 0,05$)

3 *Thynopirum ponticum*.

4 *Medicago sativa*.

5 *Festuca arundinacea*.

6 *Trifolium pratense*.

CONCLUSIONES

Concluida una estación de crecimiento el agropiro mostró el mejor comportamiento al ensayar cuatro especies forrajeras para implantar una pastura en bosque de pino ponderosa.

Este resultado es parte de un proyecto orientado a mejorar la oferta forrajera en el ecotono, utilizando al bosque de pino como facilitador.

En este marco es necesario seguir investigando nuevas especies forrajeras, profundidad y época de siembra, variantes en la elaboración de esferas de arcilla y niveles de cobertura arbórea para el adecuado establecimiento.

Se prevé continuar durante los próximos años hasta lograr resultados a nivel predial y de esa manera, generar una herramienta que, al incentivar el manejo silvícola, mejore la calidad de la madera y la oferta forrajera del bosque.

AGRADECIMIENTOS

Al Señor Juan Calfupán por la confianza demostrada al permitir trabajar en su predio. A Gustavo Ocampo, Sergio Binda, Georgina Ciari y Cecilio Jones, un sincero reconocimiento por los valiosos aportes técnicos y por la ayuda en los trabajos de campo.

REFERENCIAS

Bava, J, J. D Lencinas, A. Haag, G. Aguado, 2006. Los bosques del Chubut. Distribución, estado y potencial para la producción maderera. Reporte basado en los resultados del proyecto: "Determinación de la materia prima disponible para la realización de proyectos de inversión forestales en las cuencas de Chubut", Asistencia técnica del CFI, DGB y P de la provincia del Chubut. 76 p. Disponible en <http://www.chubut.gov.ar/srnm/archives/030847.php?id=-1>.

Fukuoka, M., 2009. La senda natural del cultivo. Regreso al cultivo natural. Teoría y práctica de una filosofía verde. Ed. Comunitaria Mallín Ahogado, El Bolsón, Río Negro, Argentina. 300 p.

Salomone, J, M. E Llanos, A. San Martín, N. O Elissalde, S. Behr, 2008. Uso del suelo y degradación de tierras en la Provincia del Chubut. Evolución en los últimos veinte años. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.

SIMULACIÓN DE MANEJO SILVÍCOLA EN BASE A UMBRALES DE COBERTURA EN SISTEMAS SILVOPASTORILES COMPUESTOS POR *Festuca pallescens* y *Pinus ponderosa*.

Federico Letourneau¹, Gonzalo Caballé¹, Ernesto Andenmatten², Nicolás De Agostini³.

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles están sujetos a las interacciones que se generan entre sus componentes. Para asegurar el éxito productivo de estos sistemas el balance neto de las interacciones árbol-pasto debe ser neutro o positivo, de prevalecer la competencia el sistema no es sustentable en el tiempo.

Festuca pallescens, una de las principales especies forrajeras de la Patagonia Argentina, mostró buena adaptación a crecer bajo dosel de pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) en sistemas silvopastoriles. Estudios ecofisiológicos indican que el umbral crítico de cobertura arbórea para el cual el balance neto de las interacciones es neutro o positivo se encuentra próximo al 70 %. Por sobre este nivel, la fuerte competencia por radiación se contrapone con la facilitación generada por la disminución de la demanda atmosférica.

Las prácticas silvícolas de raleo permiten regular los niveles de cobertura para no sobrepasar el umbral crítico. Por lo tanto, se requiere de indicadores de fácil determinación para poder aplicar estas prácticas en el momento adecuado.

Es imprescindible conocer como cambia la cobertura a medida que los árboles se desarrollan. Esto se puede lograr mediante el empleo de modelos de crecimiento y rendimiento forestal. El simulador Piltriquitron, desarrollado por INTA, para pino ponderosa, si bien predice el crecimiento y el rendimiento, hasta el momento no simulaba los niveles de cobertura arbórea asociados.

Buscando completar este faltante de información se estableció la relación que existe entre parámetros estructurales del rodal y la cobertura en 61 rodales de pino ponderosa distribuidos entre los 36,5° y 42,5° LS. Luego se incorporó esta relación al simulador, y considerando los umbrales críticos se simularon esquemas de raleos para mantener los niveles de cobertura adecuados.

El mejor ajuste teniendo en cuenta el coeficiente de correlación, la distribución de

1 INTA EEA Bariloche, CC277 (8400) Bariloche, Río Negro, Argentina. fletourneau@bariloche.inta.gov.ar y gcaballe@bariloche.inta.gov.ar

2 INTA Centro regional Patagonia Norte, Argentina. eandenmatten@correo.inta.gov.ar

3 Servicio de Prevención y Lucha de Incendios Forestales, Pcia Río Negro, Argentina: ndeagostini@gmail.com

los errores de una muestra de validación y algunos parámetros prácticos relacionados con la aplicación al simulador se encontró entre apertura del dosel e índice de densidad relativa de Curtis (1982). Las simulaciones realizadas muestran que iniciando el ciclo forestal con 1.111 árboles ha^{-1} , para no sobrepasar el umbral crítico es necesario aplicar dos raleos, llegando al turno (45 cm de diámetro medio cuadrático) con 75 árboles ha^{-1} en un sitio de calidad intermedia, con una producción bruta total de 280 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, y 190 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de volumen comercial incluyendo raleos. Los resultados aquí obtenidos contrastan con los 125 árboles ha^{-1} al final del turno que proponían los únicos antecedentes preexistentes para Patagonia. Estos resultados muestran que para sostener el silvopastoreo sería necesario resignar fuertemente la producción de madera por unidad de superficie.

Palabras clave: *Festuca pallescens*, *Pinus ponderosa*, Manejo Silvopastoral

SUMMARY

Silvopastoral systems are subject to interactions generated between its components. The productivity of these systems is dependent on the interaction of environmental and management factors that affect the understory sward. If competition prevails the systems becomes unsustainable.

Festuca pallescens, a main forage species in Patagonia Argentina, showed good adaptation to grow under canopy of ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) in silvopastoral systems. Ecophysiological studies indicate that the critical threshold of tree canopy cover for which the net balance between positive and negative interactions are zero or positive, is close to 70%. Above this level, the facilitation effect generated by the lower atmospheric demand under the trees is lost due to a strong competition for radiation.

Silvicultural management can regulate the levels of canopy cover to not exceed the critical threshold. Therefore, it requires easy indicators to measure in order to apply these practices at the right time. At the same time, it is essential to know how coverage changes as trees grow. This can be achieved through the use of forest growth and yield models. Piltriquitron, is the model developed by INTA for ponderosa pine to predicts the growth and yield, but did not predict, until now, the levels of tree cover associated.

To complete this missing information we established the relationship between structural parameters of the stand and coverage in 63 ponderosa pine stands distributed between 36,5° SL and 42,5° SL. After that, we joined this relationship to the Piltriquitron model, and considering the critical threshold schemes were simulated thinning to maintain adequate levels of coverage.

The best fit taking into account the correlation coefficient, the distribution of errors in a validation sample and some practical parameters related to the application to the model was found between coverage and Curtis relative density index. Simulations showed that the forestry cycle starting with 1,111 trees ha⁻¹, not to exceed the critical threshold is necessary to apply two thinnings, reaching the turn (mean diameter 45 cm square) with 75 trees ha⁻¹ on a site of intermediate quality, with a total production of 280 m³ ha⁻¹, and 190 m³ ha⁻¹ of commercial volume, including thinning. The results obtained here contrast with the 125 trees ha⁻¹ at the end of the shift that proposed the only existing record for Patagonia. These results show that it is necessary to sustain the silvopastoral strongly resin wood production per unit area.

Key words: *Festuca pallescens*, *Pinus ponderosa*, Silvopastoral management

INTRODUCCIÓN

En una vasta región de la Norpatagonia Andina Argentina la ganadería ha sido y continúa siendo un modo tradicional y económicamente rentable del uso de la tierra. En muchos campos, la gramínea cespitosa *Festuca palleescens* es el principal recurso forrajero y el más extendido geográficamente.

En estos campos también se ha plantado *Pinus ponderosa*, en sitios relativamente marginales para la actividad ganadera, pero a veces se la ha visto como actividad que puede competir en el uso de la tierra. Esto se debe a que las condiciones del sotobosque en las plantaciones con fines industriales, con un intenso sombreado del suelo, no permite sostener el crecimiento de los pastos. Sin embargo con un adecuado manejo de la cobertura arbórea es posible compatibilizar ambas producciones, hacer un uso más eficiente del espacio y mejorar la economía rural.

Los sistemas silvopastoriles combinan estas actividades que pueden resultar en mejoras de productividad de la actividad ganadera a corto plazo, por el incremento del bienestar animal, como el que podría lograrse al disminuir la temperatura interna del animal en días de calor (Valtorta *et al.*, 1997), o al incrementar su sensación térmica por reducción de la velocidad del viento (Brandle *et al.*, 2001). A largo plazo se diversifica la producción de las actividades rurales y se puede obtener dividendos por venta de la madera. En los sistemas silvopastoriles los árboles y pastos ejercen influencia uno sobre otro, con consecuencias sobre su desempeño.

El estudio de la interacción entre plantas reconoce la existencia de un balance entre facilitación y competencia, donde ambos efectos son concurrentes, aunque uno de estos prevalece sobre el otro (Holmgren *et al.*, 1997). Estas interacciones han sido estudiadas también entre árboles y pastos, donde el componente arbóreo puede tener un efecto positivo sobre los pastos al mejorar su condición hídrica (Mosquera -Losada *et al.*, 2004), aunque la radiación sea menor que a cielo abierto. Sin embargo a niveles de sombreado intenso este beneficio puede no compensar la reducción de luz y las matas de *F. palleescens* pueden sufrir una caída notable de su productividad. Estos efectos han sido estudiados por Fernández (2003) y Fernández *et al.* (2006) encontrando que *P. ponderosa* ejerce un efecto positivo sobre esta especie, por que mejora su estado hídrico a la sombra en épocas de alta demanda estival. Aunque también midieron disminución de crecimiento en matas de *F. palleescens* cuando se supera el 70 % de cobertura.

Si bien se dispone de esta información que permite realizar recomendaciones en función de la cobertura actual de los rodales, son escasas las propuestas de esquemas de raleo para Sistemas Silvopastoriles en la zona de estudio. Laclau (1999) analizó la viabilidad económica de estos sistemas, y utilizó rangos de densidad relativa, como guía para el manejo del componente herbáceos, pero menciona que desconoce el efecto que tiene este rango de condiciones de cobertura sobre las especies herbáceas.

En este sentido los modelos de crecimiento y rendimiento, que son de uso habitual en la actividad forestal, pueden representar la estructura de un rodal y su cambio a través

del tiempo (Vanclay, 1994) y podrían ser útiles para predecir cambios en los niveles de cobertura. Por ejemplo, Waring y Schlesinger (1985) describen la relación específica entre el área de tejido conductivo y el área foliar. DeRose (2002), muestra como el índice de área foliar (IAF) esta relacionado con la densidad relativa, con valores crecientes del índice de área foliar a medida que aumenta la densidad.

Por otra parte Hale *et al.* (2009) relacionaron la transmisividad del dosel con parámetros sencillos de rodal, que eran especie- específicos. Para *P. ponderosa*, Laclau (2006) midió que aproximadamente un 70 % de la biomasa aérea en árboles de entre 5 y 35 cm de dap se encontraba en el fuste, es decir que algunos parámetros que describen la estructura del rodal pueden emplearse para predecir los cambios en el sombreado a nivel del suelo. En este sentido la fotografía hemisférica permite estimar con precisión la cobertura de una forestación y mediante inventario forestal establecer cuáles son los parámetros de rodal característicos de dicha situación.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es diseñar un esquema de raleos a través de simulaciones, donde las intensidades y oportunidades de raleo están relacionados a los niveles de apertura del dosel de *Pinus ponderosa*, que son críticos para el crecimiento de *Festuca palleescens*.

MATERIAL Y MÉTODO

Para cumplir los objetovos trazados se avanzó en tres sentidos:

Establecer una relación matemática entre niveles de apertura del dosel y parámetros de rodal de *P. ponderosa*, que pueda ser incorporada al simulador "Piltriquitron" 1.0 (Andenmatten *et al.*, 2007).

Calcular los umbrales críticos del crecimiento de *F. palleescens* en relación a la apertura del dosel de *P. ponderosa*.

Simular a partir de condiciones iniciales conocidas, el crecimiento del rodal, controlando que en ningún momento se superen los umbrales críticos para *F. palleescens*.

Estimador del Nivel de Apertura del Dosel Mediante Parámetros de Rodal.

Se dispuso de una base de datos de 109 sitios de muestreo del proyecto de INTA PNFOR 042151, de los cuales se seleccionaron 61 por su diversidad de tamaños, tratamientos de poda y raleo, calidades de sitio, y distribución geográfica (Figura Nro 1).

Los sitios se ubican en propiedades de productores rurales y empresas comerciales que colaboran con este proyecto.

Las parcelas de inventario se establecieron dentro de los rodales, de tal forma que en el campo de visión de la foto hemisférica la estructura del rodal fuese homogénea. En el Cuadro Nro 1, se describen los parámetros de rodal.

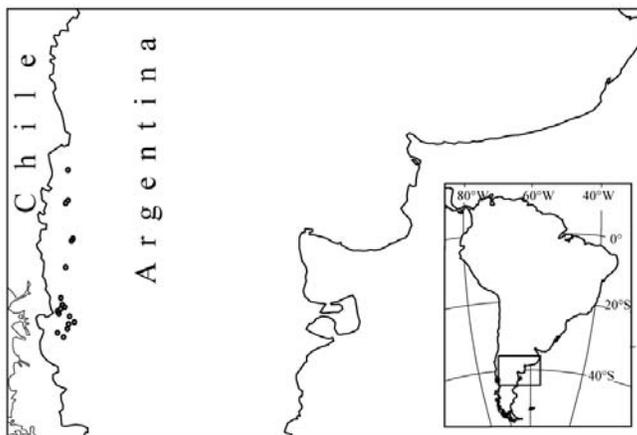


FIGURA N° 1
MAPA DE UBICACIÓN DE RODALES

CUADRO N° 1
DESCRIPCIÓN DE BASE DE DATOS DE PARCELAS (n=61)

	N [arb/ha]	G [m ² /ha]	Dg [cm]	DR	V [m ³ / ha]	ETOT [años]	H100 [m]	IS(20) [m]	Apertura del dosel [%]
Media	746	25	21	5,4	160	20	11,5	14,4	33,4
Mínimo	259	4	7	1,2	20	9	4	6,6	14,8
Máximo	2.581	98	40	21	720	37	28,4	21,9	79,1
Error típico	55	2	1	0,5	20	1	0,7	3	2

N: número de árboles/ha; G: área basal m²/ha; Dg: Diámetro del árbol de área basal promedio, cm.; DR: índice de Densidad Relativa de Curtis (DR=G/Dg^{0.5}), Apertura de Dosel; EAP: Edad a la altura del pecho, años. ETOT: Edad total, años. H100: altura dominante m., promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea. IS: Índice de sitio, es la H100 cuando el rodal tiene 20 años de edad al pecho, estimado utilizando la función de intercepción de crecimiento de acuerdo a Andenmatten y Letourneau (1997) y curvas de índice de sitio (Andenmatten y Letourneau, 1998).

Las fotos fueron tomadas con una Cámara digital Nikon Coolpix 5400, Lente hemisférico Delta T Device, UK. La cámara se ubicó en el centro de la parcela sobre un trípode con base nivelada. Las fotos fueron tomadas en condiciones de iluminación homogénea, apropiadas para la toma fotográfica. El procesamiento de las fotos se realizó con el programa Gap Light Analyzer, desarrollado por Simon Fraser University, Institute

of Ecosystem Studies. La selección del parámetro de rodal se basó en dos criterios, uno relacionado con los indicadores del ajuste estadístico. El otro criterio se basó en dos aspectos de la simulación, por un lado con la capacidad predictiva del simulador en relación al parámetro en cuestión. Por otro, con la capacidad operativa necesaria para incorporar este nuevo elemento en el simulador. Estos criterios fueron integrados a través de un puntaje que suma los valores asignados, dando mayor significación a los valores bajos, para seleccionar un parámetro.

En relación a los criterios estadísticos, se utilizó un orden por puntaje priorizando de forma conjunta la selección del parámetro de rodal que presentase el mayor R^2 ajustado y mayor precisión en la estimación de los datos para la validación. Además de los parámetros tradicionales de rodal (Cuadro N° 1), se incluyó la biomasa de hojas, el volumen de copa y la longitud de copa acumulada por hectárea, calculados a partir de ecuaciones de forma de copa y de biomasa por árbol (Letourneau *et al*, inédito).

Para todos los parámetros de rodal se empleó el mismo modelo, que fue del tipo exponencial:

$$\text{Apertura del Dosel}[\%] = a \times X^b \quad [1]$$

Donde:

a y b son coeficientes a ser ajustados.

X: es el parámetro de rodal a evaluar como estimador de la apertura del dosel.

Para el ajuste y validación se particionó la base de datos de forma aleatoria, se utilizaron 40 sitios para el procedimiento de ajuste, y los restantes 21 para estimar la precisión de la estimación.

La precisión se calculó de acuerdo a la ecuación Nro 2 como la proporción de observaciones del *set* de validación cuyo error de estimación estuviese comprendido entre +-10% del valor observado.

$$\text{Precisión de Estimación} [\%] = \left[\frac{\text{Cantidad de Errores Porcentuales} \begin{matrix} +10\% \\ -10\% \end{matrix}}{n_{\text{validación}}} \right] \times 100 \quad [2]$$

Donde:

$$\text{Error Porcentual} [\%] = \left[\frac{(\text{Apertura del Dosel}_{\text{observado}} - \text{Apertura del Dosel}_{\text{estimado}})}{\text{Apertura del Dosel}_{\text{observado}}} \right] \times 100 \quad [3]$$

Donde:

Apertura del Dosel [%]: es el grado de apertura observado mediante fotografía hemisférica y estimada mediante la ecuación número 1.

Error porcentual: es la diferencia entre el valor observado y estimado expresado en porcentaje del valor observado.

Precisión de la estimación: es la proporción, respecto del total de datos del set validación, cuyos errores porcentuales se encuentran entre $\pm 10\%$ del valor observado.

Cálculo de los Umbrales Críticos para el Crecimiento de *F. palleescens*

Para esto se dispuso de los datos de los estudios de Fernández (2003) y Fernández *et al.* (2006) y Caballé (inédito). Estos autores establecieron el pico de crecimiento relativo, valor integrado por el largo de hoja, el número de hojas por macollo y número de macollos por mata de *F. palleescens*.

Ambos estudios fueron realizados en el mismo sitio y puede considerarse los pertenecientes a una misma población, por lo que fueron agrupados, alcanzándose un total de 42 plantas medidas. Para cada estudio los valores de cobertura se reexpresaron en términos de apertura del dosel, y los crecimientos relativos se promediaron por nivel de apertura, con un total de siete valores promedios ($n=7$) para el rango 0 % - 100 % de apertura. Con estos datos consolidados se ajustó un modelo de crecimiento relativo para *F. palleescens* en función de niveles de apertura del dosel, este fue un polinomio de segundo grado con término constante:

$$\text{crecimiento relativo} = c \times \text{Apertura Dosel}^2 + d \times \text{Apertura Dosel} + e \quad [4]$$

Donde:

c, d y e, son coeficientes a ser ajustados

Apertura del dosel: como se definió con anterioridad.

Simulación de Esquemas de Raleo

Para predecir la evolución de la apertura del dosel se empleó el simulador Piltriquitron, que es un modelo de crecimiento y rendimiento de rodal basado en índice de sitio y la relación que existe entre la altura dominante e índices de la relación tamaño - densidad de árboles, como el factor de espaciamento y la densidad relativa de Curtis (1982), donde el crecimiento estimado a nivel de rodal se distribuye entre los individuos de acuerdo a su participación en la parcela. Para más referencias sobre los fundamentos del simulador puede consultarse Andenmatten *et al.* (2007).

Se seleccionaron cuatro situaciones de plantaciones de pino ponderosa a edades tempranas, con una densidad de plantas aproximada de 1.111 pl/ha, con calidades de sitio distintas (Cuadro N° 2). Estos datos se emplearon como condiciones iniciales, que se proyectaron hasta que la apertura del dosel llegaba a 30 %, Alcanzada esta condición se reprodujo la remoción de árboles de tal forma que aumente la apertura del dosel hasta

niveles de 70 %. Esta operación se repitió hasta alcanzar un diámetro medio cuadrático de 45 cm, que es el objetivo de producción establecido.

**CUADRO N° 2
PARÁMETROS DE RODAL INICIALES PARA LA SIMULACIÓN**

Caso	N [arb/ha]	G [m ² /ha]	Dg [cm]	DR	ETOT [años]	H100 [m]	IS(20) [m]	Apertura de Dose! [%]
1	1.111	7,7	9,4	2,5	10	5,4	18,6	43
2	1.001	3,6	6,8	1,4	9	4,0	16,4	64
3	1.083	5,0	7,6	1,8	12	4,1	13,0	53
4	1.111	7,6	9,3	2,5	12	4,0	13,0	43

RESULTADOS

En relación a la selección del parámetro de rodal como predictor del nivel de apertura, la evaluación arrojó que el valor de R² cuadrado ajustado más alto fue para el área basal (R² = 0,752), luego la densidad relativa (R² = 0,727) y el volumen/ha (R² = 0,720). Le siguió el volumen de copa (R² = 0,652), la biomasa de hojas (R² = 0,596), el diámetro cuadrático medio (R² = 0,558) y finalmente la longitud de copa (R² = 0,534).

Sin embargo, para la precisión de la estimación del set de validación, el atributo de rodal más preciso fue el volumen de copa/ha con el 40 % de las predicciones con errores de entre +- 10 % del valor observado. Luego le siguió la longitud de copa por hectárea (35 %), la biomasa de hojas (30 %), la densidad relativa (25 %), el área basal (20 %), y finalmente el volumen por hectárea y el diámetro medio cuadrático (16 % y 10 %, respectivamente). Es decir que aquellos parámetros que cuantificaban la copa de los árboles fueron los más precisos.

En relación al cálculo de los parámetros por parte del simulador algunos de estos son proyectados y otros son deducidos matematicamente. Por ejemplo DR y V presentan la mejor calidad de predicción y facilidad de implementación en el formato actual del simulador, mientras que G y Dg son deducidos matematicamente. En orden de sencillez para la implemanteción siguen en orden decreciente el Vcopa, G, BHojas, y Dg. De acuerdo al puntaje para seleccionar el parámetro (Cuadro N° 3) las mejores opciones son utilizar la densidad relativa DR y el volumen de copa Vcopa. Sin embargo se considera a los efectos de realizar este ejercicio de simulación, que el empleo de DR, brinda una mayor facilidad de implementación que supera a volumen de copa (Vcopa).

CUADRO N° 3
PUNTAJES PARA SELECCIÓN DEL ATRIBUTO DE RODAL

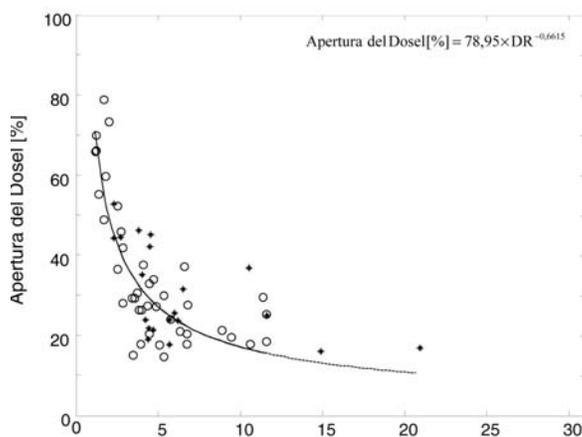
X	R2	Precisión [%/±10% de error]	Puntaje R2	Puntaje Precisión	Puntaje Implementación	Puntaje Total
Dg [cm]	0,558	11	6	7	2	15
Lcopa [m/ha]	0,534	35	7	2	3	12
BHojas [Kg/ha]	0,596	30	5	3	2	10
V [m3/ha]	0,720	16	3	6	1	9
G [m2/ha]	0,757	20	1	5	2	8
DR	0,727	25	2	4	1	7
VCopa [m3/ha]	0,652	42	4	1	2	7

Lcopa, es la sumatoria de las longitudes de copa por hectárea,

BHojas, es la sumatoria de la biomasa de hojas por hectárea,

Vcopa: es la sumatoria de todos los volúmenes de copa por hectárea.

Los valores más bajos de puntaje tienen la mayor significancia para seleccionar el atributo de rodal.



Símbolos vacíos datos del set de ajuste, puntos negros set de validación.

FIGURA N° 3
RELACIÓN ENTRE DENSIDAD RELATIVA Y APERTURA DEL RODAL.

En relación a los umbrales críticos de *F. pallescens* (Figura N° 4.) se observa que las respuestas de crecimiento tienen una alta variancia, que no permiten establecer diferencias de crecimiento entre niveles de apertura, excepto para situaciones por debajo del 30 % donde decrece fuertemente. A pesar de esto, en la Figura N° 4 se observa que los valores consolidados de crecimiento describen una tendencia.

En condiciones de pastizal abierto el crecimiento promedio fue 2,3. Mientras que por debajo de una apertura de dosel de 30 %, las tasas de crecimiento relativo promedio son de 1,5, es decir un 35 % menor que el pastizal sin cobertura. En condiciones intermedias entre 40 % y 50 % de apertura, la tasa de crecimiento relativo es de 2,9, siendo el más alto medido.

El modelo polinómico ajustado representa adecuadamente los datos disponibles e interpola en el rango entre 50 % y 100 %, con el supuesto de la existencia de un máximo de crecimiento que se situaría al 70 % de apertura del dosel con un crecimiento relativo estimado de 3,2.

En base a estos antecedentes se seleccionó como umbrales los valores de 30 % de apertura como el mínimo para sostener el crecimiento de una mata de *F. pallescens*. El otro valor umbral se fijó en 70 % de apertura, por ser un valor teórico al que podría alcanzarse las tasas de crecimiento más altas, se considera que por encima de 70 % de apertura se pierde capacidad de producción de madera y no hay beneficio alguno sobre el pastizal. Estos valores umbrales se corresponden con valores de DR=1,20 (70 % de apertura) y DR=4,32 (30 % de apertura)

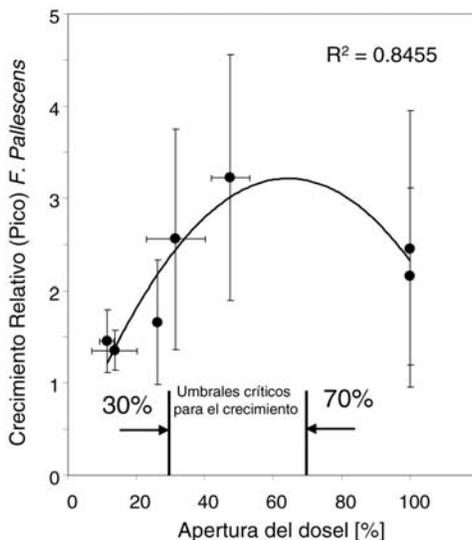


FIGURA N° 4

RELACIÓN ENTRE EL CRECIMIENTO RELATIVO DE MATAS DE *F. pallescens* Y LA APERTURA DEL DOSEL DE *P. ponderosa*.

La simulación de los 4 casos (Cuadro N° 4) muestra que es necesario realizar al

menos 2 raleos para sostener la apertura del dosel por encima de 30 %. Con un primer raleo entre los 13 y 18 años y un segundo raleo entre los 24 y 36 años, dependiendo este rango de la variación de calidad de sitio.

La producción bruta total se ubica entre 270 y 290 m³/ha, mientras que la producción comercial (hasta 15 cm punta fina) ronda entre los 175 a 200 m³/ha, ambos incluyen el raleo.

Como simplificación de recomendación de raleo puede reexpresarse en función de la altura dominante del rodal, siendo independiente de la calidad de sitio.

El primer raleo se aplica cuando se alcanza los 8,2 m ($\pm 0,7$ m) de altura dominante, mientras que el segundo raleo sucede a los 17,7 m ($\pm 0,9$ m), alcanzándose la cosecha a los 21 m ($\pm 0,6$ m), donde los datos son promedio (desvío estándar) de los cuatro casos simulados.

CUADRO N° 4
ESQUEMA DE RALEOS DE *P. ponderosa*
BASADO EN UMBRALES DE CRECIMIENTO DE *F. pallescens*

Caso	1er raleo	2do raleo	Cosecha Final	Producción Comercial [m ³ /ha] > 15 cm punta fina, incluye raleos	Producción Bruta [m ³ /ha], incluye raleos
1	13 años 1.111 - 290 pl/ha d=3,0m - 5,9m Dg = 13,9 cm	24 años 290 - 77 pl/ha d=5,9m -11,4m Dg = 34,0 cm	29 años 77 - 0 pl/ha Dg = 45,6 cm	196	290
2	15 años 1.001 - 248 pl/ha d=3,1m - 6,4m Dg = 15,3 cm	29 años 248 - 68 pl/ha d=6,4m-12,1m Dg = 36,8 cm	33 años 68 - 0 pl/ha Dg = 44,8 cm	195	287
3	18 años 1.083 - 290 pl/ha d =3,0m - 5,9m Dg = 13,9 cm	36 años 290 - 78 pl/ha d=5,9m -11,3m Dg = 33,6 cm	45 años 78 - 0 pl/ha Dg = 45,3 cm	185	276
4	17 años 1.111 - 280 pl/ha d= 3,0m - 6,0m Dg = 14,3 cm	35 años 280 - 75 pl/ha d= 6,0m-11,5m Dg = 34,5 cm	43 años 75 - 0 pl/ha Dg = 45,3 cm	175	267

En cada celda de la tabla se describe la edad de raleo y cosecha, el número de plantas pre - post tratamiento
 d = distanciamiento promedio entre plantas,

Dg =: diámetro del árbol de área basal promedio, a esa edad.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Selección del Atributo de Rodal y la Apertura del Dosel de *P. ponderosa*.

La Densidad Relativa (DR) mostró ser una variable adecuada para realizar este ejercicio de simulación, sin embargo hay otros parámetros que también podrían servir para la estimación actual de la apertura de dosel de *P. ponderosa*.

Para el modelo empleado (Ecuación 1) el parámetro de rodal G área basal es el que más variación explica en la apertura del dosel, sin embargo en el simulador el área basal es un parámetro deducido matemáticamente y no forma parte de forma explícita en el algoritmo de proyección. El volumen de copa por hectárea (Vcopa) mostró ser el parámetro más preciso para estimar la apertura del dosel, este presenta una ventaja ante la DR y G, al ser capaz de representar el cambio de apertura de dosel en forma casi instantánea al aplicarse podas, y su empleo es preferible si se quiere integrar modelos más complejos como el de Brunner (1998) que permite estimar la intensidad de luz en condiciones de estructuras de árboles más heterogéneas, como podría darse en plantaciones en cortinas u otros diseños.

Umbrales Críticos para *F. pallescens*.

Los datos de crecimiento relativo en relación a la apertura del dosel indican los rangos a considerar para sostener el crecimiento de *F. pallescens*. De la Figura N° 4 surge que habría un máximo de crecimiento que se produce a niveles de apertura del dosel de 70 %. Sin embargo si las condiciones climáticas son distintas a las aquí observadas, podría suceder que la interacción con *P. ponderosa*, cambie la intensidad y sentido (positivo - negativo). Callaway y Walker (1997) describen esta clase de cambios en la interacción entre plantas, cuando las condiciones de estrés abiótico se intensifican. En este caso podría utilizarse técnicas de sensibilización como las propuestas por Insúa *et al* (2008) para estudiar el efecto del cambio de interacción sobre el manejo del componente arbóreo.

Simulación del Esquema de Raleo de *P. ponderosa*.

Los resultados aquí obtenidos difieren en algunos aspectos con los de Laclau (1999) que son los antecedentes de análisis de sistemas sivopastoriles disponibles. Este realizó un análisis de viabilidad económica con el mismo simulador al aquí presentado. Unos de los esquemas que propone es una plantación de 1.111 pl/ha, donde se extrae el 50 % de las plantas cada vez, llegando a la corta final con 125 árboles, luego de tres raleos, pero establecía el turno de corta en función de la edad. En este trabajo se partió del supuesto que en una comunidad herbácea de *Stipa speciosa* var mayor, el umbral crítico inferior se sitúa al 25 % de la Densidad Relativa máxima biológica, que de acuerdo a la ecuación aquí ajustada equivale a un valor de DR = 5 (27 % de apertura), sin embargo para el umbral inferior lo situaron en DR=3,1 que equivale 37 % de apertura. Estos autores comentan que no disponían aún de información acerca del comportamiento de esta especie en estos rangos de apertura del dosel.

En base a los resultados de sete trabajo es posible que el esquema de raleos propuesto por Laclau (1999) condicione en algún grado el crecimiento del pastizal, en el caso que este se tratara de *F. palleescens*.

Finalmente es necesario resaltar que existen vacíos de información como la respuesta del componente herbáceo a distintas condiciones climáticas, o la simulación del rodal que considere los efectos de la poda sobre el crecimiento. Por ello los resultados aquí presentados brindan información que debe ser tomada como orientadora para el manejo de los sistemas silvopastoriles compuestos por *P. ponderosa* y *F. palleescens*.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores quieren agradecer a productores y empresas rurales del Noroeste de la Patagonia Andina Argentina que colaboraron en los estudios descriptos. Este proyecto se financió con fondos de proyectos nacionales de Sistemas Silvopastoriles y de Modelos de crecimiento y producción en plantaciones, pertenecientes al Programa Forestales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.

REFERENCIAS

Andenmatten, E., Letourneau, F.J., 1998. Curvas de índice de sitio y crecimiento en altura, para Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco), de aplicación en la región Andino Patagónica de Chubut y Río Negro, Argentina. Revista de Agronomía de la Universidad Nacional de La Plata, volumen 103(1): 69-75.

Andenmatten, E., Letourneau F.J., 1997. Funciones de intercepción del crecimiento, para la predicción de índice de sitio en pino ponderosa, de aplicación en la región Andino Patagónica de Río Negro y Chubut. Revista Quebracho, volumen 5, páginas 5-9.

Andenmatten, Ernesto; Letourneau, Federico; Getar, Edmundo, 2007. *Simulador forestal para Pseudotsuga Menziesii* (Mirb) Franco y *Pinus ponderosa* (Laws) en Patagonia Argentina. Resumen y trabajo completo En: Gonda, Héctor; Davel, Miguel; Loguercio, Gabriel; Picco, Omar A., (Eds) 1ra.Reunión sobre Forestación en la Patagonia. Ecoforestar 2007, ; Esquel, Chubut; CIEFAP; CFI; Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco; 25 al 27 de abril, p.374-380.

Brandle, J.R., Hodges, L., Zhou, 2001. Windbreaks in North American agricultural systems, Agroforestry Systems, Springer Netherlands, pp 65 - 78 Vol. 61-62.

Brunne, A., 1998. A light model for spatially explicit forest stand models, Forest Ecology and Management 107_1998.19–46

Curtis, R.O., 1982. Notes: A Simple Index of Stand Density for Douglas-fir, Forest Science, Volume 28, Number 1, 1 March 1982 , pp. 92-94(3).

DeRose, R., J., 2002. Leaf Area Index - Relative density relationships in evenaged *Abies*

balsamea - *Picea rubens* stands in Maine. B.S. Utah State University, 2002. THESIS, The Graduate School The University of Maine December, 2004. pp 94

Fernández, M. E., 2003. Influencia del componente arbóreo sobre aspectos fisiológicos determinantes de la productividad herbácea en sistemas silvopastoriles de la Patagonia Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Río Negro.

Fernández, M. E.; Gyenge, J. and Schlichter, T. M., 2006. Growth of *Festuca pallescens* in silvopastoral systems in Patagonia, Part 1: positive balance between competition and facilitation. *Agroforestry Systems*, 66, 259-269.

Hale, S.E, Edwards, C., Mason, W.L., Price, M., Peace, A., 2009. Relationships between canopy transmittance and stand parameters in Sitka spruce and Scots pine stands in Britain. *Forestry* 82(5): 503-513.

Holmgren, M., Scheffer, M., Huston, M.H., 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78 (7), 1966–1975.

Insúa, D. R., Insúa, S.R. Jiménez, J.M, Martín, A.J., 2008. Simulación. Métodos y Aplicaciones. 2da Edición. RA-MA Pp 388.

Laclau, P., 1999. Capítulo II - Viabilidad Económica De Sistemas Silvopastoriles, en Informe Final Proyecto de Investigación aplicada (PIA) N° 26/96, "Viabilidad ecológica y económica de la forestación con coníferas en sistemas silvopastoriles". Schlichter T.M., Laclau P. Dalla Salda G., Fernández M.E., Raffaele E., Gyenge J. Proyecto Forestal de Desarrollo / SAGPyA. Programa de Ámbito Nacional Forestal / INTA. Pp 31.

Laclau, P., 2006. Fijación en ecosistemas boscosos y herbáceos del norte de la Patagonia. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Comahue Centro Regional Universitario Bariloche Depto. De postgrado – Doctorado en Biología. Pp. 371.

Mosquera - Losada, M.R., Pinto - Tobalina, M. Rigueiro - Rodriguez, 2004. The herbaceous component in temperate silvopastoral systems pp 91-100. International Congress on Silvopastorim and Sustainable Management (2004: Lugo, Spain), Editado por M.R. Mosquera-Losada, A. Rigueiro-Rodriguez y J. McAdam.

Vanclay, J. K., 1994. "Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical, Forests," pp. 312. CAB International.

Valtorta, S. E., Leva, P.E., Gallardo, M.R., 1997. Evaluation of different shades to improve dairy cattle well-being in Argentina, *International Journal of Biometeorology*. Springer Berlin / Heidelberg, Earth and Environmental Science, pp 65-67. Vol 41(2).

Waring, R.H., Schlesinger, W.H., 1985. Forest Ecosystems. Concepts and Management. Academic Press, New York, p. 340.

DINÁMICA DEL CARBONO Y OTRAS INTERACCIONES EN UN SISTEMA SILVOPASTORAL EN FAJAS, UNA PLANTACIÓN DE PINO PONDEROSA Y UN PASTIZAL EN LA REGIÓN DE AYSÉN, PATAGONIA CHILENA

Dube, Francis¹; Espinosa, Miguel²; Thevathasan, Naresh³; Gordon, Andrew⁴; Zagal, Erick⁵; Stolpe, Neal⁶

RESUMEN

Según las Naciones Unidas, el uso de sistemas agroforestales en terrenos degradados podría capturar entre 820 y 2.200 x 10⁶ ton C año⁻¹ en un periodo de 50 años. El objetivo de este estudio es investigar el potencial de secuestro de carbono en un sistema silvopastoral con *Pinus ponderosa* y una plantación y pastizal en la Patagonia.

Se inventarió la biomasa arbórea y de pasto y se determinaron sus contenidos de C por combustión seca. Se recogió la caída de acículas una vez al mes, y se midió la descomposición de acículas, raíces de pasto y fecas de ganado mediante la técnica de bolsas de litera. Se determinaron los contenidos de C en lixiviados de suelo y emisiones de CO₂ por respiración de suelo.

Los resultados muestran que las tasas de descomposición están relacionadas con la temperatura de suelo y su contenido de humedad. La respiración de suelo es siempre mayor en la pradera y menor en la plantación. Los contenidos de C en la biomasa de pasto y árboles en el sistema silvopastoral superan los de la pradera y la plantación, respectivamente. La determinación de C orgánico de suelo a una profundidad de 0-40 cm demuestra que en el sistema silvopastoral el contenido de C es mayor, y que hay más C secuestrado en el suelo que en la biomasa vegetal correspondiente.

El sistema silvopastoral se ve como una alternativa muy interesante de captura de C, control de erosión y crecimiento de plantas.

Palabras claves: Captura de C, Andisol, caída de litera, descomposición, lixiviados, respiración de suelo.

1 Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631, Casilla 160C, Chile. Tel: (+56) 41 2204848 E-mail: fdube@udec.cl

2 Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Victoria 631, Casilla 160C, Chile. Tel: (+56) 41 2204848 E-mail: mespinos@udec.cl

3 Department of Environmental Biology, Ontario Agricultural College, University of Guelph, Guelph, Ontario, N1G 2W1, Canada. Tel: (+1) 519 8244120 E-mail: nthevath@uoguelph.ca

4 Department of Environmental Biology, Ontario Agricultural College, University of Guelph, Guelph, Ontario, N1G 2W1, Canada. Tel: (+1) 519 8244120 E-mail: agordon@uoguelph.ca

5 Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Vicente Méndez 595, Casilla 537, Chillan, Chile. Tel: (+56) 42 208853 E-mail: ezagal@udec.cl

6 Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Vicente Méndez 595, Casilla 537, Chillan, Chile. Tel: (+56) 42 208853 E-mail: nstolpe@udec.cl

CARBON DYNAMICS AND OTHER INTERACTIONS IN A SILVOPASTORAL SYSTEMS ARRANGED IN STRIPS, A PONDEROSA PINE PLANTATION AND A NATURAL PASTURE IN THE AYSÉN REGION, CHILEAN PATAGONIA

ABSTRACT

According to the UN, the use of agroforestry systems on degraded lands could capture $820\text{-}2,200 \times 10^6 \text{ t C year}^{-1}$ over a 50-year period. The objective of this study is to investigate the potential to sequester C in a *Pinus ponderosa*-based silvopastoral system arranged in strips, a plantation and natural prairie in Patagonia.

Tree and pasture biomass were inventoried and C contents determined by dried combustion. Needle fall was recollected once a month, and decomposition of needle, grass roots and cattle feces measured using the litterbag technique. Carbon in soil leachates and respired CO_2 were also determined.

The results show that decomposition rates were related to soil temperature and moisture contents. Soil respiration was highest in the prairie and lowest in the plantation. The C contents in grass and tree biomass in the silvopastoral system exceeded that of the pasture and the plantation, respectively. Determination of SOC at 0-40 cm depth shows that the silvopastoral system had the highest C contents, and there was more C in soil than corresponding plant biomass. The silvopastoral system appears as an interesting alternative for C sequestration, erosion control and plant growth.

Keywords: Carbon sequestration, Andisol, litterfall, decomposition, leachates, soil respiration.

INTRODUCTION

Recent studies performed in temperate regions worldwide have shown that agroforestry systems have greater C sequestration potential than monocropping systems, prairies, or forest plantations. Still, several of these studies have been performed under similar conditions and few have measured *in situ* C losses due to litter and crop decomposition, soil respiration, and soil lixiviation, which are all important when modeling C balance at the system level.

The study performed by Peichl *et al.* (2006) seems to be the only study known until now that compares the C fluxes and pools in agricultural and intercropping systems.

In Patagonia, ranchers increasingly face more problems to maintain cattle-raising productivity, a traditional activity that is often the only source of income. However, there is a limited scientific research on Chilean agroforestry systems that could be used to model C balances located in the temperate areas of the Southern Hemisphere, and especially those established on degraded volcanic soils.

Therefore, this study is likely to be the first to evaluate and model C sequestration potentials in *Pinus ponderosa* – based silvopastoral systems, plantations and pasture on degraded volcanic soils of the Chilean Patagonia.

MATERIAL AND METHODS

Site Description

The site was located in the San Gabriel Agroforestry Unit established in 2002 by INFOR, on a western exposed slope with 730 m altitude at 45°25' SL and 72°00' WL. Within the module, there are several land-use practices:

- 1) Natural pasture with traditional cattle grazing (PST),
- 2) 18-year-old *Pinus ponderosa* plantations (PPP),
- 3) Silvopastoral systems arranged in strips (SPS).

The annual precipitation ranges from 1000-1500 mm. However, only 15% of the precipitations occur between December and February, coinciding with the windiest period.

Mean temperatures fluctuate between 12 °C and 14 °C in summer and 2 °C and 3 °C in winter (Silva *et al.*, 1999).

During summer, strong west winds are registered, provoking seasonal water deficit and the loss of soil organic matter due to wind erosion.

Tree and Pasture Biomass and C Content

Destructive sampling was performed to determine the weight of different tree components (trunks, branches, twigs, needles, cones and roots). To determine the fine root biomass, its annual production was estimated as a percentage of the litterfall. To obtain the total standing pasture biomass, the grass was manually harvested from 0.25 m² quadrants. To measure the subterranean biomass, the greatest quantity of roots growing were extracted and washed to remove soil particles and weighed (Gordon and Thevathasan, 2005). Carbon contents were obtained with a Fisons EA1108 CHNS-O Elemental Analyzer.

Recollection of Litterfall and Decomposition

The litter trap technique was used to collect needles that fall on the ground and determine their distribution (Berg and Laskowski, 2006). The amount of litterfall was sampled monthly for a 2-year period, and weekly during the rainiest months. The C contents were determined following the method describe above.

The litterbag technique was used to measure decomposition of organic material in contact with the soil. The bags with needles and feces were fixed on the F horizon, while the bags with root biomass were buried at 15 cm depth. The pine needles were sampled every six months for two years. The sampling of the grass roots and cattle feces was performed every three months for one year.

Soil C, Respiration and C Contents in Leachates

Soil samples were taken at 0-5; 5-20 y 20-40 cm depths in order to determine total, organic, and inorganic C content. C contents were determined using the combustion method as described above. Total soil respiration in closed chambers was measured monthly and weekly in summer (Edwards, 1982).

The C concentrations in leachates were measured on a monthly basis and weekly in the rainiest months using lysimeters at 80 cm depth. Total soluble organic C was analyzed using a TOC-V CPN Analyzer.

The soil moisture (20 cm depth), soil surface temperature (5 cm depth) and air temperature (+5 cm) were measured every two hours over a 24-month period using Decagon Devices EM-5B Data Loggers.

Statistical Analyses

All treatments were analyzed with the General Lineal Model procedure of SAS v.9.0 (SAS Institute, Carey, NC) for completely randomized designs. Analysis of variance was conducted using the ANOVA procedure with Tukey's HSD and Student's *t*-test, where applicable.

RESULTS

The C content was higher in every component of SPS as compared with PPP, but significant differences were found only for Twigs, Needles and Cones, Total aboveground, and Total tree (Table 1).

C contents decreased in the order Roots > Trunks > Branches > Twigs > Needles > Cones. For PPP and SPS, respectively, 64 and 69 % of total tree C were stored as aboveground biomass, whereas 36 and 31 % were stored within roots. Pine roots stored 11 % more C than the stem in PPP and only 2 % more C in SPS.

On a hectare basis, there was no significant difference between both treatments with respect to the amount of C stored in branches, twigs, needles and cones, besides the two-fold tree density in PPP.

Table 1
CARBON CONTENT OF DISTINCT TREE COMPONENTS FROM A PINE-BASED SILVOPASTORAL SYSTEM ARRANGED IN STRIP (SPS) AND A PLANTATION (PPP) IN THE CHILEAN PATAGONIA (AVERAGE ± STANDARD DEVIATION)

Tree components	(kg tree ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
	PPP	SPS	PPP	SPS
Trunk	19.2 ± 4.8 a	23.0 ± 4.9 a	15350 ± 3829 a	9216 ± 1947 b
Branches	9.1 ± 5.9 a	12.6 ± 3.4 a	7291 ± 4755 a	5054 ± 1379 a
Twigs	2.3 ± 1.2 a	3.7 ± 1.1 b	1832 ± 952 a	1478 ± 436 a
Needles	7.6 ± 1.6 a	13.4 ± 4.1 b	6066 ± 1288 a	5341 ± 1636 a
Cones	0.2 ± 0.1 a	0.4 ± 0.04 b	144 ± 80 a	157 ± 15 a
Roots	21.3 ± 2.4 a	23.4 ± 4.8 a	17057 ± 1922 a	9372 ± 1912 b
Total aboveground	38.4 ± 13.2 a	53.1 ± 12.7 b	30683 ± 10577 a	21247 ± 5086 b
Total belowground	21.3 ± 2.4 a	23.4 ± 4.8 a	17057 ± 1922 a	9372 ± 1912 b
TOTAL	59.7 ± 15.5 a	76.5 ± 17.3 b	47740 ± 12379 a	30619 ± 6902 b

Values with the same lower case letter within a tree component and between treatments (PPP and SPS) for every group (kg tree⁻¹ or kg ha⁻¹) are not significantly different (Student's t test, **P<0.01).

Mean annual aboveground net primary productivity (ANPP) was similar in PST and SPS, but significantly larger than that of PPP. On a quadrant basis, ANPP was 20 % higher in SPS as compared with PST. In addition, mean soil moisture in the pasture portion of SPS was twice as much as PST during both growing seasons.

Litterfall in 2008-2009 was substantially lower than during 2007-2008 (Table 2). When comparing PPP and SPS, a significant difference was found only for needle fall in the second measurement period, being 1.6 times higher in PPP. With respect to litterfall distribution within SPS, approximately 54 % of the total fell within the tree strip, 40 % within 3 m east of the strip and 6 % within 3 m west. Said in other words, litterfall in the tree strip and within 3 m east from it accounted for 94 % of total litterfall biomass.

Table 2
LITTERFALL OVER A TWO-YEAR SAMPLING PERIOD IN A PINE-BASED SILVOPASTORAL SYSTEM ARRANGED IN STRIP (SPS) AND A PLANTATION (PPP) (AVERAGE ± STANDARD DEVIATION)

Period	Litterfall	Average		Distances in SPS		
		PPP	SPS	in strip	3m west	3meast
		(kg ha ⁻¹ y ⁻¹)		(kg ha ⁻¹ y ⁻¹)		
2007-	Needles	2116 ± 1,290 a	1,672 ± 1,310 a	2,080 ± 1,653 aA	235 ± 199 b B	1,574 ± 1179 aA
2009	Cones	373 ± 195 a	228 ± 56 a	284 ± 56 a A	10 ± 15 b B	224 ± 91 a A
	Total	2,489	1,900	2,364 A	246 B	1,797 A

Values with the same lower case letter within a litterfall type and between treatments (average) are not significantly different (Student's t test, *P<0.05). Values with the same lower case letter within a litterfall type and between PPP and one single distance in SPS (in strip, 3m west or 3m east) are not significantly different (Student's t test, *P<0.05). Values with the same higher case letter within a litterfall type and between distances in SPS are not significantly different (Tukey's HSD test, *P<0.05).

Carbon concentrations were significantly different at 0-5, 5-20 and 20-40 cm depths in all treatments, except at 5-20 and 20-40 cm depths in PPP (Table 3).

Among treatments, C % was similar at 0-5 cm depth in PST and SPS, but almost twice as high as PPP. At 0-40 cm depth, the C concentration also decreased in the order SPS > PST > PPP.

The C concentration reached a peak at 2.5 m on either sides of the strip, being higher eastward.

Among treatments, SOC was similar in the upper 5 cm in PST and SPS, but almost double and significantly different than in PPP.

At 0-40 cm depth, SOC also decreased in the order SPS > PST > PPP, showing that land-uses affected substantially SOC stocks.

There was a 30 % increase in SOC that resulted from the conversion of PPP to SPS but a 16% decrease from PST to PPP.

Table 3
SOIL ORGANIC C (%) AND CONTENTS (Mg ha⁻¹) AT DISTINCT DEPTHS IN A NATURAL PASTURE (PST), A PINE PLANTATION (PPP) AND A SILVOPASTORAL SYSTEM ARRANGED IN STRIP (SPS) (AVERAGE ± STANDARD DEVIATION)

Treatment	Soil depth	SOC	SOC
	(cm)	(%)	(Mg ha ⁻¹)
PST	0-5	10.77 ± 0.74 A a	48.49 ± 3.34 A a
	5-20	5.62 ± 0.08 A b	75.85 ± 1.06 A b
	20-40	2.92 ± 0.50 A c	52.57 ± 9.08 A a
	0-40	4.92 ± 0.28 A	177.10 ± 10.09 A
PPP	0-5	6.25 ± 0.08 B a	28.12 ± 0.37 B a
	5-20	3.89 ± 0.05 B b	52.49 ± 0.70 B b
	20-40	3.81 ± 0.43 A b	68.65 ± 7.70 A c
	0-40	4.15 ± 0.20 B	149.25 ± 7.34 B
SPS	0-5	10.68 ± 0.35 A a	48.04 ± 1.57 A a
	5-20	6.51 ± 0.15 C b	87.94 ± 1.98 C b
	20-40	3.20 ± 0.21 A c	57.54 ± 3.73 A c
	0-40	5.38 ± 0.13 A	193.76 ± 4.61 A

Values with the same higher case letter within a column and within a same depth among treatments are not significantly different (Student's t test, **P<0.01). Values with the same lower case letter within a column and within a same treatment are not significantly different (Tukey's HSD test, *P<0.05).

Compared to PPP, soil respiration was similar within the tree strip and at 1 m from the strip in SPS, whereas at 7.5 m it was similar to PST (Table 4).

Among agroecosystems, total annual soil respiration was significantly higher in PST and lower in PPP.

At distinct locations within SPS, total soil respiration was not significantly different in the tree strip and at 1 m from it, but significantly higher at a distance of 7.5 m.

Leached C concentration was highest in PPP, and it was slightly higher in PST than SPS.

Within SPS, C% was slightly higher in the tree strip than at 1 m from the trees, and the highest at 10.5 m from the strip, which also turned to be the middle of the pasture alley, although none of the differences were significant.

Table 4
TOTAL SOIL RESPIRATION (t CO₂ ha⁻¹ y⁻¹) AND C (%) OF LEACHED SOIL SOLUTION OVER TWO FIELD SEASONS, BETWEEN NOVEMBER 2007 AND 2009 (AVERAGE ± STANDARD DEVIATION)

Treatment	Soil respiration (t CO ₂ ha ⁻¹ y ⁻¹)	C in leachates (%)
PST	18.75 ± 0.29 A	0.0049 ± 0.0020 AB
PPP	15.63 ± 0.39 B	0.0056 ± 0.0024 A
SPS (mean)	16.94 ± 0.58 C	0.0044 ± 0.0008 B
SPS (in strip)	15.27 ± 0.53 a	0.0044 ± 0.0011 a
SPS (1m from strip)	15.98 ± 0.53 a	0.0040 ± 0.0011 a
SPS (7.5m from strip)	18.84 ± 0.68 b	n/a
SPS (10.5m from strip)	n/a	0.0048 ± 0.0016 a

Values with the same higher case letter within a column and among treatments (PST, PPP and SPS) are not significantly different (Student's t test, **P<0.01). Values with the same lower case letter within a column and between locations in SPS (in strip, 1, and 7.5 or 10.5m from strip) are not significantly different (Tukey's HSD test, *P<0.05).

DISCUSSION

Based on the results, it is clear that trees in SPS are using more efficiently the site resources (water, nutrients, light, etc.) and have their growth enhanced by the additional soil N provided by the leguminous pasture, resulting in larger amounts of C being sequestered.

In SPS, there is a favorable microclimate within and out of tree strips, and a synergy resulting from the positive interaction of active aerial and subterranean C cycles of the tree and grass components.

Sharrow and Ismail (2004), reported a more efficient C accretion in Douglas fir-subclover silvopastoral systems thanks to more active nutrient cycling patterns resulting from the association of forest and grasses in the same unit of land.

The significantly larger amounts of C stored in roots and trunks of PPP on an area basis were to be expected given the large difference of densities (Table 1). However, bigger trees in SPS compensate to a certain extent for the lower density, without forgetting the additional C sequestered in grass roots and soil pools, thereby making the silvopastoral system the best alternative of all.

The greater tree density in PPP and associated shade can explain why the mean annual ANPP therein was lower. The significantly larger soil moisture throughout the year at 2 m from the tree strip in SPS and the higher air temperature during the growing seasons may help to understand why ANPP was higher in SPS than PST on a quadrant basis. In addition, mean soil moisture in the pasture portion of SPS was twice as much as PST during both growing seasons.

The lower litterfall in 2008-2009 was to be expected since trees were pruned to a 4-m height at the beginning of 2008, without forgetting the effects of the drought in the previous year. Although trees were bigger in SPS and contained 70 % more needle biomass, the half tree density impacted severely litterfall, at least in the first years after pruning. The predominant winds blowing eastward across the year were largely responsible for the low litterfall input within 3 m west. Within SPS, litterfall was slightly higher in the tree strip than within 3 m east of it, but no significant difference was observed. However, litterfall within 3 m west was significantly lower than at any other locations, except in the 2007-2008 period where needlefall was similar on either sides of the strip. One possible explanation for this similarity could be the lack of strong winds during the main period of needle shedding from the trees, allowing a “more homogeneous” distribution of litterfall across SPS.

The data suggest that the plantation transition into silvopastoral system resulted in more C being sequestered at 0-20 and 0-40 cm depths in SPS, while there was a significant loss of soil C at the same depths after the establishment of the Pine plantation on the natural prairie. Other studies have shown increases of soil C following conversion of plantations to intercropping systems (Bambrick *et al.*, 2010) and decreases after afforestation of pastures with first-rotation pine plantations (Dube *et al.*, 2009).

On the other hand, the larger C concentrations observed from the distance of 2.5 m until the middle of the alley in SPS could be attributed to the better growth and yield of pasture in contrast with PST, resulting in more N being fixed by clover and stored in soil at 0-20 cm depth and therefore, more C being accreted. In addition, the remaining pine stumps and coarse roots left in the alleys after converting the plantation to SPS, as well as the regular inputs of lignin-rich litter from the trees represent an important source of chemically recalcitrant C that may contribute to significant gains in SOC (Montagnini and Nair, 2004).

For every agroecosystem and distinct locations within SPS, there was a significant negative correlation (Pearson's coefficient) between respiration and soil moisture, and highly significant positive correlations between soil respiration and superficial air temperature and soil temperature. This is in agreement with the findings of Lee and Jose (2003) for temperature, where the lowest fits were also encountered in the monocultures, but in disagreement with soil moisture, although the fits were rather low as compared with soil temperature. The regular litterfall and shade provided by the tree cover in SPS strip and PPP resulted in lower mean annual air and soil temperature, contributing to decrease total soil respiration.

The high C concentration at 10.5 m from the tree strip within SPS could be attributed to the presence of decomposing stumps and structural/coarse roots since the conversion of the plantation into SPS. Additionally, trees in PPP produce detritus such as needles, twigs, branches (including those from pruning), root exudates, and dead roots, which represent another source of organic C than can be dissolved in the soil solution (Kimmins, 2004). This could also explain why leached C is higher in PPP, taking also in consideration the half tree density in SPS, and why dissolved C follows the same pattern within and at 1 m from the tree strip in SPS.

CONCLUSIONS

Depending on their management, land-uses may become a source or sink of CO₂ and can impact on net CH₄ and N₂O emissions to the atmosphere.

Several recent studies performed in temperate regions around the world have shown that agroforestry as an integrated land-use has greater C sequestration potential than monocropping systems, prairies, or even forest plantations.

Sound management can make agroforestry systems effective CO₂ sinks, especially with the use of perennial crops and fast growing tree species that increase soil sinks in the short term.

In isolated regions such as Patagonia, the adoption of silvopastoral systems appear to be a sustainable practice that satisfies socio-economic needs of rural population, optimize land productivity, control erosion processes, preserve C and N pools during decades or centuries, and contribute to reduce atmospheric CO₂.

ACKNOWLEDGEMENTS

We sincerely wish to acknowledge and express our sincere thanks to Mr. Victor Mata for hosting the research sites in his property near Coyhaique, to Silvia Marchetti and Luis Alvarez for assistance in the field, to Forestal Mininco S.A. - Aysén Project for logistics and laboratory analysis. Special thanks are also given to Centro Trapananda (University Austral of Chile), and Center for Investigations of Ecosystems in the Patagonia (CIEP) for logistics and support. In addition, we sincerely thank INFOR for sharing valuable information and data and authorizing the establishment of the plots in the San Gabriel Agroforestry Unit. This study was funded by a grant (Project No. 207.142.025-1.0) from the Direction of Investigations (DIUC) of the University of Concepción. Additional financial support was also obtained from CONICYT of the Chilean Government through a doctoral scholarship and from QMI-SAI Global Canada Inc.

REFERENCES

Bambrick, A. D., Whalen, J. K., Bradley, R. L., Cogliastro, A., Gordon, A. M., Olivier A., Thevathasan, N. V., 2010. Spatial heterogeneity of soil organic carbon in tree-based intercropping systems in Quebec and Ontario, Canada. *Agroforest. Syst.* 79: 343-353.

Berg, B. and Laskowski, R., 2006. Litter decomposition: A guide to carbon and nutrients turnover. *Adv. Ecol. Res.*, vol. 38, Elsevier Acad. Press, San Diego, USA, 428 pp.

Dube, F., Zagal, E., Stolpe, N., Espinosa, M., 2009. The influence of land use change on the organic carbon distribution and microbial respiration in a volcanic soil of the Chilean Patagonia. *Forest Ecol. Manage.* 257: 1695-1704.

Edwards, N. T., 1982. The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial

systems. *Pedobiologia* 23: 321-330.

Espinosa, M., Acuna, E., Cancino, J., Munoz, F., Perry, D. A., 2005. Carbon sink potencial of radiata pine plantations in Chile. *Forestry* 78(1): 11-19.

Gordon, A. M. and Thevathasan, N. V., 2005. How much carbon can be stored in Canadian agroecosystems using a silvopastoral approach? In: *Silvopastoralism and sustainable land management*. Mosquera-Losada M.R., Rigueiro-Rodriguez, A. McAdam J. (eds) CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 210-218.

Kimmins, J. P., 2004. *Forest ecology: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry*. 3rd Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River USA 611 pp.

Lee, K. H. and Jose, S., 2003. Soil respiration and microbial biomass in a pecan - cotton alley cropping system in Southern USA. *Agroforest. Syst.* 58: 45-54.

Montagnini, F. and Nair, P.K.R., 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforest. Syst.* 61: 281-295.

Peichl, M., Thevathasan, N. V., Gordon, A. M., Huss, J. and Abohassan, R., 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agroforest. Syst.* 66: 243-257.

Sharrow, S. H. and Ismail, S., 2004. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforest. Syst.* 60: 123-130.

Silva, F., Ahumada, F. y Cerda, J., 1999. Guías de condición para pastizales de la Ecorregión Templada Intermedia de Aysén. Departamento de protección de recursos naturales renovables, SAG, Gobierno Regional de Aysén, Chile. 127 pp. (in Spanish).

PRIMEROS RESULTADOS DE RALEOS EN BOSQUES DE *Nothofagus antarctica* PARA EL MANEJO SILVOPASTORIL EN TIERRA DEL FUEGO (ARGENTINA)

Ivancich, Horacio¹; Martínez Pastur, Guillermo¹; Peri, Pablo²
Soler Esteban, Rosina¹; Lencinas, María Vanessa¹

RESUMEN

En el sector argentino de Tierra del Fuego existen 202 mil ha de bosques de *Nothofagus antarctica* (ñire). Aproximadamente, el 70% de estos bosques es utilizado para la cría de ganado, con esporádicas extracciones de productos forestales (postes, varas, leña). Si bien la propuesta de manejo para estos bosques es el silvopastoril, al presente no se han establecido ensayos permanentes con intervenciones silvícolas sobre bosques de ñire en la provincia.

En el año 2009, se establecieron ensayos con dos intensidades de raleo (12 y 18 m².ha⁻¹ de área basal-AB en una superficie de 5 ha) en la Ea. Cabo San Pablo (54° 15' 45" LS, 66° 49' 44" LO), dejando un rodal testigo sin intervención. En cada tratamiento se establecieron parcelas permanentes (153 m², 314 m² y 452 m² para testigo, menor y mayor intensidad de raleo, respectivamente) con 5 repeticiones en cada uno. Las intervenciones se realizaron antes del comienzo de la temporada de crecimiento, realizándose mediciones del diámetro cuadrático medio a 1,3 m (DCM): (i) previo a las intervenciones, (ii) después de las intervenciones y antes del inicio de la temporada de crecimiento, y (iii) después de la primera temporada de crecimiento. Asimismo, durante las intervenciones se realizó la medición del volumen total con corteza de 48 individuos, ajustando una ecuación local mediante técnicas de regresión no-lineal.

En el raleo de menor intensidad (18 m².ha⁻¹ AB) se cosechó (promedio ± desviación estándar) el 53,2% (±15,9) del AB disminuyendo la densidad de 2.793 ind.ha⁻¹ (±448) con 13,4 cm (±1) DCM a 681 ind.ha⁻¹ (±48,3) con 18,3 cm (±1,7) DCM. En el raleo de mayor intensidad (12 m².ha⁻¹ AB) se cosechó el 65,0% (±9,1) del AB disminuyendo la densidad de 2183 ind.ha⁻¹ (±834) con 14,3 cm (±1,9) DCM a 345 ind.ha⁻¹ (±63,7) con 21,2 cm (±1,3) DCM. El incremento diamétrico luego de una temporada de crecimiento fue de 0,21 cm.año⁻¹ (±0,05) y 0,23 cm año⁻¹ (±0,02) para la menor y mayor intensidad de raleo respectivamente, contrastando contra 0,13 cm.año⁻¹ (±0,02) del rodal testigo. El incremento volumétrico fue de 2,64 m³.ha⁻¹.año⁻¹ (±0,88) y 1,78 m³.ha⁻¹.año⁻¹ (±0,23) para la menor y mayor intensidad de raleo respectivamente, en comparación de los 4,23 m³.ha⁻¹.año⁻¹ (±1,01) del rodal testigo.

Los resultados están en relación directa con la intensidad de las intervenciones, observándose una mejora en las características dasométricas de los rodales intervenidos,

1 Centro Austral de Investigaciones Científicas (CONICET). Bernardo Houssay 200 (9410) Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. horacioivancich@cadic-conicet.gob.ar
2 INTA EEA Santa Cruz-UNPA-CONICET, Argentina

y una disminución del 37% y del 58% para menor y mayor intensidad de raleo, respectivamente, de la productividad potencial de los rodales medida en los testigos sin intervención. La mayor utilidad de las parcelas permanentes a largo plazo reside en la posibilidad de obtener resultados que sirvan como información de base relevante para la planificación e implementación de sistemas silvopastoriles en Tierra del Fuego.

Palabras clave: Raleos, *Nothofagus antártica*, ñire, sistemas silvopastorales,

SUMMARY

In Tierra del Fuego (Argentine) there are 202 thousand hectares of *Nothofagus antarctica* (Ñire) forests. Approximately, 70% of these forests are used for production of cattle, with sporadic extractions of forest products (pole, rod, firewood). Although the proposal of management for ñire forests is silvopastoral, at the present permanent plots with silvicultural interventions on Ñire forests have not been established in the province.

In 2009, trials were established with two thinning intensities (12 and 18 m².ha⁻¹ of basal area-BA in an area of 5 ha) in Cape San Pablo Ranch (54° 15' 45" LS, 66° 49' 44" LW), leaving a stand without intervention as a control treatment. In each treatment permanent plots were established (153 m², 314 m² and 452 m² for control, low and high thinning intensity, respectively) with 5 repetitions each one. The quadratic mean diameter to 1.3 m (QMD) was measured before and after the interventions, and after the first growing season. Also, total over bark volume of 48 individual trees were measured to fit a local equation using non-linear regression technique.

In the low intensity thinning treatment (18 m².ha⁻¹ BA), 53.2% (±15.9) of BA was harvested, decreasing stand density from 2,793 trees.ha⁻¹ (±448) with 13,4 cm (±1) QMD to 681 trees.ha⁻¹ (±48.3) with 18.3 cm (±1.7) QMD. In the high intensity thinning (12 m².ha⁻¹ BA) 65.0% (±9.1) of original BA was removed, decreasing stand density from 2,183 trees.ha⁻¹ (±834) with 14.3 cm (±1.9) QMD to 345 trees.ha⁻¹ (±63.7) with 21.2 cm (±1.3) QMD. Diametric increment after one growing season was 0.21 cm year⁻¹ (±0.05) and 0.23 cm year⁻¹ (±0.02) for low and high thinning intensity respectively, which contrast with 0.13 cm year⁻¹ (±0.02) in the control. The volumetric increase was 2.64 m³ ha⁻¹ year⁻¹ (±0.88) and 1.78 m³ ha⁻¹ year⁻¹ (±0.23) for low and high thinning intensity respectively, in comparison with 4.23 m³ ha⁻¹ year⁻¹ (±1.01) in the control.

Direct relationship was observed between results and thinning intensity, with an improvement of dasometric characteristics of thinned stands, and a decrease of 37% and 58% for low and high thinning intensity, respectively, in regards to the potential productivity of stands measured in the control one. Permanent long-term plots provide base information for the planning and implementation of silvopastoral systems in Tierra del Fuego.

Key words: Thinning, *Nothofagus antártica*, Ñire, silvopastoral systems

INTRODUCCIÓN

Históricamente, la actividad forestal en Tierra del Fuego se concentró sobre los bosques de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl) (lenga) y esporádicamente sobre *N. betuloides* (Mirb.) Oersted (guindo, coihue de Magallanes), para los cuales actualmente se analiza la factibilidad de ser incorporados al manejo silvícola intensivo (Cruz y Caldentey, 2007). Los bosques de *N. antarctica* (Forster f.) Oersted (ñire) fueron relegados del uso forestal por ser considerados como de escasa productividad industrial, pese a que en los rodales de mejor calidad de sitio los árboles pueden alcanzar 100 cm de diámetro y 17 m de altura total (Lencinas *et al.*, 2002). En el sector argentino de Tierra del Fuego existen 202 mil ha de bosques de ñire (SAyDS, 2005). En la actualidad, aproximadamente el 70% de éstos bosques presenta un uso silvopastoril (Peri, 2005; Peri *et al.*, 2006), siendo su madera mayormente utilizada para la obtención de postes, varas y leña. Sin embargo, esta especie presenta un enorme potencial para la industria del aserrado (Martínez Pastur *et al.*, 2008).

La propuesta de manejo para estos bosques consiste en la implementación de raleos por lo bajo que disminuyen la cobertura arbórea con el fin de aumentar la producción de forraje, el cual es aprovechado para el pastoreo del ganado (ovino y vacuno) (Peri, 2006). Los volúmenes de madera extraídos podrían fluctuar entre 64 y 186 m³.ha⁻¹ según la calidad de sitio para bosques raleados hasta una cobertura del dosel remanente del 30% (Peri *et al.*, 2005). Asimismo, estos raleos podrían constituirse en intervenciones sinérgicas, por implicar una mejora en el crecimiento de los remanentes y su regeneración, en la producción de forraje, y en el uso por parte de los animales de la cubierta forestal como protección en invierno (Peri, 2004).

Existen algunos antecedentes en Tierra del Fuego sobre el efecto de los raleos en el crecimiento para bosques de *N. pumilio* (lenga) y *N. betuloides* (guindo) (Martínez Pastur *et al.*, 2001; 2002; 2006). Por otro lado, se han publicado resultados de ensayos sobre bosques de ñire en las provincias de Chubut y Santa Cruz (Peri, 2006; Sarasola *et al.*, 2008) donde se registraron incrementos en el crecimiento de hasta 200% luego de producido el raleo. Esto confirma que la especie *N. antarctica* responde positivamente a estas intervenciones, aumentando considerablemente su crecimiento individual al reducirse la competencia por la eliminación de árboles vecinos. Sin embargo, en la provincia de Tierra del Fuego, no se han establecido ensayos permanentes de raleo en bosques de ñire que permitan evaluar su respuesta en estas latitudes.

Conocer el efecto sobre el crecimiento de los ñirantales que se produce al aplicar raleos de distintas intensidades es primordial para lograr una correcta planificación del manejo silvopastoril en Tierra del Fuego. Es por ello que el objetivo de este trabajo es presentar los primeros resultados de un ensayo de raleo realizado en un bosque de *N. antarctica* de Tierra del Fuego, en el cual se practicaron dos intensidades distintas de raleo.

MATERIAL Y MÉTODO

En invierno del año 2009, se estableció un ensayo silvopastoril en la Ea. Cabo San Pablo (54°15'46"LS 66°59'41"LO) en el cual se practicaron dos intensidades de raleo: Uno de mayor intensidad (raleo fuerte-RF) dejando un área basal (AB) remanente de 12 m².ha⁻¹, y uno de menor intensidad (raleo suave-RS) donde el AB remanente fue de 18 m².ha⁻¹. El ensayo abarcó una superficie total de 5 ha (2 ha para cada intensidad de raleo y 1 ha que se dejó como testigo-T).

Antes del raleo se establecieron 5 parcelas permanentes por cada tratamiento (N=15) donde se midió la estructura forestal original. Las parcelas fueron de forma circular de 7 m de radio (153 m²) para todos los tratamientos. Para determinar la estructura post-raleo se usó un radio de parcelas de 10 m (314 m²) para RS y 12 m (452 m²) para RF.

En cada parcela se determinó para cada árbol el diámetro a 1,30 m de altura (DAP) mediante una cinta diamétrica y la altura total (Ht) mediante un hipsómetro láser (TruPulse 200 de Laser Technology).

También se determinó la clase social a través de la posición relativa y tamaño de la copa de cada individuo en el estrato vertical, clasificándolos en dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos.

La altura del DAP, fue señalizada mediante un clavo de acero en aquellos individuos que no fueron raleados, con el fin de repetir anualmente las mediciones del diámetro sobre la misma zona del fuste.

También se determinó el grado de sanidad externa de los individuos clasificándolos en mala, regular y buena según si estos poseían defectos en el fuste generalizados, localizados o ausentes, respectivamente.

Una vez realizado el raleo, se obtuvieron 5 rodajas por parcela de árboles dominantes para la determinación de la edad al DAP. También se seleccionaron árboles de todas las clases sociales, a los cuales se les determinó volumen total con corteza (VTCC) hasta 5 cm en punta fina utilizando la fórmula de Smalian (Clutter *et al.*, 1983).

A partir de los datos de VTCC se ajustó una ecuación local de volumen mediante técnicas de regresión no-linear. El modelo obtenido fue evaluado mediante el coeficiente de determinación (R²), el desvío estándar de los residuales, el error medio de la estimación y el error absoluto promedio.

A partir de los datos obtenidos en el campo, se calculó el diámetro cuadrático medio (DCM), la densidad (N), la cobertura de copas (CC) a partir del AB según la ecuación desarrollada por Peri (2009) y el índice de densidad relativa (IDR) (Reineke, 1933) según una ecuación ajustada para la especie (Ivancich *et al.*, 2009).

A partir de la ecuación local de volumen, se calculó el VTCC por hectárea existente en cada parcela. También se calculó la altura dominante y el índice de sitio con edad base

50 años (IS_{50}) que permitió determinar la clase de sitio de cada parcela (Ivancich *et al.*, 2010a).

No fue posible determinar la edad y el IS_{50} en las parcelas testigo, debido a que en ese tratamiento no se aparearon individuos para la obtención de rodajas y su posterior medición de anillos.

Pasada una temporada de crecimiento, se volvió a medir el DAP usando la misma cinta diamétrica que se usó en la primera etapa de mediciones en cada uno de los árboles de cada parcela. Estos datos permitieron obtener los primeros valores de crecimiento en diámetro, área basal y volumen por hectárea.

Con los datos obtenidos se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) y test de comparación de medias (Tukey) con una significancia del 5% utilizando el software Statgraphics 5.1.

RESULTADOS

Se obtuvieron de las cubicaciones 48 datos de VTCC. La mayoría de los árboles cubicados presentó un DAP menor a 17 cm, siendo el mayor de 29,1 cm. Los VTCC variaron entre un máximo de 0,48 m³ y un mínimo de 0,004 m³.

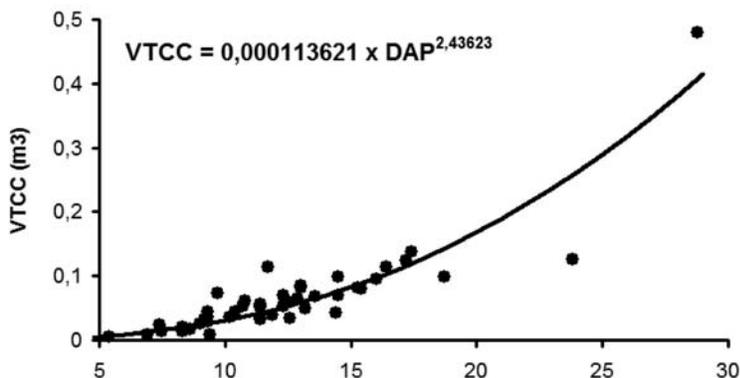
El 23% de los árboles cubicados perteneció a la clase social dominante, el 33% a la codominante, el 31% a la intermedia y el 13% fueron suprimidos.

La ecuación de volumen generada (Figura N°1) explicó un 83,8% de la variación de los datos, presentando un desvío estándar de los residuales de 0,028 m³, un error medio de la estimación de -0,0027 m³ y un error absoluto promedio de 0,0164 m³.

La estructura original presentó características similares a las de un bosque secundario, con una edad promedio de 48 años al DAP.

El estado sanitario de los árboles fue mayormente regular o bueno, presentando el 28,2% del AB una sanidad buena, el 51,1% del AB una sanidad regular mientras que el 18,7% presentó una sanidad mala.

En el RS el 82,4% del AB correspondió a árboles de las clases sociales dominantes y codominantes, mientras que en el RF y T los árboles dominantes y codominantes representaron el 71,3% y el 74,3% del AB.



VTCC: Volumen Total con Corteza
DAP: Diámetro a 1,30 m de Altura

Figura N° 1
MODELO Y ECUACIÓN LOCAL DE VOLUMEN Y DISPERSIÓN DE DATOS

La estructura forestal original fue similar entre tratamientos (Cuadro N° 1). Variando la N entre 2.183 y 2.845 ind.ha⁻¹, el DCM entre 14,3 y 12,4 cm, el AB promedio entre 34,0 y 38,7 m²ha⁻¹, el VTCC entre 163,0 y 190,2 m³ ha⁻¹ y CC varió entre 58,6% y 63, 4%, mientras que el IDR lo hizo entre el 48,3% y el 55,1% (Figura N° 2).

Las únicas variables que presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) fueron Hd y IS₅₀ que presentaron en RF valores superiores a los de los otros tratamientos. A pesar de las diferencias significativas encontradas para la variable IS₅₀, todas las parcelas pertenecieron a la clase de sitio I según la clasificación propuesta por Ivancich *et al.* (2010a).

Cuadro N° 1
ESTRUCTURA FORESTAL ANTERIOR A LAS INTERVENCIONES SILVÍCOLAS
(VALORES PROMEDIOS Y DESVÍOS ESTÁNDARES ENTRE PARÉNTESIS)

Tratamiento	N	DCM	AB	VTCC	CC	IDR	Hd	Edad	IS ₅₀
	(ind.ha ⁻¹)	(cm)	(m ² ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(%)	(%)	(m)	(años)	
RS	2793^a	13,4^a	38,7^a	190,5^a	63,4^a	55,1^a	9,9^a	49^a	10,2^a
	(± 448)	(± 1,0)	(± 4,4)	(± 21,3)	(± 4,3)	(± 6,0)	(± 0,9)	(± 3,1)	(± 0,5)
RF	2183^a	14,3^a	34,3^a	171,6^a	57,9^a	48,7^a	11,6^b	47^a	12,3^b
	(± 834)	(± 1,9)	(± 10,5)	(± 51,6)	(± 12,3)	(± 14,8)	(± 1,0)	(± 0,2)	(± 0,3)
T	2845^a	12,4^a	34,0^a	163,0^a	58,6^a	48,3^a	8,7^a	---	---
	(± 496)	(± 1,1)	(± 5,5)	(± 38,5)	(± 5,9)	(± 7,8)	(± 0,6)		
F	1,78	2,39	0,65	0,65	1,42	1,51	14,82	0,32	15,90
P valor	0,21	0,13	0,54	0,54	0,28	0,26	0,01	0,59	<0,00

N = densidad

DCM = diámetro cuadrático medio

AB = área basal

VTCC = volumen total con corteza

CC = cobertura de copas

IDR = índice de densidad relativa

Hd = altura dominante

IS₅₀ = índice de sitio con edad base 50

RS = raleo suave

RF = raleo fuerte

T = testigo. F = test de Fisher

P valor = nivel de probabilidad

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Luego de las intervenciones la estructura forestal se modificó de acuerdo a las intensidades de raleo realizadas (Cuadro N° 2).

En RS se removieron en promedio unos 2.112 individuos por hectárea, que representaron el 53,2% del AB original. Mientras que en el RF se cosecharon 1.838 árboles por hectárea removiendo el 65,0% del AB. Las variables N, AB, VTCC, CC e IDR fueron significativamente superiores en RS.

En ambos tratamientos, DCM presentó un valor superior al de la estructura original, debido a que los raleos fueron por lo bajo, cosechándose principalmente individuos de la clase intermedia y suprimidos.

El AB de las clases sociales superiores (dominantes y codominantes) representó el 94,3% y 92,2% del AB total para el RS y RF, respectivamente. En RS, el DCM aumentó de 13,4 a 18,3 cm luego del raleo, mientras que en RF aumentó de 14,3 a 21,2 cm, siendo luego de la intervención, el DCM de RF significativamente superior al de RS. El VTCC disminuyó un 47% en RS y un 60% en RF respecto de la estructura original, mientras que la CC se redujo en 40 y 53% para RS y RF, respectivamente.

Por otro lado, el IDR disminuyó un 50% en RS y un 65% en RF respecto de la estructura original (Figura N° 2).

Cuadro N° 2
ESTRUCTURA FORESTAL LUEGO DE LAS INTERVENCIONES SILVÍCOLAS
(VALORES PROMEDIOS Y DESVÍOS ESTÁNDARES ENTRE PARÉNTESIS)

Tratamiento	N	DCM	AB	VTCC	CC	IDR	ABrem
	(Ind. ha-1)	(cm)	(m2 ha-1)	(m3 ha-1)	(%)	(%)	(%)
RS	681 b (± 48,3)	18,3 a (± 1,7)	18,1 b (± 4,0)	100,7 b (± 29,8)	38 b (± 6,6)	25,7 b (± 5,7)	48,4 a (± 15,9)
RF	345 a (± 63,7)	21,2 b (± 1,3)	12,0 a (± 1,5)	67,9 a (± 8,8)	27 a (± 2,9)	17,1 a (± 2,1)	39,8 a (± 9,1)
F	88,58	9,00	10,27	5,58	10,88	10,27	1,09
P valor	<0,01	0,02	0,01	0,046	0,01	0,01	0,33

N = densidad

DCM = diámetro cuadrático medio

AB = área basal

VTCC = volumen total con corteza

CC = cobertura de copas

IDR = índice de densidad relativa

Hd = altura dominante

IS₅₀ = índice de sitio con edad base 50

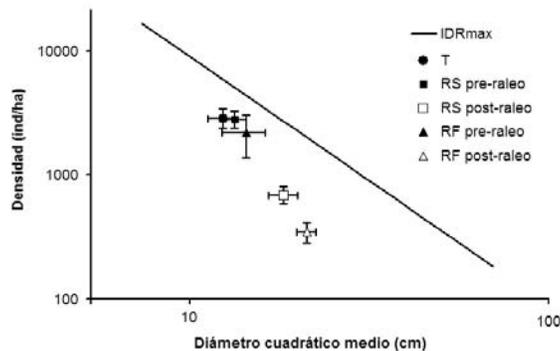
RS = raleo suave

RF = raleo fuerte

F = test de Fisher

P valor = nivel de probabilidad.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey (p <0,05).



IDRmax = recta de máxima densidad relativa según Ivancich et al. (2009)

T = testigo

RS pre-raleo = raleo suave antes de la intervención

RS post-raleo = raleo suave después de la intervención

RF pre-raleo = raleo fuerte antes de la intervención

RF post-raleo = raleo fuerte luego de la intervención.

Las barras representan la desviación estándar.

Figura N° 2

RELACIÓN TAMAÑO DENSIDAD DE LOS TRATAMIENTOS ANTES Y DESPUÉS DEL RALEO

Luego de la primera temporada de crecimiento, el DCM aumentó entre 0,13 y 0,23 cm. En ninguna parcela se registraron árboles muertos o volteados, conservando todos los tratamientos la misma N que la registrada inmediatamente después de aplicados los raleos.

En las parcelas raleadas se observaron incrementos en DCM (IncDCM) estadísticamente superiores al de las parcelas testigo (Cuadro N° 3). Sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre las dos intensidades de raleo. A pesar de ello el IncDCM, fue mayor en RF que en RS.

El incremento del AB por hectárea (IncAB) y el incremento del VTCC por hectárea (IncVTCC) fue en ambos casos significativamente superior en el testigo sin observarse diferencias significativas entre las distintas intensidades de raleo. Sin embargo, RS presentó valores mas elevados de IncAB y de IncVTCC que RF.

Cuadro N° 3
ESTRUCTURA FORESTAL UNA TEMPORADA DE CRECIMIENTO DESPUES DE LAS
INTERVENCIONES SILVICOLAS E INCREMENTOS ANUALES (VALORES PROMEDIOS Y
DESVÍOS ESTÁNDARES ENTRE PARÉNTESIS)

Tratamiento	N	DCM	AB	VTCC	IDR	IncDCM	IncAB	IncVTCC
	(Ind.ha ⁻¹)	(cm)	(m ² ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(%)	(cm año ⁻¹)	(m ² ha ⁻¹ año ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)
RS	681 ^a	18,5 ^b	18,5 ^a	103,4 ^a	26,3 ^a	0,21 ^b	0,41 ^a	2,64 ^a
	(± 48,3)	(± 1,7)	(± 4,1)	(± 30,1)	(± 5,8)	(± 0,05)	(± 0,13)	(± 0,88)
RF	345 ^a	21,4 ^c	12,3 ^a	69,7 ^a	17,4 ^a	0,23 ^b	0,27 ^a	1,78 ^a
	(± 63,7)	(± 1,3)	(± 1,5)	(± 8,8)	(± 2,1)	(± 0,02)	(± 0,04)	(± 0,23)
T	2845 ^b	12,5 ^a	34,7 ^b	167,2 ^b	49,3 ^b	0,13 ^a	0,75 ^b	4,23 ^b
	(± 495,6)	(± 1,1)	(± 5,6)	(± 39,1)	(± 7,9)	(± 0,02)	(± 0,18)	(± 1,01)
F	109,62	52,84	40,59	14,64	41,51	10,86	17,84	12,53
P valor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

N = densidad

DCM = diámetro cuadrático medio

AB = área basal

VTTC = volumen total con corteza

CC = cobertura de copas

IDR = índice de densidad relativa

IncDCM = incremento anual del diámetro cuadrático medio

IncAB = incremento anual del área basal

IncVTCC = incremento anual del volumen total con corteza

RS = raleo suave

RF = raleo fuerte

T = testigo

F = test de Fisher

P valor = nivel de probabilidad.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey (p <0,05).

DISCUSIÓN

La ecuación local de volumen presentó estadísticos comparables a los de otras ecuaciones locales publicadas para la especie. El Coeficiente de determinación (R^2) fue levemente inferior a los calculados por Fernández *et al.* (1995), Reque *et al.* (2007), Gyenge *et al.* (2009) (entre 92,0 y 99,2) y estuvo en el rango de los calculados por Lencinas *et al.* (2002) (entre 73,2 y 92,2).

Por otro lado el desvío estándar de los residuales estuvo en el rango de los valores encontrados por otros autores, entre 0,023 y 0,147 m³ (Fernández *et al.*, 1995) y entre 0,0154 y 0,137 m³ (Lencinas *et al.*, 2002). Por lo tanto, las ecuaciones ajustadas en el presente trabajo pueden ser utilizadas para estimar el crecimiento volumétrico de los rodales de ñire en el rango diamétrico evaluado.

La estructura original medida corresponde a un bosque subestoqueado donde el índice de densidad de rodal para los tres tratamientos, se ubica cercano al 50 % y la

cobertura de copas se encuentra muy por debajo de las registradas para bosques de ñire cerrados. Soler Esteban *et al.* (2010) registraron una CC del 85% para bosques secundarios en el centro de Tierra del Fuego. Por otro lado, en bosques primarios de ñire sin manejo de la provincia de Santa Cruz con DCM entre 20 y 27 cm se han registrado CC de entre 90 y 98% (Peri *et al.*, 2005). Esta menor cobertura del dosel medida en el presente ensayo puede estar relacionada a una presión ejercida por el ganado doméstico, ya que históricamente, la principal actividad productiva del establecimiento donde se realizó el ensayo ha sido la ganadería ovina y vacuna.

Las intensidades de raleo ensayadas fueron cercanas a las que se recomienda aplicar en sistemas silvopastoriles dentro de bosques de ñire en Patagonia Sur. Según Peri *et al.* (2009), en sitios con un régimen de precipitación favorable o ñirantales con alturas dominantes superior a los 8 m, se recomienda una intensidad máxima de raleo que deje una CC remanente de 30-40%. De esta manera, además del efecto positivo sobre el crecimiento de los árboles, se produce un aumento en la producción de pasturas (1400 ± 250 kg MS ha⁻¹ año⁻¹) si se parte de un bosque cerrado con una cobertura de copas cercana al 90% (Peri *et al.*, 2009).

El RF de este ensayo fue levemente más intenso (27% de CC remanente) que lo recomendado. Sin embargo, teniendo en cuenta que la altura dominante de los rodales intervenidos es superior a los 8 m, lo que sugiere regímenes de precipitación favorables, una intervención de estas características podría ser apropiada en rodales de este tipo.

La estructura forestal un año después de realizado el raleo demuestra una respuesta positiva de los bosques de ñire de Tierra del Fuego ante este tipo de intervenciones silvícolas. En Chubut también se observó una buena respuesta en el crecimiento de ñirantales raleados (Sarasola *et al.*, 2008). En esos ensayos se aumentó el crecimiento diamétrico hasta un 200%. En el presente ensayo, los incrementos en diámetro fueron menores a los registrados por Sarasola *et al.* (2008), siendo 62% en RS y 77% en RF.

Esta menor respuesta podría estar relacionada a la baja densidad relativa registrada en las parcelas sin intervenir, lo que permite una mayor permeabilidad a la luz y un elevado crecimiento en diámetro aún en el tratamiento testigo. Si bien no se observaron diferencias significativas de crecimiento diamétrico entre las dos intensidades de raleo, la tendencia hacia un mayor crecimiento en RF podría relacionarse a la mayor apertura del dosel generada en ese tratamiento, lo que permitiría un mayor aprovechamiento de la luz por los árboles remanentes. Las diferencias de IncAB e IncVTCC entre el RS y RF también están relacionadas con la mayor densidad de árboles presentes en el RS. Por otro lado, los mayores incrementos en AB y VTCC registrados en el testigo se explicarían por la mayor densidad de individuos en ese tratamiento.

Los resultados obtenidos están en relación directa con la intensidad de las intervenciones realizadas, observándose una mejora en las características dasométricas de los rodales intervenidos, y una disminución del 37% en RS y del 58% en RF de la productividad potencial de los rodales medida en el testigo.

Los incrementos en VTCC registrados fueron concordantes con los estimados a

partir del modelo ajustado por Ivancich *et al.* (2010b) que predice el incremento anual del VTCC por hectárea de un rodal a partir de su clase de sitio, edad y AB. Los IncVTCC estimados a partir del modelo citado para los tratamientos RS, RF y T fueron de 2,63, 1,74 y 4,23 m³ ha⁻¹ año⁻¹, cuyos valores son muy cercanos a los medidos en el presente ensayo.

CONCLUSIONES

Las intervenciones silvícolas tempranas en rodales de *Nothofagus* resultan útiles herramientas para redirigir el crecimiento hacia individuos selectos, evitando la mortalidad natural del rodal.

Los resultados obtenidos hasta el momento fueron consistentes con los publicados en otros trabajos, evidenciando la capacidad de respuesta de la especie *N. antarctica* que aumenta el crecimiento individual debido a la eliminación de árboles competidores. Este estudio demuestra la potencialidad de estos bosques de ser manejados mediante intervenciones silvícolas intensivas.

La mayor utilidad de las parcelas permanentes a largo plazo reside en la posibilidad de obtener resultados que sirvan como información de base relevante para la planificación e implementación de sistemas silvopastoriles en Tierra del Fuego. Los resultados aquí presentados, son los provenientes de la primera y segunda temporada de mediciones de un ensayo permanente. Por lo que la información más valiosa de este ensayo será la obtenida en los años subsiguientes.

RECONOCIMIENTO

Se agradece la colaboración del establecimiento rural Ea. Cabo San Pablo, así como la ayuda en los trabajos de campo de docentes y alumnos de la carrera de Técnico Superior Forestal del CENT35, Río Grande, Tierra del Fuego.

REFERENCIAS

Clutter, J., Fortson, J., Pienar, L., Brister, L. and Bailey, R., 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Son. 333 pp.

Cruz, G. y Caldentey, J., 2007. Caracterización, silvicultura y uso de los bosques de coihue de magallanes (*Nothofagus betuloides*) en la XII Región de Chile. Universidad de Chile, Santiago (Chile). 126 pp.

Fernández, M. C., Martínez Pastur, G. J., Boyeras, F., Alloggia, M., y Vukasovic, R., 1995. Estimación de la producción para ñire en Tierra del Fuego: 1. Análisis de forma y ecuaciones locales de volumen para diferentes condiciones de sitio. IV Jornadas Forestales Andino Patagónicas, San Martín de los Andes, Neuquén, Argentina. Libro de Actas. p. 137-144.

Gyenge, J., Fernández, M., Sarasola, M., de Urquiza, M., y Schlichter, T., 2009. Ecuaciones para la estimación de biomasa aérea y volumen de fuste de algunas especies leñosas nativas en el valle del río Foyel, NO de la Patagonia Argentina. *Bosque* 30(2): 95-101.

Ivancich, H. S., Soler-Esteban, R., Martínez Pastur, G., Peri, P. L., y Bahamonde. H., 2009. Evaluación de pastizales en bosques de *Nothofagus antarctica* – Método Ñirantal Sur. Actas Primer Congreso Nacional Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Misiones, Argentina. 245-250 pp.

Ivancich, H. S., Martínez Pastur. G. J., y Peri, P. L., 2010a. Modelos forzados y no forzados para el cálculo del índice de sitio. *Revista BOSQUE*. Enviado 04/05/10.

Ivancich, H. S., Martínez Pastur, G. J., Cellini, J. M., Lencinas, M. V., and Peri, P., 2010b. Stand growth model for *Nothofagus antarctica* primary forests. VI Southern Connection Congreso. Bariloche, Río Negro, Argentina.

Lencinas, M. V., Martínez Pastur, G. J., Cellini, J. M., Vukasovic, R., Peri, P. L., Fernández, M. C., 2002. Incorporación de la altura dominante y la clase de sitio en ecuaciones estándar de volumen para *Nothofagus antarctica* (Forster f.) Oersted. *Bosque* 23(2): 5-17.

Martínez Pastur, G. J., Cellini, J. M., Lencinas, M. V., Vukasovic, R., Vicente, R., Bertolami, F., y Giunchi, J., 2001. Modificación del crecimiento y la calidad de fustes en un raleo fuerte de un rodal en fase de crecimiento óptimo inicial de *Nothofagus pumilio*. *Ecología Austral* 11: 95-104.

Martínez Pastur, G. J., Cellini, J. M., Lencinas, M. V., Vukasovic, R., Peri, P.L., and Donoso, S., 2002. Response of *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oersted to different thinning intensities in Tierra del Fuego (Argentina). *Interciencia*. 27: 679-685.

Martínez Pastur, G. J., Lencinas. M. V., Cellini, J. M. and Mundo, I., 2006. Diameter growth: can live trees decrease? *Forestry* 80(1): 83-88.

Martínez Pastur, G. J., Cellini, J. M., Lencinas, M. V., y Peri, P. L., 2008. Potencialidad de la cosecha y rendimiento industrial de bosques de *Nothofagus antarctica* en Tierra del Fuego (Argentina). 4º congreso Chileno de Ciencias Forestales Talca (Chile), 10 pp.

Peri, P. L. 2004. Propuesta de un modelo de producción para Patagonia. PIARFON. Dirección de bosques. Secretaria de ambientes y desarrollo sustentable de la nación. Proyecto BIRF 4085-AR (PNUD – Banco Mundial), pp 2-8.

Peri, P. L., 2005. Sistemas Silvopastoriles en Ñirantales. *IDIA XXI Forestal* 5(8), 255-259.

Peri, P. L., Sturzenbaum, M. V., Monelos, L., Livraghi, E., Christiansen, R., Moreto, A., y Mayo, J.P., 2005. Productividad de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de

ñire (*Nothofagus antarctica*) de Patagonia Austral. Actas III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Comisión Silvicultura Bosque Nativo. Corrientes, Argentina, 10 pp.

Peri, P. L., 2006. Sistemas silvopastoriles en bosques nativos de ñire de Patagonia Sur. SAGPyA Forestal 38.

Peri, P. L., Monelos, L. H., y Bahamonde, H. A., 2006. Evaluación de la continuidad del estrato arbóreo en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* bajo uso silvopastoril con ganado ovino en Patagonia Sur, Argentina. Congreso Latinoamericano Agroforestería. Habana, Cuba, 6 pp.

Peri, P.L., Hansen, N., Rusch, V., Tejera, L., Monelos, L. H., Fertig, M., Bahamonde, H. A., y Sarasola, M., 2009. Pautas de manejo de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* (ñire) en Patagonia. Actas Primer Congreso Nacional Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Misiones, Argentina. 151-155 pp.

Peri, P. L., 2009. Evaluación de pastizales en bosques de *Nothofagus antarctica* – Método Ñirantal Sur. Actas Primer Congreso Nacional Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Misiones, Argentina. 335-342 pp.

Reque, J., Sarasola, M., Gyenge, J., y Fernández, M., 2007. Caracterización silvícola de los ñirantales del norte de la Patagonia para la gestión forestal sostenible. Bosque 28(1): 33-45.

Reineke, L., 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. Journal of Agricultural Research 16(7): 627-638.

Sarasola, M., Fernández, M. A., Gyenge, J., y Peyrou, C., 2008. Respuesta de los ñires al raleo en la cuenca del Río Foyel. EcoNothofagus 2008 – Segunda Reunión sobre *Nothofagus* en la Patagonia. Esquel, Chubut, Argentina, 47pp.

SAyDS, 2005. Primer inventario nacional de bosques nativos. Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación – Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires, 86 pp.

Soler Esteban, R., Martínez Pastur, G., Lencinas, M. V., and Peri P., 2010. Flowering and seeding patterns in primary, secondary and solvopastoral manager *Nothofagus antarctica* forests in South Patagonia. New Zealand Journal of Botany, 48(2): 63-73.

EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE REGENERACIÓN APLICADOS EN EL TIPO FORESTAL ROBLE – HUALO EN LA REGIÓN DEL MAULE

Iván Quiroz M.¹, Edison García R.¹ Marta González O¹. y Hernán Soto G.¹

RESUMEN

El presente trabajo corresponde a una línea de investigación encargada a INFOR por el Ministerio de Agricultura y contiene la metodología aplicada y los resultados obtenidos en la evaluación de los métodos de regeneración para el Tipo Forestal Roble - Hualo. Se evaluaron áreas representativas e intervenidas en los últimos 20 años en la Región del Maule, con el objetivo de generar y sistematizar antecedentes técnicos sobre la aplicabilidad de los métodos de regeneración para este tipo forestal..

La literatura técnica sobre el tema, nacional e internacional (Norteamérica y Europa), muestran procedimientos silviculturales que son utilizados en bosques de estructura simple (número de especies) y equilibrados. Sin embargo, en Chile los bosques nativos se caracterizan por su alta heterogeneidad, en cuanto a la distribución y calidad de los individuos, a ello se suma que son bosque compuestos por diferentes especies, que han sido intervenidos sin consideraciones de tipo silvícola, generando masas boscosas que requieren variados métodos silviculturales para lograr su equilibrio en cuanto a estructura vegetal y calidad maderera y no maderera (hongos comestibles, frutos, otros).

Se reconoce que la forma en que se aplican los actuales métodos de regeneración no contribuyen a mejorar la calidad de los bosques y así mismo que los esquemas preestablecidos en la normativa vigente al respecto no se adecúan a su actual composición y desarrollo, por ello es necesario incorporar criterios de manejo (o regeneración) que representen las diferentes condiciones del bosque.

Palabras clave: Bosque nativo, manejo forestal, Tipo Forestal Roble - Hualo

¹ Instituto Forestal, Sede Bio Bio, Concepción – Centro Tecnológico de la Planta Forestal, Chile. ivan.quiroz@infor.cl

SUMMARY

This paper is under the framework of a research line on native forest management supported by the Agriculture Ministry and contains the methodology and the results of regenerative methods applied to the Roble - Hualo forest type. Representative areas intervened during the last 20 years in Maule's Region were evaluated with the objective of generating and systematizing technical background on the applicability of the regeneration methods for this forest type.

National and international (North America and Europe) technical references on the matter mention different silvicultural procedures used in simple structure (number of species) and balanced forests. However, the Chilean native forests are characterized by a high heterogeneity in the distribution and quality of individuals and a number of species their composition, and have been intervened in the past without silvicultural considerations. Consequently, those forests nowadays require silvicultural methods to achieve a balance in terms of the vegetation structure and the quality of wood and non-wood forest products (mushrooms, fruits, others).

It is recognized that the current applied regeneration methods are not contributing to improve the forests quality and the technical practices established on the regulations in force on the matter are not appropriated to their present composition and development. That is the reason why it is necessary the application of management (or regeneration) criteria accordingly to the different current native forest conditions.

Key words: Native forests, forest management, Roble – Hualo Forest Type

INTRODUCCIÓN

En el año 1974 se promulga el Decreto Ley N° 701 con la finalidad de regular el uso racional de los recursos naturales renovables de los terrenos forestales y en general propender a la conservación, mejoramiento, protección e incremento de estos recursos en el país.

Para el bosque nativo se generó además el Reglamento Técnico DS N° 259/1980, que regula su manejo de modo de asegurar la regeneración, reconociendo para esto los métodos de corta a Tala Rasa, Árbol Semillero, de Protección y Selectiva o Entresaca.

Esta normativa ha tenido por objetivo velar por la sustentabilidad del bosque nativo, es decir, que se obtengan productos de calidad en forma continua, sin embargo, son numerosos los estudios que demuestran la descapitalización económica por pérdidas de cantidad, calidad y estructura del recurso como resultado de su sobreutilización.

Actualmente los bosques nativos presentan diferentes grados de intervención y degradación y, dependiendo de la calidad original del bosque y de la frecuencia con que fue intervenido, el rodal resultante es más o menos abierto con una escasa regeneración a consecuencia del fuerte desarrollo del sotobosque.

Un esfuerzo adicional por asegurar la sustentabilidad del bosque es la aprobación de la Ley N° 20.283/2008 (CONAF, 2010a), de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, para cuya implementación se han aprobado sus Reglamentos General y Específicos, y se está por concretar prontamente el Reglamento de Suelo, Aguas y Humedales.

En esta Ley se indica, en su Título I De los Tipos Forestales, que “mediante decreto supremo expedido por intermedio del Ministerio de Agricultura, se establecerán los tipos forestales a que los pertenecen los bosques nativos del país y los métodos de regeneración aplicables a ellos”. En la misma ley se indica que “El procedimiento para establecer los tipos forestales y los métodos de regeneración considerará, a lo menos, las siguientes etapas: Desarrollo de estudios científicos y técnicos que fundamenten la tipología establecida, sus métodos de regeneración y consulta a los organismos públicos y privados con competencia en la materia”.

El presente documento fue desarrollado por el Instituto Forestal como parte de los estudios sobre bosque nativo encargados por el Ministerio de Agricultura. Contiene la metodología aplicada y los resultados obtenidos en la evaluación de los sistemas silviculturales (métodos de regeneración) aplicados al tipo forestal Roble - Hualo. Fueron evaluadas áreas representativas e intervenidas en los últimos 20 años, y el trabajo tiene por objetivo generar y sistematizar antecedentes técnicos sobre la aplicabilidad de los métodos de regeneración al tipo forestal Roble - Hualo en la Región del Maule.

CARACTERIZACIÓN TIPO FORESTAL ROBLE – HUALO

El Tipo Forestal Roble-Hualo se distribuye en gran parte de la región de clima mediterráneo del país, por ambas cordilleras. En la Cordillera de la Costa se encuentra en la parte superior de los cerros, desde los 32°50' LS, cerro La Campana, y los 35° LS, sur del río Mataquito, hasta el río Itata en los 36°30' LS. Dependiendo de la latitud, este tipo limita en las partes bajas de las laderas con el Tipo Forestal Esclerófilo. En la Cordillera de los Andes se ubica entre los 34°30' LS y 35° LS formando bosquetes sobre los 1.000 m de altitud. Al sur de los 35° LS y hasta los 36°50' LS, río Ñuble, los bosques crecen en forma aproximadamente continua sobre los 400 a 600 msnm (Donoso, 1981).

Desde un punto de vista florístico y estructural, este tipo forestal incluye 5 subtipos dentro de su distribución:

Subtipo bosquetes costeros septentrionales de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.)

Subtipo bosques andinos de roble de altura

Subtipo bosques de hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser)

Subtipo bosquetes de ruil (*Nothofagus alessandrii* Espinosa)

Subtipo Bosques higrófitos de quebradas

Dentro del área de distribución de este tipo forestal, las altitudes menores en la precordillera de los Andes han sido alteradas en general y transformadas en campos agrícolas. En la cordillera de la Costa, en el límite norte hasta el río Mataquito, este tipo se presenta como bosquetes aislados en las cumbres y laderas o quebradas altas húmedas.

En las elevadas cumbres entre Santiago y Valparaíso los bosquetes son rodales casi puros de roble; se asocian con esta especie peumo (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser), maitén (*Maytenus boaria* Mol.), quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) y litre (*Lithraea caustica* (Molina) Hook. et Arn). Al sur de estos cordones aparece hualo formando bosquetes aislados que no se mezclan con los de roble, estos últimos crecen en esta área en las quebradas y sectores más húmedos.

Al sur del río Mataquito y hasta el río Itata por la cordillera de la Costa el bosque aparece en forma continua y la especie de mayor importancia relativa pasa a ser hualo o roble colorado, que constituye bosques casi puros en las laderas de los cerros. El sotobosque está constituido por algunos ejemplares de lingue (*Persea lingue* Ness), radial (*Lomatia hirsuta* (Lam.) Diels ex MacBride), avellano (*Gevuina avellana* Mol.), peumo, boldo (*Peumus boldus* (Molina) Johnston) y litre.

En algunas laderas de exposición Sur Oeste, dentro de estos sectores, se encuentran rodales de ruil. En las quebradas y terrenos húmedos, en general, se

desarrollan bosques de tipo más higrófito, donde las especies de mayor importancia son roble o hualle, canelo (*Drymis winteri* J.R. et G. Forster.), olivillo (*Aextoxicon punctatum* R. et Pav.), lingue, huala (*Nothofagus leonii* Espinosa) y otras.

En la cordillera de los Andes el tipo se caracteriza por la mayor importancia relativa de roble en los bosquetes y bosques del sector septentrional desde el límite norte hasta el río Lontué, en los sectores sobre los 1.000 msnm, al sur del río Maule.

Al sur del río Lontué, en las áreas bajas, en las exposiciones sur y lomajes sobre los 1.000 msnm, roble forma bosques puros, pero en las exposiciones más cálidas, hualo es la especie de mayor importancia, formando bosques prácticamente puros (Donoso, 1981).

Históricamente el Tipo Forestal Roble–Hualo ha sufrido una severa intervención antrópica, primero para habilitar terrenos para asentamientos humanos, luego para ser reemplazados por cultivos agrícolas y posteriormente para el cultivo de especies forestales exóticas. Como resultado de lo anterior, lo que en el pasado fue una gran extensión continua de bosques, actualmente esta reducido a pequeños parches o fragmentos, aislados entre sí, lo que los hace vulnerables a la acción invasora de la matriz que los circunda. La acción conjunta de estos factores se conoce como fragmentación (Donoso, 1994).

De acuerdo al catastro vegetacional de las especies nativas de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF, 1999), la superficie total de Bosque Nativo en el país es de 13.430.603 ha, de ella la superficie total del tipo forestal Roble - Hualo es de 187.586 ha (1,4 %), distribuidas entre las regiones de Valparaíso y del Bio Bio. La mayor concentración se observa en la Región del Maule, con una superficie aproximada de 148.182 ha, 79 % del total del tipo forestal y 40 % del total de bosque nativo regional.

**Cuadro N° 1
SUPERFICIE REGIONAL Y PROVINCIAL DEL TIPO FORESTAL ROBLE-HUALO
SEGÚN ESTRUCTURA**

REGIÓN / PROVINCIA	ADULTO	RENOVAL	ADULTO - RENOVAL	ACHAPARRADO	TOTAL
	SUPERFICIE (ha)				
VALPARAÍSO					
Petorca	-	-	-	-	0,0
San Felipe	-	149,9	-	-	149,9
Quillota	-	429,2	-	-	429,2
Los Andes	-	-	-	-	0,0
Valparaíso	-	53,7	-	-	53,7
Total Región	0,0	632,8	0,0	0,0	632,8
Porcentaje Región (%)	0,0	100,0	0,0	0,0	
METROPOLITANA					
Chacabuco	-	840,9	-	-	840,9
Santiago	-	-	-	-	0,0
Cordillera	-	-	-	-	0,0
Melipilla	-	4.967,4	-	-	4.967,4
Total Región	0,0	5.808,3	0,0	0,0	5.808,3
Porcentaje Región (%)	0,0	100,0	0,0	0,0	
O'HIGGINS					
Cardenal Caro	-	-	-	-	0,0
Cachapoal	-	3.162,6	-	-	3.162,6
Colchagua	1.461,1	11.128,8	2.549,4	-	15.139,3
Total Región	1.461,1	14.291,4	2.549,4	0,0	18.301,9
Porcentaje Región (%)	8,0	78,1	13,9	0,0	
MAULE					
Curicó	-	1.846,0	593,0	-	2.439,0
Talca	-	26.120,0	552,0	-	26.672,0
Cauquenes	-	11.814,0	547,0	-	12.361,0
Linares	7.463,0	88.581,0	10.666,0	-	106.710,0
Total Región	7.463,0	128.361,0	12.358,0	0,0	148.182,0
Porcentaje Región (%)	5,0	86,6	8,3	0,0	
BIO BIO					
Ñuble	1.641,8	9.987,5	3.031,9	-	14.661,2
Concepción	-	-	-	-	0,0
Arauco	-	-	-	-	0,0
Bío - Bío	-	-	-	-	0,0
Total Región	1.641,8	9.987,5	3.031,9	0,0	14.661,2
Porcentaje Región (%)	11,2	68,1	20,7	0,0	
TOTAL TIPO	10.565,9	159.081,0	17.939,3	0,0	187.586,2
PORCENTAJE (%)	5,6	84,8	9,6	0,0	

(Fuente: CONAF – CONAMA – BIRF, 1999)

En la Región del Libertador del General Bernardo O'Higgins, de las 118.013 ha de bosque nativo, el 15,5 % corresponde al Tipo Forestal Roble-Hualo; en la región

Metropolitana, cuyo recurso alcanza las 93.454 ha, alrededor del 7 %; en la Región del Biobío, de las 785.766 ha, sólo el 1,9 %; y, en la Región de Valparaíso, de 95.312,9 ha de bosque nativo, un escaso 0,7 %.

Es importante indicar que tradicionalmente la forma de explotación de los bosques nativos ha sido el floreo, sin conocimiento de las mejores técnicas silviculturales y de manejo que aseguren la sustentabilidad del recurso, razón por la cual el 84,8 % de la superficie del tipo forestal Roble - Hualo a nivel nacional se encuentra en estado de renoval, con un alto grado de intervención (Cuadro N° 1).

Tratamientos Silviculturales para Favorecer la Regeneración

En el año 1980, se generó el Reglamento Técnico DS N° 259/1980, que regula el manejo del bosque nativo de modo de asegurar su regeneración. Para ello, establece como métodos de corta: Corta a tala rasa, corta del árbol semillero, corta de protección y corta selectiva o entresaca. Asimismo, en éste reglamento se reconocen 12 tipos forestales, para los cuales se norman distintos métodos de corta y restricciones específicas, no obstante, solo en 10 se permiten intervenciones forestales.

Según este Reglamento el tipo forestal Roble-Hualo, es aquél que se encuentra representado por la presencia de una o ambas especies, roble y/o hualo, constituyendo, a lo menos, un 50 % de los individuos por hectárea, permitiéndose la aplicación de los 4 tratamientos silviculturales o métodos de corta y regeneración mencionados anteriormente, y que consisten básicamente en:

Corta o explotación a tala rasa: El volteo en una temporada de todos los árboles de un área definida del rodal. En este caso deberá establecerse un mínimo de 3.000 plantas por hectárea de las mismas especies homogéneamente distribuidas.

Corta o explotación por el método del árbol semillero: El volteo de todos los árboles del rodal en una temporada, exceptuando los árboles semilleros dejados para repoblar el área, los que serán de la especie que se desee regenerar. En este caso deberá dejarse como mínimo 10 árboles semilleros por hectárea, que permanecerán en pie hasta la fecha en que se establezcan, a lo menos, 3.000 plantas por hectárea, de la misma especie, homogéneamente distribuidas.

Corta o explotación de protección: La explotación gradual de rodal en una serie de cortas parciales, para dar origen a un rodal coetáneo a través de regeneración natural la cual se inicia bajo la protección del antiguo rodal. El propietario deberá establecer 3.000 plantas por hectárea como mínimo, de las mismas especies cortadas del tipo, homogéneamente distribuidas.

Corta o explotación selectiva o entresaca: La extracción individual de árboles o de pequeños grupos en una superficie no superior a 0,3 ha, debiendo mantenerse en este caso una faja boscosa alrededor de lo cortado de a lo menos 50 m. Mediante este método, solamente podrá extraerse hasta el 35 % del área basal del rodal, debiendo establecerse como mínimo 10 plantas de la misma especie por cada

individuo cortado, o 3.000 plantas por hectárea del tipo correspondiente, en ambos casos homogéneamente distribuidos. Una nueva corta selectiva en el mismo rodal, solamente se podrá efectuar una vez transcurrido 5 años desde la corta anterior.

Cuando el bosque se encontrare en terrenos de una pendiente mayor de 45 % no se podrán usar los métodos de tala rasa o de árbol semillero. Si la pendiente fuere entre 30 % y 45 % y se usare el método de la tala rasa o del árbol semillero, los sectores a cortar no podrán exceder de una superficie de 20 ha, debiendo dejarse entre sectores una faja boscosa de, a lo menos, 100 m. En pendientes superiores a 60 % sólo podrá usarse el método de corta o explotación selectiva.

Cuadro N° 2
MÉTODO DE CORTA SEGÚN TIPO FORESTAL Y RESTRICCIONES POR PENDIENTE

TIPO FORESTAL	METODOS DE REGENERACIÓN											
	Tala Rasa			Árbol Semillero			Corta de Protección			Corta Selectiva		
	Pendiente (%)											
	<45	45-60	>60	<45	45-60	>60	<45	45-60	>60	<45	45-60	>60
Siempreverde							X	X		X	X	X
Lenga							X	X		X	X	X
Roble-Raulí-Coigüe	X			X			X	X		X	X	X
Coigüe-Raulí-Tepa				X			X	X		X	X	X
Esclerófilo							X	X		X	X	X
Coigüe Magallanes							X	X		X	X	X
Ciprés Guaitecas										X	X	X
Roble - Hualo	X			X			X	X		X	X	X
Ciprés Cordillera							X	X		X	X	X
Palma chilena										X	X	X
Araucaria	Prohibida su corta.											
Alerce	Prohibida su corta.											

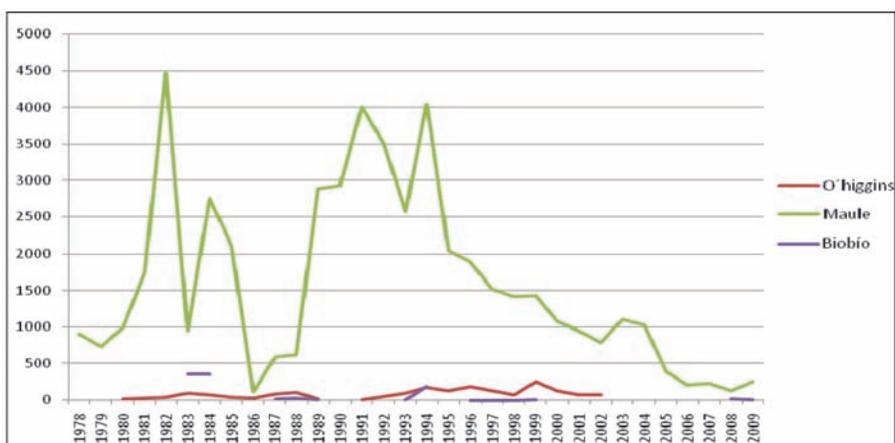
(Fuente: FIA, 2001).

Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser), Raulí (*Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. et Mil.), Coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst), Tepa (*Laureliopsis philippiana* Looser), Coigüe de magallanes (*Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oerst.), Ciprés de las guaitecas (*Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin), Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) P. Sem. et Bizarri), Palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon), Araucaria (*Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch.), Alerce (*Fitzroya cupressoides* (L.M.) Johnst.)

Superficie Intervenido del Tipo Forestal Roble-Hualo

Durante los últimos 30 años la superficie intervenida en el Tipo Forestal Roble - Hualo en las regiones de O'Higgins a Biobío, alcanza a 53.359 ha, involucrando aproximadamente a 890 predios, con una superficie media por predio de 60 ha.

De acuerdo con los registros de los planes de manejo, para este tipo forestal se observan tres ciclos de intervención (CONAF 2010 b). El primero considera el periodo desde 1980 a 1985 con una alta participación en términos de superficie. En iguales condiciones, el segundo período se inicia el año 1988 y finaliza el año 1995 con casi 2.000 ha afectadas, periodo que se caracterizó además por cierto dinamismo de la actividad forestal en el bosque nativo, coincidiendo con el "negocio de la astillas" donde se extrajeron y exportaron entre el año 1991 y 1997 más de 2.000.000 t de astillas en promedio (INFOR, 2009). Posterior al año 1995, se ha observado una baja considerable de superficie intervenida, la que ya ha fines de 2009 llegó a tan solo 240 ha (Figura N° 1).



(Fuente: CONAF, 2010).

Figura N° 1
SUPERFICIE TOTAL DE BOSQUE INTERVENIDOS DEL TIPO FORESTAL
ROBLE-HUALO REGIONES DE O'HIGGINS A BIOBÍO
(hectáreas)

La Región del Maule presenta la mayor superficie intervenida del Tipo Forestal Roble - Hualo, con un total desde el año 1978 al 2009 de 50.414 ha, lo que representa el 94% de la superficie total manejada entre las regiones de O'Higgins a Biobío.

Según los antecedentes, mayoritariamente los métodos aplicados a nivel nacional fueron cortas de liberación, plantaciones, métodos silvícolas que favorecen la regeneración natural y otros, equivalente al 34 % del total de la superficie intervenida. Le siguen las

cortas selectivas, que alcanzan el 26 % del bosque manejado y los raleos con un 17 % de participación. Al analizar los métodos de regeneración en específico, el de mayor importancia es la corta selectiva, con 14.182 ha, le sigue la corta de protección con 5.859 hectareas, y finalmente el método del árbol semillero con 2.177 ha (Figura N° 2).

Cuando se analiza el comportamiento de las intervenciones a nivel regional, se aprecian variaciones porcentuales significativas entre las regiones de Bio Bio y Maule, por ejemplo, de la superficie intervenida en Bio Bio, un alto porcentaje corresponde al método del árbol semillero, corta selectiva y raleos, no obstante en Maule, el mayor porcentaje de superficie intervenida corresponde a otros métodos, corta selectiva y raleos. En la región de O´higgins el mayor porcentaje de superficie intervenida corresponde a corta selectiva y otros métodos. Cabe señalar que una alta participación porcentual a nivel regional por tipo de intervención son las cortas selectivas (Figura N° 2).

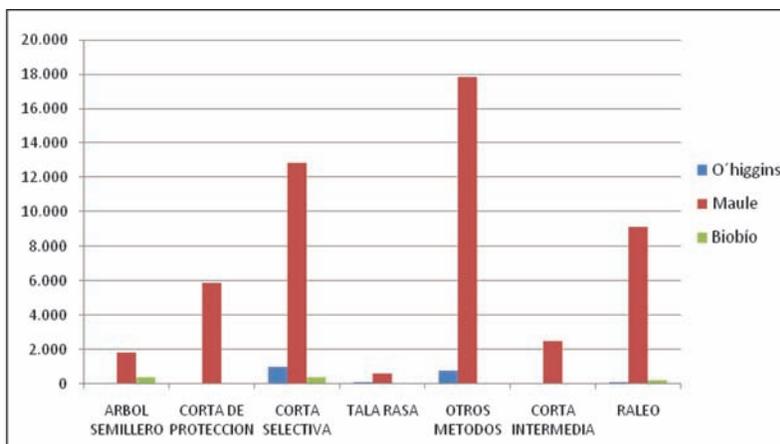


Figura N° 2
SUPERFICIE TOTAL INTERVENIDA SILVÍCOLAMENTE DEL TIPO ROBLE – HUALO
PERIODO 1978-2009, POR REGIONES Y SEGÚN TIPO DE INVENCIÓN

MATERIAL Y METODO

Caracterización de los Predios

Para la caracterización de los predios se emplearon bases de datos proporcionadas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), apoyados con imágenes de satélite y cartas IGM. Con estos antecedentes se localizaron en oficina predios con presencia de Roble-Hualo en sus coordenadas UTM en X e Y, considerando la variación de Huso 18 a Huso 19 y Datum WGS 84. Con esta información se realizaron las evaluaciones de terreno, donde se registraron las siguientes variables:

Ubicación administrativa: Esto incluye Comuna, nombre del predio, número de

rol SII, nombre del propietario, nombre de contacto, teléfono fijo o celular, superficie total del predio, superficie del rodal(es) intervenido(s), otros de interés.

Pendiente: El cálculo de la pendiente permite establecer con precisión la parcela. Para ello se identifica en terreno, y sobre el punto centro de la parcela, la dirección de la pendiente más pronunciada (dirección de la pendiente predominante). Para su determinación se utilizaron instrumentos de precisión y a una distancia de 30 metros. Posteriormente, se clasificaron de acuerdo con lo siguiente:

- Código 1 para rango de pendiente entre 0 y 15 %.
- Código 2 para el rango de pendiente entre 16 a 30 %.
- Código 3 para el rango de pendiente entre 31 a 45 %.

Exposición: Disposición principal del terreno intervenido en relación a los puntos cardinales (N: Norte; S: Sur; E: Este; O: Oeste; NE: Noreste; SE: Sureste; NO: Noroeste; SO: Suroeste), para cada situación encontrada en terreno.

Altitud: Indicada en metros sobre el nivel del mar según lo indicado por los instrumentos de precisión (GPS).

Punto de georeferencia: La ubicación del predio en coordenadas UTM y tipo de Huso (GPS).

Tipo de bosque:

- | | |
|--------------|---|
| Monte Alto: | Los individuos del bosque se han originado desde semilla. |
| Monte Bajo: | Los árboles del bosque se han originado mediante reproducción vegetativa, ya sea por brotes de tocón o de raíces. |
| Monte Medio: | Los árboles de la parcela presentan un tipo mixto, algunos se han desarrollado de tocones y otros de semilla. |

Observaciones generales de acceso y llegada al predio: Identificación de los caminos más cercanos que llegan a la parcela.

Tamaño y Distribución de la Unidad Muestral

El levantamiento de la información relevante se obtuvo de la unidad muestral de caracterización conformada por tres parcelas circulares de diferentes tamaños:

Parcela de Árboles Residuales: Se definen como parcelas circulares de radio 12,62 m (500 m²), con un mínimo de 3 parcelas por rodal intervenido y según sistema de regeneración utilizado. La distribución de estas parcelas se determinó en gabinete y se evalúan todas las especies de un diámetro (DAP) superior a 8 cm.

Parcelas de Regeneración Artificial: Esta parcela tiene un radio de 6,25 m (123 m²) y se evalúan todas las plantas establecidas, sin restricciones de desarrollo.

Parcelas de Regeneración Natural: En esta parcela de radio de 1,13 m (4 m²) se evalúan todas las especies regeneradas presentes dentro de la parcela.

Por cada parcela de bosque residual se evaluaron 3 parcelas de regeneración artificial y 3 parcelas de regeneración natural distribuidas de norte a sur y en forma equidistante.

La ubicación de la unidad muestral se determinó en oficina, mediante una secuencia de localización de la primera parcela en el centro del rodal y las siguientes equidistantes a ella en orientación E y O de manera sistemática. Una vez en terreno, si las condiciones del predio, en cuanto a forma y/o ubicación espacial, no permitían lo anterior, las parcelas se ubicaron bajo una nueva orientación desde el centro de la parcela, y de acuerdo al siguiente orden: NO-SE, NE-SO y N-S, hasta completar el número de parcelas determinadas por el método de regeneración aplicado para la superficie del predio.

El número de la unidad muestral por método de regeneración y predio se definieron en relación con la superficie intervenida, estableciendo tres rangos, correspondiendo por tramo el siguiente número de unidades muestrales:

Superficies menores a 15 ha: 3 unidades muestrales de caracterización.

Superficies ubicadas en el rango entre 15 y 30 ha: 4 unidades muestrales de caracterización.

Superficies mayores a 30 ha: 5 unidades muestrales de caracterización.

Se determinó una superficie mínima intervenida para evaluación de 3 ha, superficie que permite establecer un mínimo de 3 parcelas de bosque residual de 500 m². Los criterios de las correcciones de las parcelas y bordes se encuentran descritos en Quiroz *et al.*, 2010.

Caracterización del Bosque Residual

- Variables de Rodal

Cobertura de copa para el rodal (%): Valor aproximado en porcentaje, de cobertura clasificándolas de acuerdo a los siguientes rangos.

1: Cobertura de menos del 25 %

2: Cobertura entre el 25 y 50 %

3: Cobertura entre el 50 y 75 %

4: Cobertura entre el 75 y 100 %

Especie: Indica nombre de especies presentes en el rodal y sujetas a medición.

Diámetro a la altura de pecho (DAP en cm): Registro de todos los árboles mayores o iguales a 8 cm de diámetro. Por convención el Diámetro a la altura del pecho (DAP) es el diámetro del árbol medido a 1,3 m de altura desde el suelo. Para su medición se utilizó huincha diamétrica. Para la evaluación del DAP (cm) se consideró lo establecido por Zöhner (1980).

La forma de medir el DAP también depende de la inclinación que pueda presentar el árbol y su posición en pendiente respecto del observador. Otros casos especiales son los de forma, donde se pueden encontrar bifurcaciones del tronco, o la presencia en algunos árboles, de los llamados contrafuertes.

Altura total (m): Se mide en al menos los siete árboles más centrales pertenecientes a la posición sociológica dominante y co-dominante.

Altura de inicio de copa (m): Altura de inicio de la copa viva del árbol.

Posición sociológica: Para esta clasificación, se debe considerar lo indicado en la Quiroz *et al.*, 2010.

Tocones: Se miden todos los tocones de la parcela, numerándoles, indicando si es posible, la especie y midiendo su diámetro (cm).

- **Regeneración Artificial**

Para la regeneración artificial se registraron los siguientes parámetros:

Especie: Nombre de la especie establecida.

Altura: Altura de todas las plantas establecidas en el interior de la parcela (m).

Diámetro altura del cuello DAC: Diámetro a la altura de cuello de la planta medido a 1 cm desde el suelo (cm).

Diámetro a la altura de pecho DAP: Diámetro a la altura de pecho de las plantas medido a 1,3 m si corresponde (cm).

Calidad de la planta: Se evaluó de acuerdo a las siguientes categorías.

- 1: Alta vitalidad con crecimiento normal. Ápice y follaje saludables.
- 2: Ápice y follaje dañado, pero que no compromete su supervivencia.
- 3: Ápice y follaje dañado o muerto, y compromete su supervivencia.
- 4: Muerta.

Observaciones: Se señalan las especies arbustivas y herbáceas observadas en la parcela.

- **Regeneración Natural**

La regeneración o las variables asociadas a ella permiten estimar cuál será la composición y calidad de los bosques futuros, las acciones a realizar que permitan contar con mayor número de futuras plantas de ciertas especies de interés, o bien los tratamientos silviculturales que permitan favorecer la presencia de regeneración. En este caso, las variables medidas fueron:

Especie: Se registra el nombre de la especie o especies presentes.

Tipo de Regeneración: 1: Vegetativa; 2: Generativa

Clasificación por rango de altura (m) y número de plantas por rango: Se clasificaron todas las especies con un diámetro menor a 8 cm y número de plantas en los siguientes rangos: 0,0 – 0,5; 0,5 – 1,0; 1,0 – 2,0 y > 2,0 m.

Calidad de la regeneración natural clasificada en:

- 1: Alta vitalidad con crecimiento normal. Ápice y follaje saludables.
- 2: Ápice y follaje dañado, pero que no compromete su supervivencia.
- 3: Ápice y follaje dañado o muerto, y compromete su supervivencia.

Observaciones: Se registra en términos generales la situación actual de la regeneración observada por tipo.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Los rodales evaluados se distribuyen desde la comuna de San Clemente hasta Parral por la Precodillera de los Andes y, entre Pelluhue y Cauquenes por la Cordillera de la Costa, a una altitud entre los 400 a 1.000 msnm. Se presentan en exposiciones Norte a Nor-Oeste y en general en pendientes inferiores a 45 % (Cuadro N° 3), en su mayoría en estado de desarrollo de latizal a fustal delgado con poco desarrollo de la vegetación del sotobosque, situación que varía en aquellos rodales ubicados en la Cordillera de la Costa.

Los rodales evaluados, en términos de área basal residual, muestran que han sido intensamente intervenidos, la mayoría sometidos a extracciones en promedio del 58% del área basal considerando árboles con diámetros superiores a 8 cm de DAP, en particular los rodales ubicados en la Precordillera de los Andes (Figura N° N° 3). Por esta causal, los árboles remanentes en los rodales son de diámetros delgados y con presencia de individuos sobremaduros distribuidos aisladamente, con claros o huecos en el rodal, y una distribución irregular de los individuos mayoritariamente de origen vegetativo, conformando un bosque de monte medio en estado de latizal.

El diámetro medio de los rodales es de 17 cm, el área basal media es de 15,3 m² y la densidad de 638 árboles por hectáreas (Cuadro N° 4).

Es frecuente además, apreciar indicios de ramoneo, especialmente de vacunos, que afectan y retrasan el proceso de regeneración de semilla o generativa, o bien que deforman o eliminan los rebrotes que nacen desde los tocones de los árboles que fueron cosechados con fines madereros y en un porcentaje importante para combustible. Junto a los rodales es habitual la presencia de hornillas de carbón que evidencia el uso actual del hualo.

Un análisis de los planes de manejo presentados entre el año 1978 y 2009 para regenerar o intervenir los bosques del Tipo Forestal Roble-Hualo muestra que, en su mayoría los rodales se han intervenido con el método de Corta Selectiva, método que cada vez más se encuentra en desuso debido a la calidad de los bosques ya los diámetros disponibles (> 25 cm). En general, este tipo de intervención se asemeja a raleo por lo alto o floreo, sin consideración por la regeneración natural y/o la artificial ya que esta no se realiza.

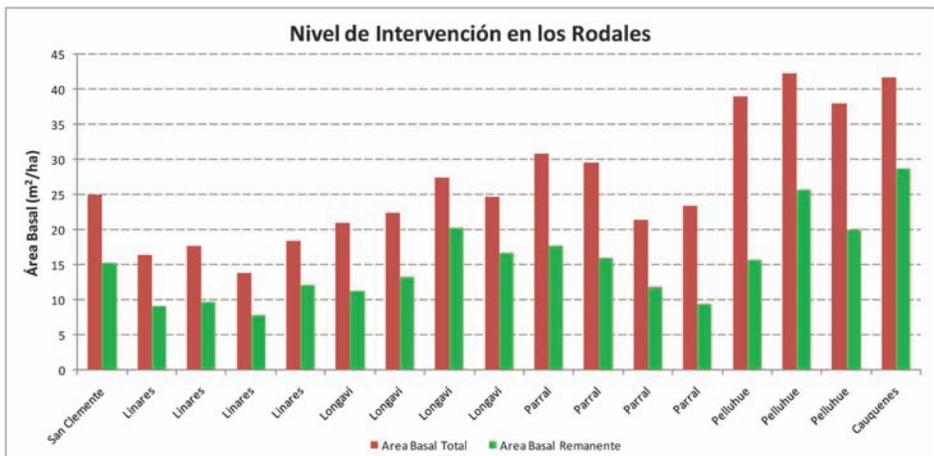


Figura N° 3
NIVEL DE INTERVENCIÓN DE COSECHA DEL RODAL EN TERMINOS DE AREA BASAL

Cuadro N° 3
ANTECEDENTES DE LOS PREDIOS EVALUADOS EN LA REGIÓN DEL MAULE

Comuna	Localidad	Tipo de Bosque	Tipo Intervención	Desarrollo del Bosque	Orografía	Exposición	Rango Pendiente (%)	Altitud (msnm)	Superficie Predial (ha)	Superficie Intervención (ha)
San Clemente	Las Lomas	Monte medio	Corta selectiva-Raleo (1 CS-R)	Fustal delgado	Ladera	Nor-Oeste	16-30	914	200,0	36,0
	Los Hualles	Monte bajo	Corta selectiva (2 CS)	Latizal	Ladera	Oeste	31-45	792	7,0	3,0
	Los Hualles	Monte bajo	Corta selectiva-Raleo (8 CS-R)	Latizal	Ladera	Oeste	> 45	944	17,0	4,3
	Los Hualles	Monte bajo	Corta selectiva-Raleo (4 CS-R)	Latizal	Ladera	Sur-Oeste	> 45	746	23,4	4,2
Longaví	Los Hualles	Monte medio	Corta selectiva (5 CS)	Latizal-Fustal delgado	Ladera	Norte	31-45	1.024	55,3	4,0
	La Pitra	Monte medio	Corta selectiva (6 CS)	Latizal	Ladera	Sur	16-30	612		4,0
	Loma de Vásquez	Monte medio	Corta selectiva (7 CS)	Latizal	Ladera	Este	16-30	707	190	20,0
	Loma de Vásquez	Monte medio	Corta selectiva (8 CS)	Latizal	Ladera	Norte	16-30	689	80	5,0
Parral	Potrero Grande	Monte medio	Corta selectiva (9 CS)	Latizal	Ladera	Nor-Este	> 45	622	28,0	5,0
	Coironal	Monte bajo	Corta selectiva (10 CS)	Latizal	Ladera	Oeste	16-30	792	89,0	4,0
	Coironal	Monte medio	Corta selectiva (11 CS)	Fustal delgado	Ladera	Nor-Oeste	16-30	847	89,0	5,0
	Coironal	Monte medio	Corta selectiva (12 CS)	Latizal	Ladera	Norte	16-30	822	5,4	3,0
Pelluhue	La Balsa	Monte medio	Corta selectiva-Árbol semillero (13 CS-AS)	Fustal delgado	Ladera	Norte	16-30	543		5,0
	Bajos Hondos	Monte medio	Corta selectiva-Raleo (14 CS-R)	Fustal delgado	Ladera	Oeste	16-30	480	38,0	3,1
	Cerros Pelados	Monte medio	Corta selectiva-Raleo (15 CS-R)	Fustal delgado	Ladera	Nor-Este	0-15	465		5,0
Cauquenes	Cerros Pelados	Monte medio	Corta selectiva-Raleo (16 CS-R)	Latizal	Ladera	Este	0-15	521		3,5
	Cayuranquill	Monte medio	Corta selectiva-Raleo (17 CS-R)	Fustal	Ladera	Norte	0-15	440	155,8	5,0

Cuadro N° 4
TABLA DE RODAL POR ESPECIE Y TRATAMIENTO SILVICULTURAL

PREDIO	RODAL SIN INTERVENIR						RODAL INTERVENIDO									
	HUALO		ROBLE		OTRAS ESPECIES		TOTAL ESPECIES		HUALO		ROBLE		OTRAS ESPECIES		TOTAL ESPECIES	
	N (Arb/ha)	AB (m ² /ha)	N (Arb/ha)	AB (m ² /ha)	N (Arb/ha)	AB (m ² /ha)	N (Arb/ha)	AB (m ² /ha)	N (Arb/ha)	AB (m ² /ha)	N (Arb/ha)	AB (m ² /ha)	N (Arb/ha)	AB (m ² /ha)	N (Arb/ha)	AB (m ² /ha)
Lomas San Andrés	1.027	23,98	0	0,00	173	1,05	1.200	25,03	520	15,14	0	0,00	20	0,16	540	15,30
Hijuela 1	1.047	13,90	13	0,43	87	2,09	1.147	16,42	453	6,73	13	0,43	73	2,02	540	9,17
Hijuela 2	853	17,03	0	0,00	47	0,68	900	17,71	387	9,59	0	0,00	7	0,08	393	9,66
Hijuela B-5	793	12,69	7	0,10	100	1,02	900	13,80	487	6,83	0	0,00	100	1,02	587	7,84
Lote 2	1.047	14,54	13	0,19	227	3,69	1.287	18,42	640	9,68	13	0,19	120	2,24	773	12,11
La Florida	1.200	20,04	0	0,00	113	0,97	1.313	21,01	400	11,10	0	0,00	13	0,17	413	11,26
Loma Larga Hijuela	1.400	20,51	0	0,00	227	1,87	1.627	22,38	793	12,75	0	0,00	33	0,46	827	13,21
Los Cipreses	1.987	26,54	0	0,00	113	0,81	2.100	27,35	1.127	20,04	0	0,00	20	0,20	1.147	20,24
San Isidro	1.327	23,68	0	0,00	160	1,07	1.487	24,75	653	16,25	0	0,00	47	0,44	700	16,69
Coronal 1	1.180	29,77	33	0,83	20	0,19	1.233	30,78	480	16,88	13	0,61	13	0,15	507	17,64
Coronal 2	1.587	28,51	7	0,10	60	0,96	1.653	29,57	613	15,45	7	0,10	20	0,42	640	15,98
El Recreo	873	19,40	0	0,00	227	2,09	1.100	21,48	327	11,24	0	0,00	67	0,62	393	11,86
Hijuela 3 Lote A	1.473	23,06	0	0,00	67	0,41	1.540	23,48	473	9,39	0	0,00	7	0,05	480	9,45
Bajos hondos	2.213	37,46	0	0,00	153	1,54	2.367	39,00	553	15,13	0	0,00	53	0,55	607	15,68
El Roble	1.387	37,81	0	0,00	513	4,41	1.900	42,22	673	24,95	0	0,00	67	0,70	740	25,65
El Avellano	2.540	36,47	0	0,00	193	1,58	2.733	38,05	847	19,57	0	0,00	47	0,39	893	19,96
Las Yaguas	887	37,40	0	0,00	327	4,30	1.213	41,69	527	26,62	0	0,00	133	2,04	660	28,66

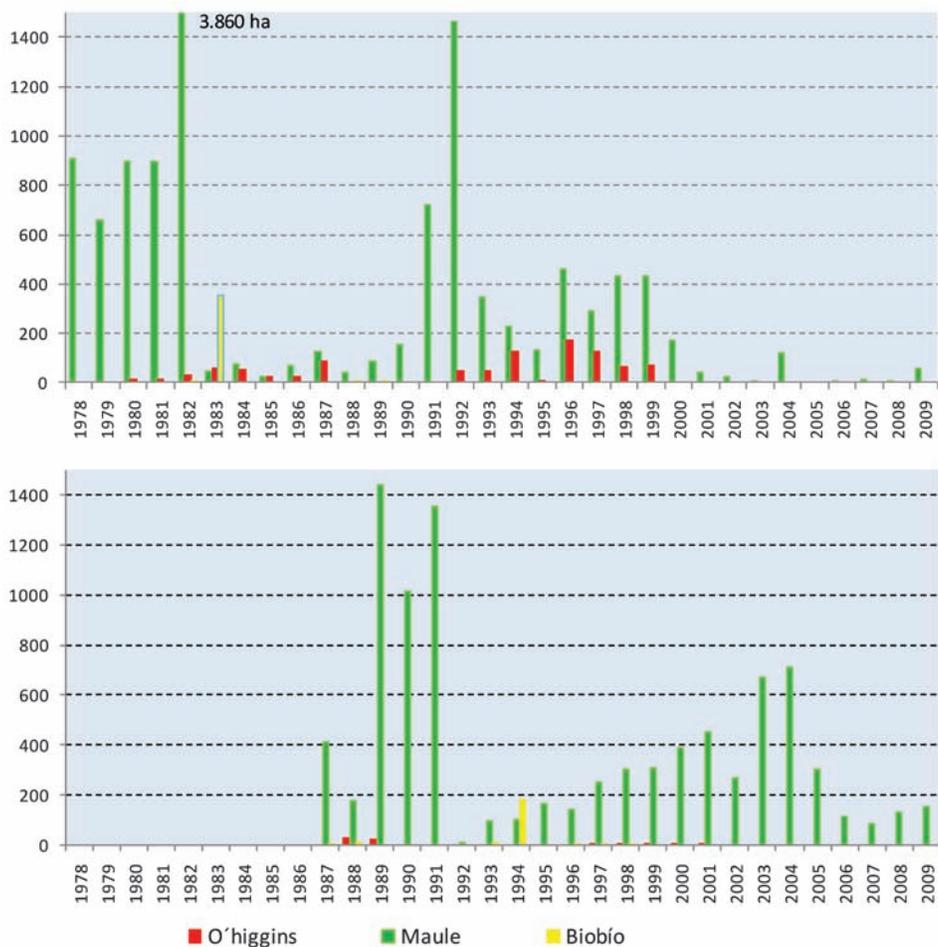


Figura N° 4
SUPERFICIE REGIONAL (ha) DEL TIPO FORESTAL ROBLE – HUALO INTERVENIDA
CON CORTAS SELECTIVAS (arriba) Y RALEOS (abajo) DURANTE EL PERIODO
1978-2009

Los rodales que han sido intervenidos dejando un área basal inferior a 15 m²/ha, presentan escasa regeneración por semilla y la que existe es procedente de tocones (Figura N° 5).

La calidad de la troza en los rodales evaluados, fundamentalmente hasta los 4 m de altura permite que esta pueda ser utilizada como madera aserrada o estructural. Estudios realizados en este tema, indican que la propiedades mecánicas de madera no presentan diferencias estadísticas entre las clases diamétricas (15, 25, 35, y 45 cm) (Vásquez y

Díaz, 2006). La calidad fustal de los árboles remanentes, en general no presentan daños mecánicos, pudriciones, epicornios o ataque de patógenos (*Holopterus*). En los fustes se detecta la presencia de abundantes ramas verdes especialmente sobre los cuatro metros.



Figura N° 5

BOSQUE DE HUALO INTERVENIDO CON EL MÉTODO DE CORTA DE SELECTIVA COMPLEMENTADA CON RALEOS SEGÚN LOS PLANES DE MANEJOS EN LA LOCALIDAD DE LOS HUALLES, LINARES (4 CS -R)

La regeneración de los rodales se sustenta en la capacidad vegetativa de la especie, ya que una vez cortado los árboles regenera abundantemente de tocón, esto permite cumplir con la exigencia de regenerar más de 3.000 individuos por hectárea. Como se ha indicado, la mayoría de los predios evaluados utilizan un método de corta selectiva complementado con raleos, extrayendo principalmente los individuos delgados que se desarrollan en los tocones. Estas intervenciones no cumplen con el objetivo de regenerar el bosque o de mejorar la calidad del mismo, ya que no se tiene presente este fin, y en general son cortas que tienen por finalidad proveer materia prima para producir carbón y, ocasionalmente, vigas para estructuras.

Las cortas sin una adecuada planificación generan hoyos de luz (>10 m), que afectan el desarrollo de la regeneración natural, a ello se suma la distribución irregular de los árboles, y el tamaño o peso de la semilla que dificulta la dispersión de la misma. Otro factor que afecta la regeneración natural son las sucesivas intervenciones que no permiten a los rodales alcanzar la edad de maduración para la producción de semillas.

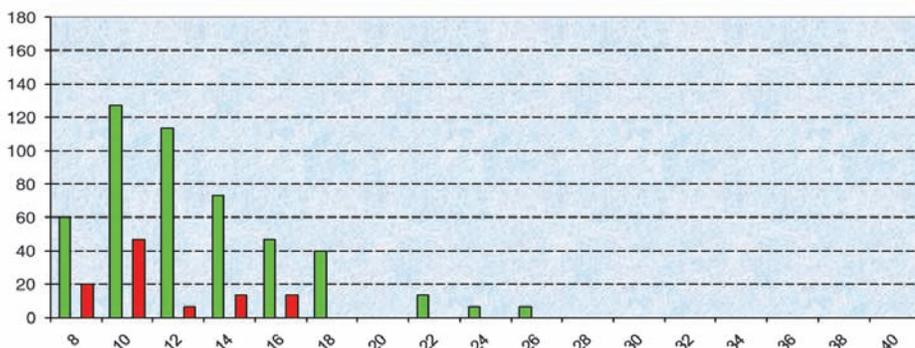


Figura N° 6
DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA Y DENSIDAD (arb/ha) SEGÚN CLASE DIAMÉTRICA INTERVENIDA
MÉTODO DE CORTA DE SELECTIVA COMPLEMENTADA CON RALEOS
LOCALIDAD DE LOS HUALLES, LINARES (4 CS –R).

Como se ha señalado, la regeneración en gran parte de los rodales es del tipo vegetativa (Cuadro N° 5). La regeneración de semillas es escasa, afectada por la edad del rodal, además de la abundante presencia de animales que ramonean las plantas y/o consumen las semillas.

La regeneración también se ve afectada por los tipos de manejos silviculturales, es decir, el objetivo es la cosecha. Se evidencia una extracción irregular que genera espacios que no permiten una adecuada distribución de las semillas, los cuales son colonizados por especies arbustivas y malezas de mayor agresividad, o cuando no ocurre esta situación se encuentran alterados de tal manera que la luz y la temperatura, y por ende la humedad del suelo, no permiten las condiciones para la regeneración natural.

Cuadro N° 5
TIPO Y CANTIDAD DE REGENERACION NATURAL SEGÚN COMUNA Y TIPO DE INTERVENCIÓN

Provincia	Comuna	Tipo de Intervención	N (pl/ha)	Tipo de Regeneración (pl/ha)	
				Vegetativa	Generativa
Talca	San Clemente	1 CS-R	0	0	0
Linares	Linares	2 CS-R	14.167	14.167	0
		3 CS	6.667	6.667	0
		4 CS	0	0	0
		5 CS-R	0	0	0
	Longaví	6 CS	0	0	0
		7 CS	0	0	0
		8 CS	0	0	0
		9 CS	5.833	5.833	0
	Parral	10 CS	5.833	5.833	0
		11 CS	10.833	10.833	0
		12 CS-AS	7.500	7.500	0
		13 CS	0	0	0
	Cauquenes	Pelluhue	14 CS-R	10.000	10.000
15 CS-R			3.333	3.333	0
16 CS-R			2.500	2.500	0
Cauquenes		17 CS-R	15.833	1.667	14.167

Uno de los ejemplos donde se presentan buenas características, en cuanto al número de árboles y el área basal, es el rodal ubicado en la Cordillera de la Costa (17 CS-R), que se caracteriza por presentar una curva tendiente a la normalidad, si embargo se ha intervenido el rodal en estado secundario, acción que se observa como poco apropiada ya que afecta la calidad del rodal remanente (Figuras N° 7 y N° 8).

El rodal presenta un diámetro y altura promedio de 23 cm y 16,6 m, respectivamente, un área basal de 28,7 m²/ha y 660 árboles por hectárea. En estas condiciones se observa una abundante regeneración natural, ello ayudado por la condición de semisombra y la baja presencia de animales.

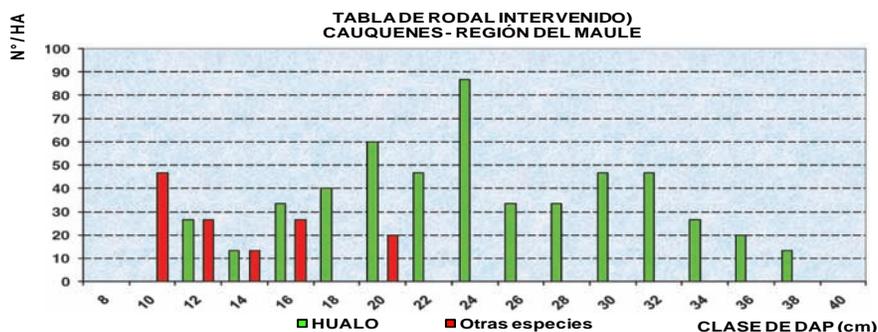


Figura N° 7
DISTRIBUCIÓN DIAMETRICA Y DENSIDAD (arb/ha) SEGÚN CLASE DIAMÉTRICA INTERVENIDO
MÉTODO DE CORTA DE SELECTIVA COMPLEMENTADA CON RALEOS CORDILLERA DE LA COSTA CAUQUENES (17 CS –R).

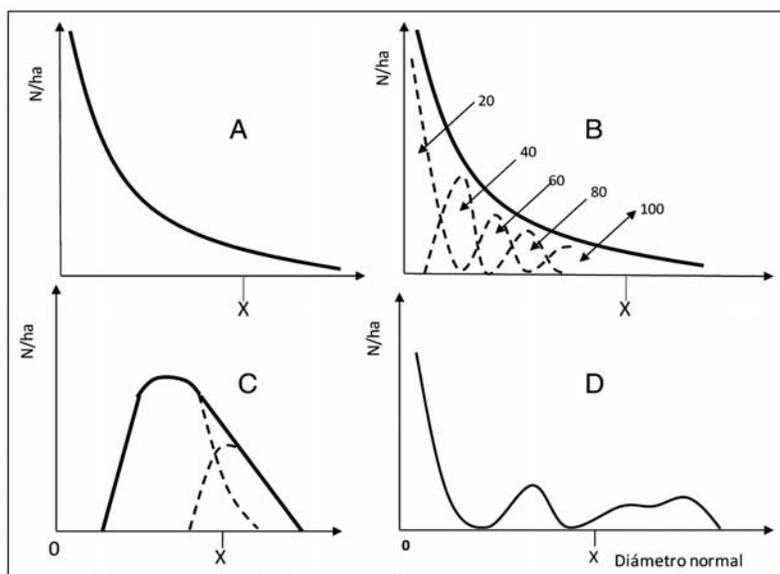


Figura N° 8
BOSQUE INTERVENIDO DE HUALO UBICADO EN EL SECTOR DE CAYURRANQUI CORDILLERA DE LA COSTA DE CAUQUENES (17 CS-R).

El método de regeneración de Selección o Corta Selectiva (DS 259/1980), se caracteriza por ser empleado en un rodal donde coexisten individuos de todas las edades y la regeneración se produce constantemente. La forma gráfica de esta expresión es una J invertida, la cual puede tomar a su vez diversas formas (Hawley y Smith, 1972; Smith, 1986; Smith *et al.*, 1997). Es un método para bosques irregulares y conviven como métodos regeneración, raleos y cosechas al mismo tiempo.

El método de Selección complementado con raleos, en la región del Maule, es el método de mayor uso entre los métodos de regeneración (27 %). Fue utilizado intensamente desde el año 1978, alcanzando su máximo en el año 1982, período en el que se intervinieron (corta) en promedio 900 ha anuales. Coincidentemente con lo que ha ocurrido en la actividad forestal, la aplicación del método se redujo a partir el año 2000.

La Tala Rasa como método de regeneración se encuentra permitida en el actual Reglamento Técnico, para los tipos forestales Roble-Hualo y Roble-Raulí-Coigüe. En la Región del Maule, este método fue utilizado en un 1,3 % de toda la superficie intervenida, lo que se intensificó especialmente durante el período comprendido por los años 1989 y 1994. Desde el año 2000, este tipo de intervención prácticamente ha desaparecido como método de cosecha. Lo mismo ha ocurrido con el método de corta del árbol semillero, que se utilizó sólo en cierto número de hectáreas desde el año 1988 hasta el año 1995. Es una práctica que actualmente se encuentra sin uso en el Tipo Forestal Roble - Hualo.



(Hawley y Smith, 1972; Smith *et al.*, 1997)

(Hawley y Smith, 1972; Smith *et al.*, 1997)

Figura N° 9
TIPOS DIFERENTES DE DISTRIBUCIÓN DIAMÉTRICA EN BOSQUES IRREGULARES O MULTIETÁNEOS

El raleo, como tratamiento intermedio, se aplica principalmente en el estado de latizal y fustal delgado del rodal, sin embargo, se extiende tanto hacia el estado de monte bravo como al fustal. El raleo no sólo modifica las características propias del rodal, sino que induce cambios en algunas variables micro-climáticas dentro del mismo, produciendo modificaciones en el sistema bosque.

Los mayoría de los autores, clasifican los raleos en cuatro tipos, los cuales se basan en el desarrollo relativo de las copas (raleo por lo bajo, por lo alto y de selección) y el espaciamiento (raleo mecánico). No obstante, se reconoce un quinto método (raleo libre) que sería una combinación de los cuatro anteriores y que se aplicaría en rodales de estructuras irregulares (Hawley y Smith, 1972; Daniel *et al.*, 1982; Smith, 1986; Rittershofer, 1994; Burschel y Huss, 1997; Smith *et al.*, 1997) como serían los bosques secundarios de Chile (renovales).

Las distintas calificaciones de raleo, se basan en rodales regulares, sin embargo la actual condición de los bosque de Roble-Hualo presenta múltiples variaciones en terreno originadas por la intervenciones pasadas, que han afectado su condición genética, su distribución en terreno y la dinámica de regeneración del bosque, por ello los rodales no deberían estar sujetos a raleos con un esquema fijo de manejo. El estado actual de renovales de Roble-Hualo evaluados, requiere de manejo y una plantación suplementaria, ello queda ratificado en la ley de bosque nativo que incentiva estas prácticas. En este contexto deberían propiciarse en la mayoría de los rodales acciones que se orienten a rejuvenecer el bosque. Los rodales evaluados con menos de 15 m²/ha y edad inferior a 20 años, no se encuentran en condiciones de regenerar, y cuando ocurre se generan bosques de origen vegetativo.

Cuadro N° 6
PORCENTAJE DE INTERVENCIÓN SILVICOLA EN RODALES SEGÚN TIPO FORESTAL DESDE EL AÑO 1978 HASTA EL AÑO 2009

Tipo de Intervencion	Utilización del Método (%)	
	Roble-Hualo *	Roble- Rauli-Coigüe **
Tala Rasa	1.3	2.5
Arbol Semillero	4.1	5.0
Corta de Protección	11.0	2.5
Corta selectiva	26.6	12.0
Raleos	17.5	54.0
Otros	39.5	27.0

* El porcentaje se obtiene en base a 53.359 ha con planes de manejos de las regiones O'Higgins a Bio Bio.

** El porcentaje se obtiene en base a 206.680 ha con planes de manejos de las regiones de Biobío y La Araucanía.

En cuanto a los métodos de regeneración, estos pueden definirse de la siguiente manera (Hawley y Smith, 1972, Daniel *et al.*, 1982; Garrido 1981; Smith, *et al.*, 1997; Cruz y Schmidt, 2007):

Monte Alto: Regeneración a partir de semilla

Bosques Regulares

Método de Tala Rasa

Método de Árbol Semillero

Método de Cortas Sucesivas o de Protección

Bosques Irregulares

Método de Selección

Monte Bajo: Regeneración a partir de cepas (retoño de tocón).

Monte Medio: Regeneración a partir de semillas y cepas

En Chile, se han aplicado tanto para bosques regulares como irregulares sólo los métodos de monte alto (GTZ-CONAF, 1998), aunque no se distingue claramente si se aplican en función de su estado de desarrollo o condición del bosque. Antecedentes bibliográficos indican una tendencia de selección de métodos en base a condiciones de pendiente del terreno y a estructura volumétrica del rodal a intervenir.

Los resultados obtenidos con los métodos de Tala Rasa y Árbol Semillero, en general, no han sido exitosos en materia de regeneración, especialmente en las regiones del Maule, Biobío y La Araucanía y, cuando regeneran, lo hacen nuevamente de tocón. Las razones para esta respuesta obedecen a características ambientales restrictivas, técnicas y tipo de plantas utilizadas en la regeneración artificial y la regeneración natural se ha visto afectada por la periodicidad de semillación, de las especies consideradas en los tipos forestales en que se permite la utilización de dichos métodos (Donoso, 1981; Donoso, 1994; Donoso y Lara, 1999).

El método del Árbol Semillero, en Chile y de acuerdo a los actuales técnicas de manejo, no jugaría un rol en la actividad silvícola, especialmente en Roble-Hualo, situación similar ocurre en otras latitudes (Hawley y Smith, 1972; Daniel *et al.*, 1982; Smith *et al.*, 1997). El método de Árbol Semillero ha demostrado que es aplicable sólo en condiciones particulares y requiere de un proceso de intervención moderada. La fructificación irregular de los *Nothofagus* complica de sobremanera la utilización de este método, en particular cuando suceden años de fructificación deficiente y se posibilita el ingreso de malezas (*Chusquea* spp, *Rubus* sp, *Carduus* sp, gramíneas, otras) que posteriormente no permiten el establecimiento de la especie deseada.

Las malezas son un problema cada vez más importante en la dinámica de los bosques. Cifras sobre su presencia indican que en Chile, en el año 1526 existían 128 especies consideradas como malezas y sólo entre 1974 y 1991 se incorporaron 100

nuevas especies más; al año 1992 se han contabilizado un total de 600 diferentes especies (Mathei, 1995). Este tipo de vegetación encuentra en los ecosistemas del bosque nativo un favorable ambiente para desarrollarse y colonizar áreas expuestas, en particular aquellas resultantes de la aplicación de los métodos de Tala Rasa y Árbol Semillero.

Especialistas como Burschel *et al.* (1991) han indicado que a nivel nacional la Corta del Árbol Semillero, desde el punto de vista ecológico, no se distingue de la Corta de Tala Rasa, ya que no tiene en consideración las características ecológicas y las particularidades locales del tipo forestal. Si bien es una alternativa, los productores por razones de operatividad y de mercado, utilizan el método que ofrezca menor complejidad y mayores ingresos, sin tener muchas veces la preocupación de su sustentabilidad.

El “*floreo*” es una práctica que se ha utilizado en forma histórica en los bosques chilenos y que actualmente sigue operando en la mayoría de los predios, en particular en la pequeña propiedad y en algunas empresas que utilizaron el bosque para la producción de astillas en la década del 1985 a 1995. Esta práctica extrae y extrajo lo mejores individuos de las especies de valor maderero, quedando un dosel raleado, compuesto de individuos no deseados (por ejemplo árboles parcialmente muertos, brinzales, o especies sin valor comercial). Esta práctica, de uso frecuente en los bosques clasificados según su estructura como bosques adultos y bosques secundarios (renovales), tiene un alto impacto en la calidad del recurso, ya que elimina los mejores individuos.

Para mantener la productividad de los bosques en su calidad maderera y de sus productos no madereros, se deben realizar modificaciones en la forma que se están aplicando los métodos de regeneración y los tratamientos intermedios, para lograr un equilibrio entre los objetivos de conservación biológica y manejo productivo de los bosques (Armesto *et al.*, 1999).

Existen autores que han planteado la necesidad de modificar los actuales métodos de regeneración con una propuesta que apunte a dejar como únicos métodos la Corta Selectiva y la Corta de Protección (Cruz y Schmidt, 2007). Otra alternativa es la utilización de un método desarrollado en Norteamérica denominado sistema de cosecha de retención variable, el cual considera un intervalo continuo de niveles de cosecha y mantención de elementos estructurales del dosel en un área definida, es decir, el sistema busca mantener rodales mixtos, con coexistencias de parches coetáneos y mutietáneos (Armesto *et al.*, 1999).

Las intervenciones silviculturales en el marco de un manejo forestal sustentable se asimilan en cierta manera al desarrollo del ecosistema natural (Cruz y Schmidt, 2007), lo que implica aprovechar y mantener la capacidad de autorregulación de los bosques y por ello se plantean como manejo del bosque nativo dos tramientos silviculturales: Corta Selectiva y Corta de Protección, teniendo en consideración los tipos forestales, estructura de manejo de existencias, rotación y ciclos de corta (Cuadro N° 7).

Cuadro N° 7
SISTEMAS DE REGENERACIÓN PROPUESTOS Y RESULTADOS ESPERADOS,
SEGÚN TIPO FORESTAL

Bosque Natural		Bosque Maduro				
Tipo Forestal	Existencias Volumen Bruto (m3/ha)	Estructura de Manejo	Tratamiento Silvicultural	Crecimiento Esperado Volumen Bruto (m3/ha/año)	Rotación (Años)	Ciclo Corta (Años)
Alerce	1.000 a 2.000	MAI	Corta Selectiva	1 - 4	--	20 - 40
Ciprés de las Guaitecas	50 - 300	MAI	Corta Selectiva	0,3 - 1	--	20 - 40
Araucaria	800 - 1.500	MAI	Corta Selectiva	2 - 6	--	20 - 40
Ciprés de la cordillera	100 - 400	MAI	Corta Protección	1 - 6	--	20 - 30
Lenga	400 - 700	MAR	Corta Protección	4 - 6	120-160	120-150
Coigüe de Magallanes	400 - 700	MAR	Corta Protección	4 - 6	120-160	120-150
Roble-Hualo	200 - 400	MAR/MBR	Corta Protección	4 - 6	100-120	120-120
Roble-Raulí-Coigüe	200 - 600	MAR	Corta Protección	6 - 12	80-120	80-120
Coigüe-Raulí-Tepa	600 - 1200	MAR	Corta Protección	6 - 12	80-150	80-150
Esclerófilo	100 - 200	MAI/MAR/MB/MN	Corta Selectiva Corta Protección	0,5 - 5	20-60	15 - 30
Siempre verde	300 - 600	MAR/MAI/MN	Corta Selectiva Corta Protección	2 - 6	¿?	¿?
Palma chilena	---	MAI	Corta Selectiva Corta Protección	--	--	¿?

(Fuente: Cruz y Schmidt, 2007).

MAI: Monte Alto Regular

MAR: Monte Bajo

MM: Monte Medio

-- : No corresponde

¿?: Variable según subtipo, especie y tipo de producto.

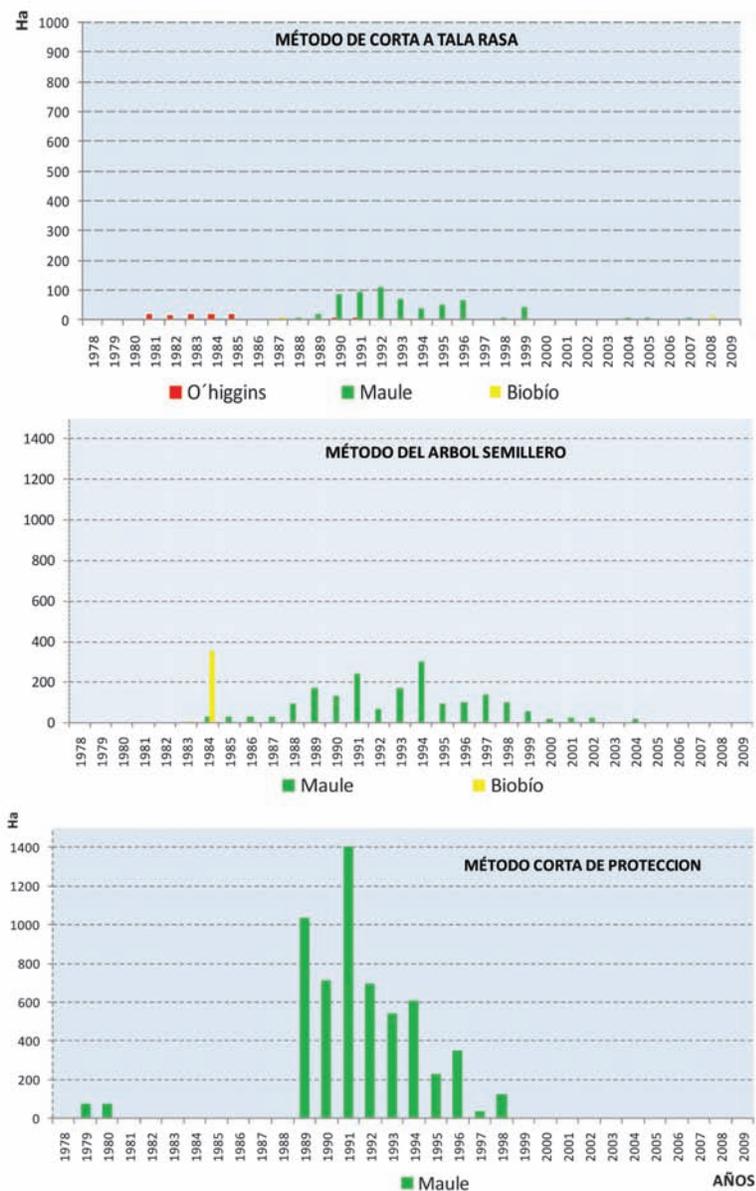


Figura N° 10
SUPERFICIE REGIONAL DEL TIPO FORESTAL ROBLE – HUALO INTERVENIDA
CON LOS MÉTODOS TALA RASA (ARRIBA), ARBOL SEMILLERO (CENTRO) Y
PROTECCIÓN (ABAJO) DURANTE EL PERIODO 1978-2009

El resultado de un método de regeneración depende no tanto del método a utilizar, sino de cómo se aplica. Este debiera considerar las relaciones ambientales y la dinámica de crecimiento de las especies, transformándose en la base para una apropiada definición legal y una tipología forestal que, en la actualidad, no representa las diversas situaciones del bosque nativo. En este sentido Burschel *et al.* (1991) indican que las normas o métodos no pueden ser de uso generalizado en sus valores límites, especialmente para un país con las dimensiones latitudinales de Chile. Indican también que resulta mucho más operativo fijar criterios generales y hacer las precisiones localmente a dichos criterios.

Estos autores plantean la necesidad de definir criterios ecológicos o silvícolas para emplear una determinada opción silvícola, es decir, no deben quedar sujetos a una definición general, ya sea en base a un determinado método o definición del tipo forestal. La mayoría de los bosques evaluados por este estudio mostraron una alta variabilidad que dificulta proponer un determinado método de regeneración o intervención.

Ante este escenario de variabilidad, se puede dar la situación de intervenir el rodal para favorecer la regeneración natural o artificial, aplicar cortas intermedias o bien actividades de cosecha de árboles individuales.

Para adaptarse a estos múltiples mosaicos de situaciones, se deben generar los mecanismos administrativos que permitan tal diversidad de intervenciones (Rothermel, 2000). Lo anterior exige una activa participación del Estado a través de sus instituciones y por cierto del sector de los productores privados interesados en lograr la sustentabilidad del recurso bosque nativo.

En el mismo sentido, se debe dejar de lado los sistemas esquemáticos y privilegiar criterios que reflejen la sustentabilidad de los mismos. Así, Burschel *et al.* (1991) plantean por ejemplo los siguientes criterios:

La capacidad de carga o sustentación.

El umbral de extinción del ecosistema (bosque).

La velocidad de regeneración del ecosistema (bosque).

Se puede mencionar por lo tanto, que los indicadores deben ser definidos de modo de reflejar las particularidades regionales y/o locales del bosque nativo a intervenir. Más allá de actualizar o definir los métodos de regeneración y vincularse específicamente con una tipología forestal, como lo establece la Ley de Bosque Nativo, estos deben ser una guía de la capacidad ecológica del bosque o una ayuda para evitar situaciones anómalas que pueden degradar el ecosistema. Por ejemplo, se establecen plantas de raulí como especie principal en rodales tipificados como siempreverde, o se producen plantas con semillas provenientes de ambientes climáticos diferentes, en tal sentido INFOR esta avanzado en generar el primer Reglamento de semillas y plantas forestales del país.

En Chile, la mayoría de los bosques corresponden a formaciones secundarias fuertemente intervenidas, con diferentes estructuras verticales y composición de especies, afectadas por la actividad ganadera, la lejanía a los centros de consumo y los caminos

forestales, condiciones que hoy día influyen en la selección de los métodos silvícolas a aplicar.

De lo expuesto, se desprende que se requiere introducir variaciones a los métodos de regeneración que se utilizan, como lo son las transformaciones de bosque a través de Cortas Selectivas y la aplicación de raleos denominados libres o de selección, en aquellas áreas factibles de transformar y que estén clasificadas como bosque nativo.

CONSIDERACIONES FINALES

Tanto la literatura nacional (Garrido, 1981; Vita, 1996; Espinosa y Muñoz, 2000) como la internacional (Hawley y Smith, 1972; Mayer, 1992; Nyland, 1996), muestran procedimientos silviculturales que son utilizados en bosques de estructura simple (número de especies) y equilibrados. Sin embargo, en Chile predominan bosques naturales que se caracterizan por su alta heterogeneidad, en cuanto a la distribución, calidad de los individuos, y su estructura compleja (riqueza de especies), y por haber sido intervenidos sin consideraciones de tipo silvícola generando masas boscosas que requieren variados métodos silviculturales para lograr su equilibrio, en términos de estructura vegetacional y de calidad maderera y no maderera (hongos comestibles, frutos, otros). Estos bosques, requieren ser transformados en bosques con valor comercial y para ello se debe:

Enriquecer con especies de interés económico.

Aplicar cortas intermedias (cortas de mejoramiento, sanitarias, raleos, otras).

En los bosques adultos, reducción adecuada de la densidad para fomentar las especies de interés económico.

Para alcanzar estos objetivos existen dos posibilidades:

Transformación directa, que es el cambio del bosque existente por un bosque con especies de interés comercial.

Transformación indirecta, que es la aplicación de medidas apropiadas para encauzar el desarrollo del bosque existente y que tiende paulatinamente hacia un bosque comercial (Samek, 1974).

En los primeros, bosques con especies de interés económico, se debe determinar si se realiza transformación indirecta (corta de mejora) o transformación directa. La indirecta resulta compleja por su carácter de largo plazo, motivo por el cual donde se presenten condiciones favorables puede resultar más económica la transformación directa que consiste en la cosecha del bosque existente y la repoblación artificial del área, la que puede realizarse bajo cobertura o en Tala Rasa en Fajas. Se debe tener en consideración que, la aplicación de este método dependerá además de la condición ambiental donde se ubique el rodal.

Los métodos de regeneración aplicados al bosque nativo chileno no se adecúan a las múltiples opciones de manejo. Se adaptan de mejor forma los métodos de regeneración desarrollados para los bosques tropicales o bosques de estructura compleja (Samek, 1974; Lamprecht, 1986). Entre estos métodos se mencionan las cortas de mejora, las cortas sucesivas tropicales y el enriquecimiento.

El estado actual del bosque nativo, sea adulto o secundario (renovales), las características de la propiedad y la infraestructura caminera son factores que condicionan el tipo de intervención y las particularidades del método silvicultural (Quiroz, 1998). La alta variabilidad de situaciones de sitio (clima y suelo), la heterogeneidad del bosque en cuanto a desarrollo y la composición de especies, determinan que en un rodal específico se deben aplicar diferentes tratamientos silviculturales, ya sea método de regeneración, cortas intermedias o enriquecimiento.

Sin embargo, la actual reglamentación (DS 259/1980) no se adecúa a la diversidad de situaciones del bosque. Los tipos forestales y los diferentes métodos de regeneración definidos en este decreto son rígidos y no se adaptan a los bosques que se encuentran en desequilibrio productivo. Es decir, la caracterización de un rodal determinado, en base a una clasificación de ecosistemas forestales o tipo forestales, debe considerarse como un indicador del potencial productivo a lograr para una especie o grupo de especies. Asimismo, los métodos de regeneración, tal como lo indica el Reglamento, no contribuyen al objetivo planteado debido a que dichos modelos deben ser aplicados en bosques en equilibrio o en régimen de manejo. La Ley de Bosque Nativo (Ley 20.283) recoge la necesidad de actualización de los tipos forestales y de los métodos de regeneración, pero ésta no debe basarse en un modelo esquematizado como el aplicado durante los últimos 35 años.

En definitiva, se plantea la necesidad de definir criterios y no esquemas de intervención, de modo de lograr adecuarse a las múltiples opciones de manejo posibles de aplicar en el bosque nativo, por lo tanto se requiere, además, de una adecuación del sistema administrativo del Estado en la gestión y en el sistema de incentivos, entre otros aspectos.

REFERENCIAS

Armesto, J.; F. Franklin; K. Kalin y C. Smith-Ramírez, 1999. El sistema de cosecha con "retención variable": una alternativa de manejo para conciliar los objetivos de conservación y producción en los bosques nativos chilenos. En: Donoso, C. y A. Lara (ed.). Silvicultura de los boques nativos de Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. p:69-94.

Burschel, P. y J. Huss, 1997. Grundriss des Waldbaus. 2, neubearbeitete und erweiterte Auflage. Parey Studientexte 49. Berlin. 487p.

Burschel, P.; J. Edens y J. Morello, 1991. Política de explotación del bosque nativo. Programa de Cooperación Técnica. FAO, Santiago. 115p.

CONAF, 2010. Gerencia de Normativas y Fiscalización de la Corporación Nacional

Forestal (base de datos).

CONAF, 2010a. Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal y sus Reglamentos. Ley Número 20.283. Corporación Nacional Forestal. 79 p.

CONAF, 2010b. Gerencia de Normativas y Fiscalización de la Corporación Nacional Forestal (base de datos).

CONAF-CONAMA-BIRF, 1999. Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales. Corporación Nacional Forestal-Comisión Nacional del Medio Ambiente-Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Santiago. 90 p.

Cruz, G. y H. Schmidt, 2007. Silvicultura en bosques nativos. En: Hernández, J.; C.L. de La Maza y C. Estades (eds.). Biodiversidad: Manejo y conservación de recursos forestales. Universidad de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. 279-307p.

Daniel, T. W.; J.A. Helms y F.S. Baker, 1982. Principios de silvicultura. 2nd edn. McGraw-Hill. Mexico. 492p.

Donoso, C., 1981. Tipos Forestales de los bosques nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal. Documento de Trabajo N° 38. CONAF-FAO-PNUD. Santiago. 70p.

Donoso, C., 1994. Bosques Templados de Chile y Argentina: Variación, estructura y dinámica. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 484 p.

Donoso, C. y A. Lara (ed.), 1999. Silvicultura de los bosques nativos de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. 421p.

Espinosa, M. y F. Muñoz, 2000. Silvicultura aplicada. Apuntes de clases. Fac. de Cs. Forestales. Departamento de Silvicultura. Concepción, Chile.

FIA, 2001. Bosque Nativo en Chile: Situación actual y Perspectivas. Estudios para la Innovación. Fundación para la Innovación Agraria FIA-Ministerio de Agricultura. Santiago. 113 p.

Garrido, F., 1981. Los sistemas silviculturales aplicables a los bosques nativos chilenos. Santiago, Chile. FAO:DP/CHI/76/003. Documento de Trabajo N° 39. 110p.

GTZ-CONAF, 1998. Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. Recopilación de antecedentes para 57 especies arbóreas y evaluación de prácticas silviculturales. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit-Corporación Nacional Forestal. Santiago. 420p.

Hawley, R. y D. Smith, 1972. Silvicultura práctica. (Omega). Barcelona. 544p.

INFOR, 2009. Anuario Forestal 2008. Boletín Estadístico 121. Instituto Forestal. Santiago. 161 p.

Lamprecht, H., 1986. Waldbau in den Tropen. Editorial Paul Parey. Hamburg und Berlin. 318 p.

Mathei, O., 1995. Manual de Malezas que crecen en Chile. Universidad de Concepción. 545p.

Mayer, H., 1992. Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. 4. Neu Bearbeitete Auflage. Stuttgart. 522p.

Nyland, R. D., 1996. Silviculture, Concepts and Applications. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York. 633p.

Quiroz, I., 1998. Untersuchungen zur waldbaulichen Behandlung von Nothofagus-Primär- und Sekundärwäldern in den Anden der IX. und X. Region Chiles. Diss. Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. Freising. 171p.

Quiroz, I.; E. García; M. González; A. Lucero; A. Villarroel y H. Soto, 2010. Evaluación y análisis de los métodos regeneración aplicados en el tipo forestal RO-RA-CO de la Precordillera de los Andes de las Regiones del Biobío y la Araucanía. 104 p.

Rittershofer, F., 1994. Waldpflege und Waldbau - für Studierende und Praktiker. 1. Auflage. Freising: Rittershofer Verlag. 481 p.

Rothermel, H., 2000. Manejo Sustentable de Bosque Nativo. Una perspectiva económica. Documento técnico. DED. Serie de documentos. Experiencias de Cooperación N° 16/00. Santiago. 114p.

Samek, V., 1974. Elementos de silvicultura de los bosques latifolios. La Habana. 291p.

Smith, D. M.; B. C. Larson; M. J. Kelty y P. M. Ashton, 1997. The practice of silviculture. Applied forest ecology. Nine edition. Ed. John Wiley and Sons. New York. 537p.

Smith, D. M., 1986. The Practice of Silviculture. Eighth edition. Ed. John Wiley and Sons. New York, NY. 527p.

Vásquez, M. y Díaz, P., 2006. Caracterización física y Mecánica de la madera de la especie *Nothofagus glauca* Proveniente de la Zona de Cauquenes, VII Región.

VITA, A., 1996. Los tratamientos silviculturales. Fac. de Cs. Agrarias y forestales. Esc. de Cs. Forestales. Santiago Chile.

ZÖHRER, F., 1980. Forstinventur. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, Germany. 207p.

N

ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES DE CHILE PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Roberto Ipinza¹, María Paz Molina², Braulio Gutiérrez³ y Oriana Ortíz⁴

RESUMEN

La mayoría de los conceptos convencionales sobre la conservación de la biodiversidad, en general, y de la diversidad genética en particular, están contruidos sobre la idea errada de que la máxima aptitud de adaptación ya ha sido obtenida en la naturaleza. Muchos silvicultores y conservacionistas tienden a creer que la evolución asociada a la regeneración natural de las especies forestales siempre maximiza su aptitud reproductiva, y que mientras menor sea la intervención humana, mejor es la estrategia de conservación de los recursos genéticos. Sin embargo, el resultado de la selección natural refleja solo los efectos de las condiciones pasadas y no los efectos actuales como el cambio climático, las plagas, enfermedades, incendios, sequias y otros eventos que ocasionan una importante merma del acervo genético. Los cambios producidos son mucho más rápidos que la posibilidad que tienen las especies para adaptarse en forma natural, por lo mismo, la erosión genética y la eventual extinción son un riesgo latente.

El objetivo del presente trabajo es proponer una Estrategia de Mejoramiento y Conservación de los Recursos Genéticos Forestales de Chile, para asegurar la supervivencia, la adaptación y la evolución continua de una especie forestal por más de 20 generaciones, en un ambiente continuamente cambiante, para así salvaguardar su potencial de adaptación.

La estrategia se elabora considerando criterios dinámicos en base al Sistema de Mejora de Poblaciones Múltiples (MPBS: *Multiple Population Breeding System*). El concepto de MPBS combina en forma segura la conservación sostenible *ex situ* de los recursos genéticos forestales con la preparación para los cambios eco-climáticos y la eficiente mejora genética forestal. Esta última se valida mediante simulación estocástica, en base a la variación genética, a la probabilidad de retener alelos raros, y a la estructura de la población de mejoramiento.

Palabras clave: Mejoramiento genético, conservación, cambio climático, estrategia, sistema de mejora de poblaciones múltiples.

1 Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal, Sede Valdivia. Chile. roberto.ipinza@infor.cl

2 Ingeniero Forestal Dr. (c). Instituto Forestal, Sede Biobío. Chile. mmolina@infor.cl

3 Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Biobío. Chile. braulio.gutierrez@infor.cl

4 Oriana Ortiz. Ingeniera Forestal. Instituto Forestal. Sede Biobío Chile. oortiz@infor.cl

BREEDING AND CONSERVATION STRATEGY FOR THE CHILEAN FOREST GENETIC RESOURCES, FACING THE CLIMATE CHANGE

SUMMARY

Most of the conventional concepts about biodiversity conservation, particularly those about genetic diversity, have been developed on the missed idea that the maximum adaptation aptitude has already been obtained in the nature. Many foresters and conservationists believe that the evolution and natural regeneration always maximizes the reproductive aptitude of forest species, so as smaller human intervention, as better is the genetic resources conservation strategy. Anyway, the result of the natural selection shows the effects of past conditions, but not present effects (like climatic change, plagues, diseases, fires, droughts). These last effects could bring an important decreasing of the genetic pool. The environmental changes are faster than the natural adaptive species reaction, then, the genetic erosion and the possible extinction are latent risks.

The objective of this paper is to propose a National Strategy of Conservation for the Chilean Forest Genetic Resources, to assure the survival, the adaptation, and the forest species continue evolution for more than 20 generations under a continuously changing environment, aimed to safeguard their adaptation potential.

The strategy is elaborated over the basis of the Multiple Population Breeding System (MPBS). The MPBS concept combines in a safe form the sustainable *ex situ* conservation of the forest genetic resources with their adaptation for the eco-climatic changes. Besides this, it considers the efficient forest genetic improvement too. The forest breeding is validated by stochastic simulation, on the basis of the genetic variation, the probability of retaining rare alleles, and the structure of the improvement population.

Keywords: Breeding; conservation; climatic change; strategy; multiple populations breeding system.

INTRODUCCIÓN

El Plan de Acción Chile 2030 (LCSAR–MINAGRI–FIA, 2011), elaborado por el Banco Mundial, identifica al mejoramiento genético como un pilar fundamental para mejorar la competitividad del país. En tal contexto, la protección y conservación de los RGF⁵, es la única alternativa que posibilita que el mejoramiento genético cumpla el papel identificado por el Banco Mundial.

Chile no cuenta con un programa nacional específico para la conservación de los RGF, sin embargo existen iniciativas que contribuyen a este logro. La principal de ellas corresponde al SNASPE⁶, donde se ha verificado un aumento del número de unidades, desde 87 en el año 1994 hasta 96 en la actualidad. El sistema comprende 32 parques nacionales, 49 reservas nacionales y 15 monumentos naturales, los que en su conjunto representan una superficie de 14,34 millones de hectáreas, equivalentes al 19% del territorio nacional. Dentro de esta superficie, sólo 4 millones de hectáreas corresponden a bosques, lo que representa un 29% de las 13,5 millones de hectáreas (CONAF-CONAMA-BIRF, 1999) que componen los bosques naturales de Chile. Por esta razón, la conservación en Chile normalmente se ha considerado de naturaleza *in situ*, donde los parques y las reservas forestales son las figuras primordiales.

Por otra parte, la superficie cubierta por APP⁷ ha crecido en forma importante en Chile a partir de los años 90. El primer catastro realizado en 1997 por CIPMA⁸, registraba 39 APP que cubrían cerca de 400 mil hectáreas. Actualmente, se estima la existencia de unas 500 APP que cubren más de 1,4 millones de hectáreas. Sin embargo, el país no cuenta con una definición operacional que permita identificar cuáles APP cumplen con criterios mínimos para ser consideradas como parte de un Sistema Nacional de Conservación. Tampoco dispone de un marco legal que reconozca a las APP existentes o promueva su creación en sitios prioritarios (Parques para Chile, 2011).

Tanto el SNASPE como las APP contribuyen, mediante conservación *in situ*, a perpetuar y proteger la integridad del acervo genético⁹ natural y los procesos evolutivos que afectan a dicho acervo, incluyendo aquellos provocados por el cambio climático.

Estudios llevados a cabo bajo condiciones ambientales uniformes han encontrado una marcada diferenciación genética en muchas características cuantitativas entre poblaciones de una misma especie provenientes de regiones específicas (Cornelius *et al.* 1996; Boshier y Henson 1997; Navarro *et al.* 2002). Esto significa que, si bien puede existir el potencial de adaptación¹⁰ dentro del acervo genético de una especie, debido a

5 RGF: Recursos Genéticos Forestales. Valor económico, científico o social de los materiales hereditarios contenidos dentro de las especies y entre ellas. <http://www.fao.org/DOCREP/006/T0743S/T0743S00.htm#glo>; El material genético de valor real o potencial. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Artículo 2. PNUD 1992

6 SNASPE: Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado

7 APP: Áreas Protegidas Privadas.

8 CIPMA: Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente.

9 Acervo genético = la suma total de toda la variación genética en la población de mejoramiento de una especie y especies estrechamente relacionada capaces de cruzarse con ella.

10 Adaptación: Proceso evolutivo por el cual los organismos llegan a estar mejor capacitados para vivir y reproducirse en variadas condiciones ambientales.

que ya que existe una adecuada diversidad genética¹¹ en esta, es probable que algunos de sus individuos no lo tengan. Es decir, los alelos necesarios para la adaptación al cambio climático en una región específica pueden estar presentes solamente, o en frecuencias mucho más altas, en poblaciones de otras regiones

De acuerdo a Koskela *et al.* (2007), la diversidad genética es la forma a través del cual los árboles pueden sobrevivir, adaptarse y evolucionar bajo las condiciones de cambios ambientales. La diversidad genética también es necesaria para mantener la vitalidad del bosque y protegerlo de plagas y enfermedades forestales. Además la diversidad genética también cumple un papel crucial en mantener la biodiversidad biológica forestal, tanto a nivel de especies como del ecosistema.

Ipinza (2000) indica que el hombre está obligado a intervenir, en forma positiva los bosques naturales, en especial si este ha jugado un papel en el deterioro de los recursos genéticos, a través de la selección disgénica¹². No obstante, la actual variación genética es clave para enfrentar un futuro incierto derivado del cambio climático.

Kremer (2007) ha sugerido que el cambio climático, como inductor de evolución, es un fenómeno que ya se está produciendo y que los árboles han comenzado a adaptarse a un aumento en la concentración de dióxido de carbono atmosférico. Dicho autor establece que la adaptación de los árboles del bosque puede producirse en pocas generaciones, o en menos de 200 años.

En este contexto, Kremer (2007) sugiere que la transferencia de material reproductivo efectuada por el hombre, puede ser necesaria para mejorar la adaptación local de especies raras y escasas. De la misma forma Mátyás (2007) considera que la intervención humana es necesaria para facilitar la adaptación de los árboles del bosque al cambio climático y recomienda desarrollar una guía flexible para usar material reproductivo, e incorporar el cambio climático y la adaptación a los Programas Nacionales de Bosques de los países europeos. Por su parte, Lefèvre (2007) analiza la estructura organizacional para la conservación de los recursos genéticos en Francia y estima los efectos del cambio climático sobre la estrategia de conservación de genes, estableciendo que es necesario reevaluar y mejorar las redes de conservación de genes en el contexto del cambio climático, ya que estas deben ampliarse hacia la plasticidad¹³, adaptación y migración¹⁴ potencial de las especies forestales.

Se debe tener en cuenta que la actual estructura administrativa del Estado, organizada en regiones, es de vital importancia para una adecuada planificación

11 Diversidad genética, concepto general: Cantidad de variabilidad genotípica en una población; Definición cuantitativa: número de diferentes alelos por locus y la proporción de loci con más de un alelo en una especie o población.

12 Selección disgénica: Proceso que es perjudicial a la calidad genética de una población. Usualmente aplicado a las acciones humanas, tales como el floreo, que puede reducir el acervo genético local de una población natural.

13 Plasticidad: Capacidad de una especie de ocupar una mayor amplitud ecológica, presentando distintas respuestas que le permiten sobrevivir en cada medio ambiente diferente, sin que se produzcan cambios genéticos en ella.

14 Migración: La migración o flujo génico, ocurre cuando los individuos se trasladan de una población a otra y se cruzan con la segunda.

estratégica de la conservación de los recursos genéticos forestales (RGF) de Chile. Finalmente, es necesario considerar a las Universidades, Centros de Investigación y al sector privado, propietario de bosques nativos, que mediante incentivos y acuerdos vinculantes pueden jugar un importante papel en la conservación de los RGF a través de la Red de Conservación de Recursos Genéticos Forestales de Chile.

SISTEMA DE MEJORA DE POBLACIONES MÚLTIPLES

Conservación *In Situ* y *Ex Situ*

La conservación, entendida como una disciplina dedicada a la protección, rescate, mantención, estudio y uso sustentable del patrimonio biológico de un país, es vital para mantener la diversidad genética de especies de este o de una región, así como sus interacciones y los procesos evolutivos que las originan. La conservación de los RGF se puede practicar bajo dos modalidades; *in situ*, es decir en el lugar donde crecen en estado natural o silvestre, o *ex situ*, fuera del lugar donde crecen en estado natural, como es el caso de los distintos bancos de germoplasma y rodales plantados de conservación (Salazar *et al.*, 2006). Ambas opciones son complementarias para la conservación de especies y de su variación genética intraespecífica. En ocasiones los conceptos de *ex situ* e *in situ* se confunden, debido a que en conservación agronómica se suele usar el concepto *ex situ* sólo para bancos (de semillas, polen u otros), sin considerar a los rodales de conservación plantados en campo; por otra parte asocian los cultivos en campo como una forma de conservación *in situ* (Eriksson *et al.*, 2006).

La conservación *in situ* de los recursos genéticos, es decir bajo las condiciones propias de su hábitat natural, ya sea en bosques productivos o en áreas protegidas, permite la interacción con otras especies y organismos a largo plazo, dejándolas evolucionar en su medio natural, en conexión con la evolución de las condiciones ambientales de su localidad. El término se aplica a la regeneración natural que permite preservar el potencial de adaptación de las especies, pues hace posible que la selección y el flujo genético actúen como procesos que caracterizan la evolución.

Un sistema de conservación de RGF que permita hacer mejoramiento y conservación *ex situ* requiere identificar a la población de mejoramiento¹⁵ como la estructura clave del sistema. Esto, por sí sólo no es suficiente para hacer que este sistema funcione y evolucione, sino que requiere además de una estrategia para que este trabaje en forma ordenada y eficiente. En la Figura N° 1 se ilustra la pirámide de Burdon¹⁶, donde se conceptualiza el mejoramiento y la conservación de los RGF de Chile. En la base de la pirámide, en sentido horizontal, se representa la diversidad genética, mientras que en su eje vertical, a medida que se estrecha la variación, se aumenta la ganancia genética¹⁷.

15 Población de mejoramiento: Un grupo de individuos seleccionados desde una población para ser utilizados en un programa de mejoramiento. Inicialmente la selección es fenotípica. En especie con un rango amplio, hay varias o muchas poblaciones de mejora mas o menos separada, cada una está designada para proveer progenies adecuadas a una región geográfica particular.

16 Presentación dada en el congreso "Western Forest Genetics Association meeting, 28 August 1995, Victoria British Columbia.

17 Ganancia Genética: Cambio genotípico originado por la selección artificial en un rasgo específico. La ganancia se expresa en términos de cambios por generación o cambios por año. La ganancia esta determinada por la

En este esquema se observa que la amplia base (población de RGF) está conformada por bosques naturales, representados mayoritariamente en el SNASPE; luego la población de mejoramiento, constituida fundamentalmente por pino y eucalipto de las empresas forestales y ensayos de progenie y procedencia e introducción de especies conformada por INFOR y otros; la cúspide de la pirámide esta conformada por las poblaciones de producción, fundamentalmente de pino y eucalipto y algunas otras especies, donde se concentra la mayor ganancia genética generada por sus respectivos programas de mejora.

Los largos periodos de madurez de la inversión en mejora y conservación genética *ex situ*, sumados a los normalmente escasos recursos financieros destinados a este fin, sugieren la necesidad de complementar los esfuerzos técnicos y los recursos financieros, de modo de propender a un enfoque de cooperación entre los actores vinculados a estas materias. En Chile, existen distintas organizaciones que trabajan en mejoramiento y conservación de recursos genéticos, tanto privadas como públicas, pero no existe una coordinación para optimizar su gestión, papel que está actualmente asumiendo el Ministerio de Agricultura a través del FIA¹⁸, de acuerdo a las recomendaciones del Banco Mundial.

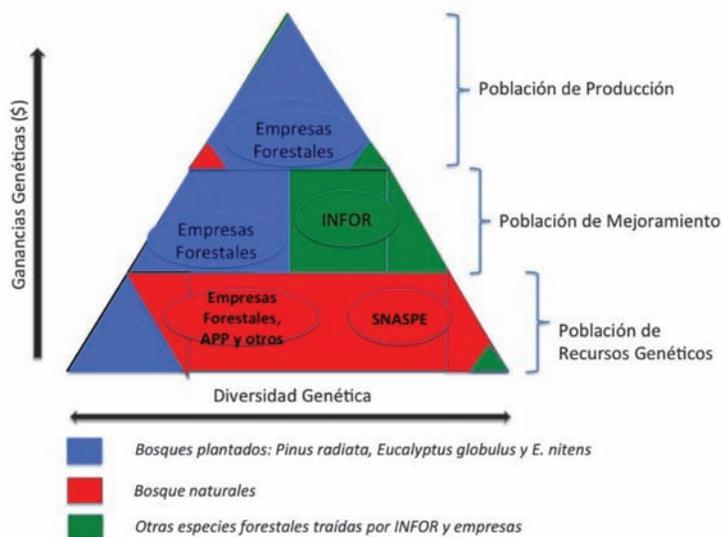


Figura N° 1.
ESQUEMA DE LA PIRÁMIDE DE BURDON, APLICADO A LOS RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES DE CHILE.

El desarrollo de una estrategia de conservación y mejoramiento de RGF considera

intensidad de selección, la variación de los progenitores, y la heredabilidad de un rasgo dado.
18 FIA: Fundación para la Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura de Chile.

dos etapas iterativas. Primero, se define el sistema de mejoramiento y su sistema silvícola asociado. En segundo lugar, se definen y evalúan las opciones de ganancia y variabilidad que se pueden generar. Los resultados de la evaluación deben reflejar la estructura del sistema, y de su funcionamiento se generan y evalúan nuevas opciones. El proceso iterativo es ampliable, y el índice de la iteración debe ser ajustado para que se pueda mantener un equilibrio entre el aumento de las ganancias genéticas en el corto plazo y la variabilidad genética en el largo plazo. En este sentido un límite adecuado es de 20 generaciones.

El objetivo primario de la conservación de recursos genéticos es asegurar la supervivencia, la adaptación, y la evolución continua de una especie en un ambiente continuamente cambiante. Según Eriksson (2000), el objetivo clave de la conservación genética es salvaguardar el potencial de adaptación. Mientras dicha población este conservada *ex situ* o *in situ*, a largo plazo, y en forma estructurada, será posible que exista suficiente variación genética para enfrentar futuros cambios en el clima o en las prioridades de mejora. De esta forma, mediante muestreo genético de la población conservada, en el futuro el hombre podrá realizar progresos genéticos en la dirección que se requiera. Podrá por ejemplo, mejorar las características de una determinada especie de latifoliada que esté representada en un rodal de conservación, definiendo en este caso los objetivos específicos que le interese cumplir, como por ejemplo crecimiento, calidad de madera, u otros.

Es necesario insistir que para alcanzar estos objetivos en forma exitosa, se deben mantener rodales de conservación¹⁹ con una amplia variabilidad genética, capturada mediante muestreo genético realizado sobre las distintas poblaciones de los bosques actuales (primarios, secundarios, residuales) y mediante el manejo forestal crear las condiciones *ex situ* favorables para la adaptación rápida de cada especie (Müller-Using y Martin, 2011). Un requisito previo y general para la evolución es la regeneración natural o asistida de los RGF. Con esta última, se pueden aplicar medidas específicas en aquellas situaciones donde existen dificultades para que las especies se mantengan por si solas durante sucesivas generaciones.

La mayor parte de las estrategias de conservación estáticas se realizan en la modalidad *ex situ*, aunque también puede realizarse conservación *ex situ* dinámica. En este caso, se puede llevar a cabo su manejo de modo dinámico, bajo unas condiciones que pueden ser muy próximas a las del lugar de origen, haciendo una silvicultura cercana a la naturaleza. Cuando estos rodales de conservación se sitúan bajo climas diferentes se promueven adaptaciones e interacciones diferentes a las de su primitiva procedencia. Pese a su origen artificial, el objetivo es dejar a la población evolucionar y reproducirse de modo cercano a lo natural.

Conservación de Recursos Genéticos (CRG): Dinámico y Estático

Existen dos tipos de aproximaciones, según se considere o no el mantenimiento de

19 Rodales de conservación: Es un rodal designado para la conservación *in situ* o *ex situ* de los RGF de una especie prioritaria y que formara parte de la red. El rodal debe tener su propio plan independiente de ordenación, pero sincronizado con el plan de la red.

los procesos genéticos como parte de la estrategia de conservación, en la Figura N°2 se muestra el significado de manejar los recursos genéticos en forma dinámica y estática.

La conservación dinámica de recursos genéticos tiene por objetivo que la variación genética existente en el material conservado no sólo garantice su adaptabilidad actual, sino también la evolución continua de la especie. Trata de mantener una amplia diversidad genética y potencial adaptativo, mediante la doble influencia de la presión selectiva²⁰ del medio y de la reproducción sexual. De este modo, van apareciendo nuevos genotipos por recombinación y apareamiento, sin llevarse a cabo una selección fenotípica de los árboles progenitores. Esta estrategia requiere una protección efectiva frente a la introgresión genética²¹ desde el exterior, así como frente a incendios u otro tipo de amenazas sobre la población conservada. La conservación dinámica puede requerir considerable espacio y costos y se puede enfrentar al uso actual que recibe la población a proteger o el territorio colindante.

La conservación estática de recursos genéticos considera el principio de preservar la diversidad existente y está ligada a la creación de colecciones que mantienen composiciones genéticas específicas, sin respuesta a posibles cambios en el ambiente, y sin generar nueva diversidad. Los métodos de conservación estática se aplican a un material genéticamente bien identificado y que estabiliza su composición genética actual, definida por el material incorporado a la colección o banco de genes.

Los esfuerzos se concentran en la conservación de genotipos individuales, que se pueden preservar de diversas formas, como semillas, polen, partes de plantas o plantas enteras. La conservación se puede realizar en bancos de semillas, cuya duración la define la pérdida de la capacidad germinativa de las mismas, o en bancos o colecciones clonales propagadas vegetativamente, o mantenidas indefinidamente mediante técnicas de crioconservación (almacenadas sin daño a temperaturas de -196 °C en nitrógeno líquido). A largo plazo, su inconveniente se deriva de impedir los efectos de la recombinación derivada de la reproducción sexual y de la selección, que permiten aparecer una diversidad que responda a nuevas condiciones ambientales.

En Chile, en relación a este tipo de conservación *ex situ*, bajo la modalidad de bancos de germoplasma se conservan del orden de 600 especies y 67 mil accesiones²². El 88% de las accesiones corresponden a plantas cultivadas de interés para la alimentación y la agricultura, y se representan mayoritariamente por semillas en los bancos del INIA. Respecto a las colecciones de RGF, la información de INIA-FAO (2008) permite establecer que estas involucran a cerca de 30 especies, con un total de 2.730 accesiones. De ellas la inmensa mayoría corresponde a las especies exóticas *Pinus radiata* y *Eucalyptus* spp.

20 Presión selectiva: Es aquella fuerza del medio ambiente: natural o artificial que es capaz de generar cambios en la frecuencia de alelos y por consiguiente en las características fenotípicas de la población.

21 Introgresión genética: Es el movimiento de genes de una población a otra a través de la hibridación seguida por el retrocruzamiento. Comúnmente se refiere al movimiento de genes desde una especie a otras o entre subespecies que están aisladas geográficamente.

22 Accesiones: Se denomina así a la muestra viva de una planta, cepa o población mantenida en un banco de germoplasma para su conservación y/o uso. Una especie puede estar representada por varias entradas que se diferencian por el tipo de población al que pertenecer (i.e. variedad primitiva, variedad tradicional, variedad mejorada, líneas avanzadas de mejoramiento, plantas silvestres) y/o por su origen (lugar de recolección o creación).

(70%, de las accesiones); un 19% (517 accesiones) corresponden a la especie nativa *Nothofagus alpina*; y el 11% restante (312 accesiones) se distribuye irregularmente en cerca de 25 especies forestales nativas y exóticas.

En consecuencia, las colecciones forestales conservadas *ex situ* en bancos de germoplasma, corresponden a pocas especies, almacenadas en bancos de pocas instituciones y donde la enorme diversidad de flora del bosque nativo se encuentra marginalmente representada. Por otra parte, en general, la seguridad de las colecciones de RGF almacenadas en el país es baja, INIA-FAO (2008) indican que solo un 10% están como semillas en bancos base²³, el resto se encuentra en bancos activos²⁴ y fundamentalmente en colecciones de trabajo.

El documento también indica que existe un escaso nivel de documentación de las colecciones y que muchas se han establecido en el marco de proyectos de investigación con un horizonte de término limitado, por lo tanto no existe seguridad de su permanencia en el largo plazo. En consecuencia, un muy bajo porcentaje de las accesiones está almacenado en forma segura, de largo plazo y con adecuada documentación.

Otras colecciones de conservación *ex situ* son los jardines botánicos, los que también se presentan en un número muy limitado en el país, siendo los Jardines Botánicos de Viña del Mar (CONAF) y de Valdivia (UACH) los más importantes (EMBRAPA, 2006).

23 Banco base: Es una colección que se mantiene para las generaciones futuras; conservación a largo plazo; mínimo 100 años. Para dicha conservación se utilizará una humedad entre el 3 y el 7% (a menor humedad, mayor viabilidad a largo plazo), y una temperatura de -20°C . Esta colección es inaccesible a no ser que sea estrictamente necesario.

24 Banco activo: Es una colección que se usa para realizar los estudios científicos. Es accesible también para donaciones. Se mantiene en condiciones de conservación a medio plazo (unos 10 años): humedad entre el 3 y el 7% y en frigorífico (entre 0 y 5°C).

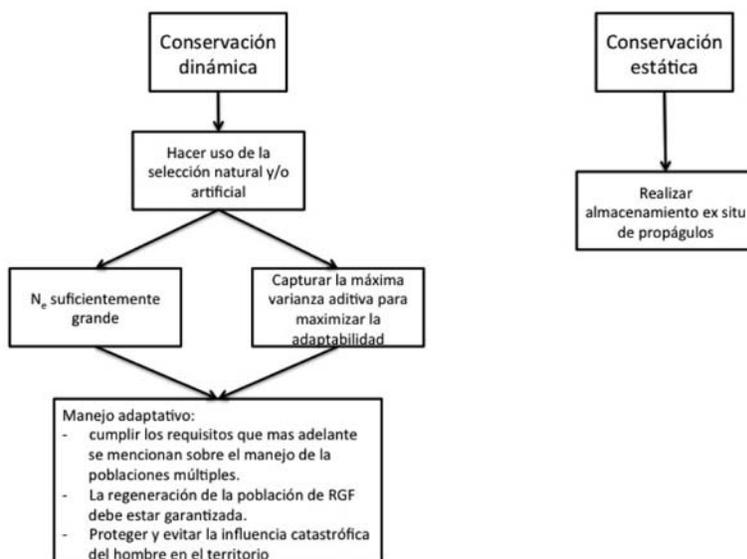


Figura N° 2.

MODELO DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS: DINÁMICO Y ESTÁTICO.

Modelo MPBS

Los Parques Nacionales y las Reservas Forestales (SNASPE) constituyen el sistema convencional de conservación *in situ* más usado en el mundo. Dada la velocidad del cambio climático y la relativamente lenta respuesta adaptativa de los bosques, este enfoque tradicional se debe complementar con otro, como el sistema de mejora de poblaciones múltiples (MPBS). El concepto de MPBS combina seguridad, la conservación sostenible y *ex situ* de los recursos genéticos forestales, y la preparación para los cambios eco-climáticos, con una amplia varianza genética²⁵ para hacer mejoramiento genético forestal en el futuro. El esquema de MPBS ya ha sido aplicado en algunos países (Pliūra y Eriksson 1997).

El Sistema de Mejora de Poblaciones Múltiples fue originalmente desarrollado para el mejoramiento genético por Namkoong (1976) y posteriormente adaptado a la conservación de recursos genéticos (Namkoong 1984), constituyendo hoy un sistema fundamental para la conservación de RGF.

Según el MPBS, la población de mejora de recursos genéticos puede consistir de un conjunto de subpoblaciones pequeñas (Figura N° 3), cada una con un tamaño poblacional efectivo²⁶, o número de entidades genéticas no emparentadas, determinado en función de la proporción de genes que se pretende conservar. La subpoblaciones

25 Varianza genética: Es la varianza fenotípica resultante de la presencia de distintos genotipos en la población.

26 Tamaño efectivo (Ne): Se refiere a individuos no emparentados.

representan distintos criterios de selección, fundamentalmente rasgos adaptativos, por ejemplo, crecimiento juvenil en altura, características fenológicas, resistencia a factores adversos (enfermedades, heladas, sequía), entre otras. Las sublíneas son definidas como replicas de la población de mejora, donde cada una representa a una región de procedencia. Así, considerando la estructura de colaboración público privada para desarrollar el programa de mejora y conservación *ex situ*, es altamente probable que las regiones de procedencias (Vergara, 2000) localizadas en diferentes condiciones ecológicas, debido a la presión de selección que ejerce el cambio climático, tiendan rápidamente a diferenciarse, y asimilarse a un sistema de mejoramiento de poblaciones múltiples. La estimación de la plasticidad fenotípica²⁷ de los distintos rasgos permitirá evaluar la posibilidad de adaptación al cambio climático (Pliúra, 2004).

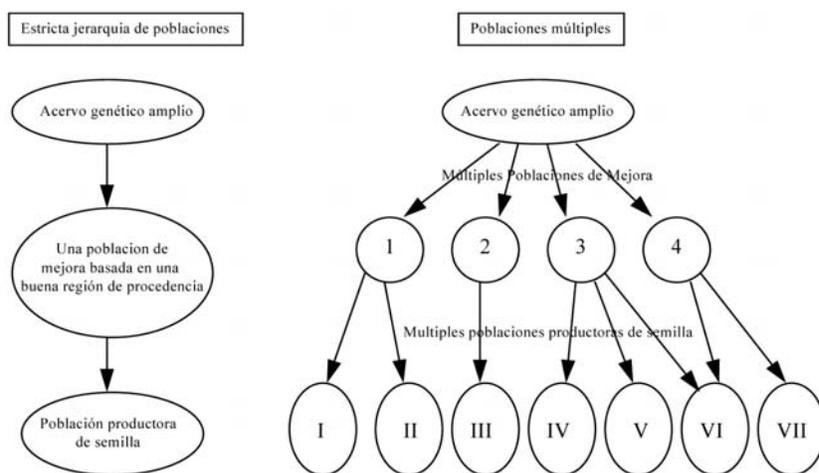


Figura N° 3.
COMPARACION ENTRE MODELO DE POBLACIONES MÚLTIPLES Y ESQUEMA JERARQUIZADO DE POBLACIONES

Selección y MPBS

Para capturar los alelos de frecuencias superior a 0,01, con 0,99 de probabilidad, la población de conservación genética deberá estar constituida por alrededor de 750 - 1.150 individuos (Gregorius, 1980). Por lo tanto proporcionarán suficiente diversidad genética para la conservación genética sostenible de largo plazo y para los propósitos de mejoramiento genético también de largo plazo.

Ahora, si se considera capturar los alelos de más baja frecuencia, el número de individuos a incluir en la población de conservación puede aumentar rápidamente. Debido a los riesgos del cambio climático y de desastres naturales o antropogénicos, se

²⁷ Plasticidad fenotípica: $PF = (V_{G \times A} + V_A) / (V_{G \times A} + V_A + V_G)$, donde: $V_{G \times A}$ = Varianza asociada con la interacción genotipo ambiente; V_A = Varianza ambiental, y V_G = Varianza genética.

requerirán poblaciones de conservación genética con más de mil árboles. Un número relativamente pequeño de genotipos en las sub poblaciones ayudará a la fijación de los nuevos genes originados de las mutaciones y puede acelerar la evolución.

Una condición previa para hacer operativa la selección natural o artificial, es que la población de recursos genéticos sea lo bastante grande para capturar la alta variación genética aditiva²⁸ y así evitar la deriva genética²⁹. De acuerdo al concepto de MPBS, la población de mejoramiento y conservación de recursos genéticos de una especie determinada debe consistir de aproximadamente 10 a 20 subpoblaciones, cada una de ellas con un tamaño efectivo (N_e) de 50 individuos, los que totalizan una población de 500-1000 individuos (Gregorius, 1980). Lo anterior, basado en la probabilidad de guardar genes con frecuencias superiores a 0,01, y evitar una severa endogamia³⁰ en las subpoblaciones (Pliura y Eriksson 1997). Con un tamaño efectivo de 50 individuos por subpoblación, la tasa de endogamia será el 1% por generación, ya que el coeficiente de endogamia $F=1/(2N_e)=0,01$ (Varela y Eriksson, 1995), es reconocido como satisfactoriamente bajo (Danell, 1993). Esto también corresponde a la tasa de pérdida de variación aditiva (Eriksson, 2000), ya que el aumento del coeficiente de endogamia³¹ deriva de la misma fórmula ($F=0,01$), asumiendo cruzamientos aleatorios.

Mediante un análisis teórico, Namkoong (1976) demostró que la división de la población de mejoramiento en varias subpoblaciones, es más eficiente que sólo una población de mejoramiento. También demostró que la hibridación de individuos de diferentes subpoblaciones produce un aumento de la varianza aditiva en la generación F2.

Desde el punto de vista del mejoramiento genético, particularmente en el manejo de las poblaciones élite³², la confección de líneas de mejoramiento, donde cada una de ellas puede estar formada por las 10 mejores familias, no emparentadas entre líneas, con alelos de frecuencias hasta 0,25, sería suficiente para garantizar diversidad y sostenibilidad de los nuevos rodales, y proporcionar alto niveles de ganancias genéticas.

Los cambios en la diversidad genética de las poblaciones se representan por la endogamia promedio y por las estimaciones del tamaño efectivo de la población. El coeficiente de endogamia describe la proporción de *locus* homocigóticos en exceso, respecto de una población de cruzamientos aleatorios e infinitamente grandes. El coeficiente de endogamia para cada árbol en la población es determinado por el pedigrí de los árboles progenitores que permite determinar el grado de ancestros comunes. El cálculo es simple en pequeños pedigríes, pero se torna difícil en pedigríes complejos. En esta estrategia la endogamia se confina dentro de la subpoblación o sublínea, pero nunca entre sublíneas.

28 Variación genética aditiva: Representa la porción de la varianza total que es susceptible de ser transmitida de padres a hijos.

29 Deriva genética: Cambio en la frecuencia de genes o pérdida de genes en una población pequeña debido a efectos aleatorios. Comúnmente corresponde a una pérdida de alelos raros.

30 Endogamia: Cruzamiento entre individuos emparentados. En especies de polinización abierta la endogamia provoca una pobre producción de semilla, baja germinación y una severa reducción del crecimiento.

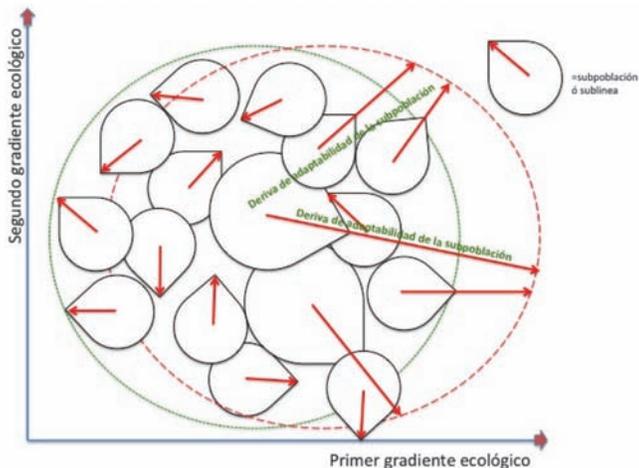
31 Coeficiente de endogamia: Probabilidad que dos genes en un individuo sean idénticos por descendencia.

32 Población élite: Población probadamente superior mediante ensayos genéticos.

Para capturar las adaptaciones que ya se han desarrollado en las poblaciones que conforman las distintas procedencias³³ de una determinada especie, puede ser suficiente con un sistema de selección y muestreo que cubra los patrones geográficos de variación genética que la especie ha desarrollado en las particulares condiciones eco-climáticas de sus respectivas regiones de procedencia. Es importante considerar que si se realiza conservación *ex situ*, las procedencias también se deben mantener separadas para aprovechar su capacidad de adaptación.

La esencia de la conservación dinámica de los recursos genéticos al usar el concepto de MPBS es promover la adaptación, lo que se consigue al exponer la población de recursos genéticos a la selección natural y a los cambios climáticos. Por lo mismo, el material genético, ordenado por ejemplo en sublíneas o subpoblaciones, puede evolucionar en una variedad de direcciones (Figura N° 4). Consecuentemente, una red de conservación de recursos genéticos *ex situ* debe establecerse en un amplio arreglo de condiciones eco-climáticas, bajo una colaboración público privada, donde la locación de las poblaciones es determinada por un mapa de futuros escenarios derivados del cambio climático.

El enfoque de poblaciones múltiples puede ser considerado tanto en las poblaciones de conservación *in situ* como en las *ex situ*. El desarrollo de la presente estrategia considera la conservación *ex situ* como un complemento de la *in situ*. La población de mejoramiento *ex situ* es colectada desde las regiones de procedencia (Vergara, 2000) localizadas en un amplio rango de ambientes, y luego expuestas a la selección natural y sometida a la evolución en una variedad de direcciones.



(Fuente: Pliūra, 1999)

Figura N°4

EVOLUCIÓN MULTIDIRECCIONAL DE SUBPOBLACIONES EN EL SISTEMA DE POBLACIONES MÚLTIPLES

33 Procedencias: Fuente geográfica de la semilla, material vegetal o plantas procedentes de tal fuente. En general cabe afirmar que las especies forestales de distribución geográfica amplia presentan considerables variaciones en su anatomía, morfología y fisiología de acuerdo a esta.

De ser necesario, las poblaciones de conservación de recursos genéticos pueden ser manejadas intensivamente para mejorar la adaptación de cada una de las subpoblaciones, para así aumentar la diferencia genéticas entre ellas, garantizar su sostenibilidad durante todos los períodos de la ontogénesis, asegurar la regeneración continua de la población de la especie objetivo, y protegerla contra todos los tipos de daño.

Para reducir al mínimo los costos, la conservación de recursos genéticos puede ser realizada en conjunto con la mejora genética y estudios genéticos específicos.

Elementos claves para conservación de RGF en el modelo MPBS

De acuerdo al horizonte de protección, las especies forestales pueden dividirse en aquellas para conservación en el corto - mediano plazo y otras para conservación en el largo plazo.

Para el largo plazo, mayor a 20 generaciones, es necesario considerar la dinámica de variación genética de una especie determinada, por ejemplo, en Argentina, la especie *Austrocedrus chilensis* presenta una mayor diversidad genética en poblaciones xéricas localizadas en la estepa patagónica, en propiedades privadas, fuera del sistema nacional de áreas naturales protegidas (Gallo *et al.*, 2004). En este caso se debería proteger el borde o frontera sinuosa que delimita a la zona de estepa, y hacer además un muestreo para conservar *ex situ* la variabilidad. Sin menoscabo, que para usar la especie en un programa de mejoramiento en el corto – mediano plazo se seleccione árboles plus³⁴ en los sitios donde mejor crezca la especie.

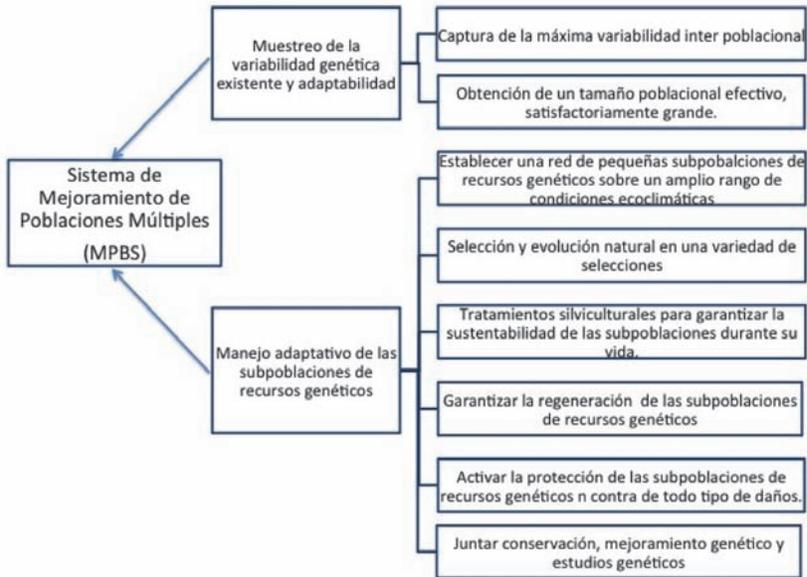
En el concepto del MPBS la conservación es dinámica, ya que las especies se benefician tanto de la selección natural como de la artificial y, de esta forma, pueden alcanzar altos niveles de adaptación a las cambiantes condiciones ambientales. También permite al mejorador responder a los posibles cambios de valor económico de los caracteres, producidos por ejemplo por plagas y enfermedades forestales.

En términos prácticos, el MPBS implica dividir la población de recursos genéticos en aproximadamente 20 subpoblaciones, que se mantienen físicamente en forma separada, en las que cada una debe tener un tamaño de población efectiva N_e , de aproximadamente 50 individuos. Ahora, si la población de mejoramiento tiene 20 subpoblaciones, el número *census* de árboles³⁵ alcanzará a los 1000. El dividir la población a conservar en varias subpoblaciones permite aumentar la varianza aditiva total con pérdidas marginales de la varianza dentro de la población (Eriksson *et al.*, 1993). Luego, la endogamia estará en una tasa aceptable, debido a que con un tamaño de la población efectiva (N_e) igual a 50 individuos, el coeficiente de endogamia ($F=1/2N_e$) alcanza apenas al 1% (Varela y Eriksson, 1995).

34 Árbol plus: Individuo de características fenotípicas sobresalientes en algunos rasgos de interés para el programa.

35 Número *census*: Numero o tamaño actual de la población

En la Figura N° 5 se muestra que al aplicar el sistema de poblaciones múltiples, se logra la conservación dinámica de los recursos genéticos, promoviéndose la adaptación y la evolución de las especies.



(Fuente: Pliúra, 1999).

Figura N° 5
SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE POBLACIONES MÚLTIPLES (MPBS): PROMUEVE LA ADAPTACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS ESPECIES

En la implementación del MPBS se pueden usar distintos grados de sofisticación, desde el manejo muy intensivo de la población de mejoramiento hasta la conservación *in situ* sin interferencia humana. La principal ventaja del MPBS es que combina la captura de la variabilidad genética total, existente en ese momento, dentro de cada subpoblación, y ello permite que las poblaciones de RGF se adapten a las condiciones ambientales. Otra ventaja es que la velocidad de la evolución puede ser más rápida en una población de 50 árboles que en una gran población de miles de árboles.

El MPBS mas desarrollado involucra muestreo, plantación, manejo y regeneración de una población localizada en una amplia variedad de sitios. De esta forma cada una de las pequeñas subpoblaciones puede ser expuesta a varios tipos de condiciones climáticas y edáficas, y por lo tanto seguir diferente evolución. Varela y Eriksson (1995) establecen que la versión *ex situ* del MPBS es la más elaborada y que los ensayos de progenie y procedencia, que incluyen la variabilidad completa de una especie, pueden ser considerados como sus máximos exponentes. Por otro lado, si la especie es considerada

en un programa de mejoramiento, debería ser de un costo muy bajo establecer la estructura MPBS *ex situ* con propósitos de conservación. La conservación *ex situ* se hace obligatoria para especies en vías de extinción o muy menoscabadas en su estructura genética. En estos casos es especialmente relevante incluir todos los alelos con frecuencias superiores al 1%.

Dentro de la conservación *in situ* pueden existir distintos grados de variación, desde reservas forestales manejadas hasta aquellas reservas forestales no manejadas pertenecientes al Estado o a propietarios privados. En el primer caso, cuando se considera especies comunes y de amplia distribución, se sugiere el uso de MPBS *in situ* con una baja intensidad de manejo (Ferreira y Eriksson, 2006), el segundo caso sólo es pertinente si el objetivo es salvaguardar la estructura de especies endémicas. Otro nivel de conservación *in situ* de MPBS, de bajo costo, es considerar especies naturales que puedan coexistir en su rango de distribución.

Por último, y tal como lo reconoce la propia OCDE (2005 y 2011), muchos de los bosques nativos que no se encuentran en las áreas protegidas, continúan degradándose por incendios causados por el hombre y por la tala ilegal de especies valiosas, con el consecuente riesgo de pérdida de poblaciones locales y sus genes asociados. Desde el punto de vista del cambio climático, las especies que exhiben una amplia distribución geográfica, si bien no enfrentan un riesgo de sufrir procesos de extinción, sí pudieran verse afectadas poblaciones locales particularmente, las localizadas en los márgenes de su distribución (Hubert y Cottrell, 2007).

Etapas para el Establecimiento de Sistema en Base de MPBS

- Obtención de información base detallada, fundamentalmente mapas o *shape* en formato digital. Esta información se muestra en la Figura N° 6 y se maneja con el GIS³⁶, llamado DIVA³⁷, aportado por LAFORGEN³⁸
- Consulta a expertos: talleres de trabajo, encuesta Delphi, entre otros
- Definición de criterios de priorización (conservación, endemismo, productividad, rareza)
- Selección de especies prioritarias
- Determinación de la variación genética: Mediciones de la variabilidad genética y consideraciones de aislamiento geográfico.
- Evaluación del estado de conservación
- Identificación de poblaciones a conservar (preferentemente todas, cada una debería tener particularidades que aportan a la adaptación, tolerancia o productividad)
- Elección de las medidas de conservación adecuadas (en general deberían considerarse *in situ* y *ex situ*).
- Organización, planificación y ejecución de actividades

36 GIS: Geographical Information System

37 DIVA: Sistema geográfico de información, gratuito, para mapear y analizar datos geográficos. <http://www.diva-gis.org/>

38 LAFORGEN: Latin American Forest Genetic Resources Network. Es la red de RGF de América Latina y el Caribe

- Preparación de guías de gestión para el manejo, evaluación y sustentabilidad en el tiempo del material genético resguardado.
- Establecimiento de un sistema de monitoreo que permita obtener información continua que facilite toma de decisiones o reingeniería de estrategias.

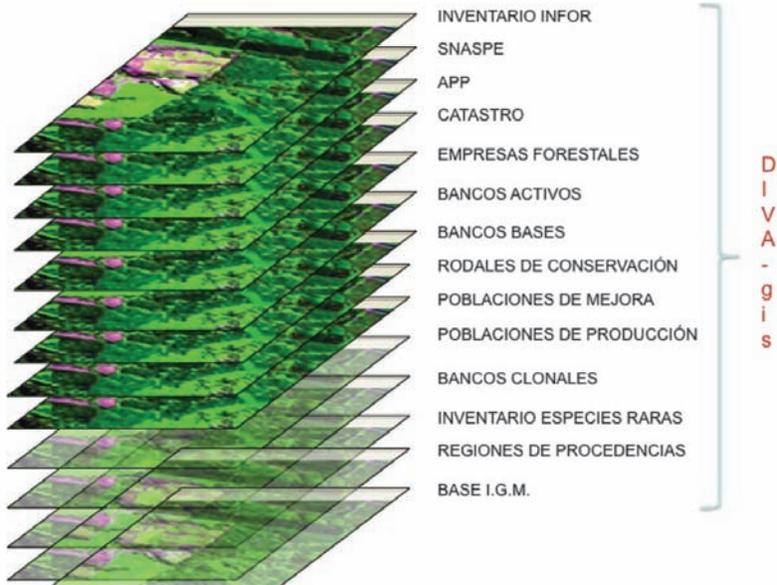


Figura N° 6
CAPAS DE INFORMACIÓN BÁSICA PARA ALIMENTAR EL GIS
PARA LA CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS RGF DE CHILE

ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE RGF EN CHILE: EL CASO DE ROBLE Y RAULÍ

Recursos en Bosques Naturales de Roble y Raulí

De acuerdo con Araya y Oyarzun (2000) las formaciones con participación de roble y raulí son las principales exponentes de los bosques de *Nothofagus* deciduos de hoja grande, los que se encuentran en la sección norte de los bosques templados sudamericanos. En total ocupan actualmente una superficie de 1.682.685 ha de las cuales en 279.744 ha se encuentra roble y raulí, y en 170.638 ha sólo raulí. Las 1.232.303 ha restantes corresponden a bosques con presencia de roble, en donde raulí está ausente. Esta superficie de bosque se concentra entre las regiones de Biobío y Los Lagos, teniendo muy poca participación en las regiones de Valparaíso y del Libertador Bernardo O'Higgins.

De acuerdo a Ormazabal y Benoit (1987), la cobertura del roble en el SNASPE

es baja por cuanto representa un valor muy inferior al 5,8%, resultante de cotejar sólo a las áreas protegidas con las especie en la región del Maule y la de La Araucanía, correspondientes a 330.000 ha. El raulí está presente en el SNASPE sólo en su rango medio de distribución, es decir, en 8 unidades de la Cordillera de los Andes y una de la Cordillera de la Costa (sector Norte) de la región de La Araucanía, faltando por representar los sectores norte y sur de su distribución (Ormazabal y Benoit, 1987).

Ejemplo de MPBS para Chile

El modelo propuesto privilegia la conservación *in situ* en condiciones normales, las cuales deben ser complementadas con métodos de conservación *ex situ*, en una colaboración público – privada.

Los patrones de variación genética determinan distintos grados de adaptabilidad, tanto entre especies como dentro de ellas, en diferentes áreas de su rango de su distribución biogeográfica. Por esto, las actividades de conservación de genes pueden ser diferentes cuando la especie presenta una extensa distribución, formando grandes poblaciones de cruzamiento aleatorio, o cuando la especie es rara y conforma pequeñas poblaciones más o menos adaptada localmente y con un intercambio limitado de genes. En este sentido, para una especie como el roble, que conforma grandes poblaciones y se distribuye en una amplia variedad de sitios, parece lógico que los métodos de conservación *in situ* sean los más apropiados y pueden constituir el elemento central del Programa Nacional de Conservación de los Recursos Genéticos de Roble en Chile. En este sentido, las unidades del SNASPE podrían ser la base para una red de subpoblaciones de roble y raulí, manejadas de tal forma de conformar un sistema de conservación de genes dinámico bajo el concepto del MPBS.

Estas áreas de conservación *in situ*, manejadas, también pueden estar en bosques naturales privados fuera del SNASPE, para lo cual se debería buscar mecanismos de estímulo para que sus propietarios las mantengan.

Como una forma de reducir costos y aumentar la eficiencia del esfuerzo en conservación, se puede considerar unidades *in situ* conjuntas de roble y raulí cuando estos se encuentren en rodales mixtos, este criterio es válido para muchas otras especies.

Independientemente de lo expuesto para las unidades *in situ*, la conservación *ex situ* de recursos forestales, en la forma de ensayos de progenies, es el método más activo y efectivo de conservación (Eriksson *et al.*, 1993). Por esta razón, y dadas las limitaciones de conservar algunas áreas no representadas, ya sea por destrucción de su hábitat natural por desastres o por avance de la frontera agrícola - ganadera, las especies de roble y raulí están representadas inicialmente en dos pares de ensayos de progenie y procedencias, en la zona sur, lo cual puede ser considerado como insuficiente.

Si, por ejemplo, existe interés económico en aprovechar el raulí, los propietarios pueden demandar un programa de mejoramiento genético, donde se armonice directamente la conservación con la producción de semilla. A este respecto existen ejemplos notables, como el huerto semillero clonal de raulí "Huillilemu", iniciado por la Corporación Nacional

Forestal en 1983, bajo la asesoría de la Cooperativa de Mejoramiento Genético (UACH/CONAF/Empresas Forestales), el cual fue concebido como un banco para respaldar genotipos selectos y establecido con un diseño que permite utilizarlo como fuente de semillas.

Acciones como la descrita disminuyen la vulnerabilidad del recurso, por cuanto realizan rescate genético de aquellos genotipos que son precisamente los que más se han extraído de los bosques, debido a sus apreciadas características madereras. Aún así, la conservación *ex situ* de una especie, basada en bancos clonales y huertos semilleros, es estática y no promueve su adaptación en el largo plazo. Sin embargo, es una estrategia útil para especies raras, escasas o con un vulnerable estado de conservación, como el keule, el pitao el ruil y otras, para las cuales los bancos *ex situ*, adecuadamente aleatorizados, pueden constituir un eficiente instrumento para conservar y acrecentar su variabilidad genética. Para el raulí, los bancos clonales y los huertos semilleros clonales pueden ser considerados como un medio temporal de conservación, a la espera que puedan generar progenies, que finalmente pueden convertirse en la verdadera población de conservación *ex situ*.

El almacenamiento de largo plazo de semillas, como el efectuado en el banco base de INIA en Vicuña, también representa una instancia de conservación *ex situ* para aumentar la seguridad de los programas de conservación de genes. Al respecto, una colección de semilla de roble y raulí, representativa de toda el área de distribución biogeográfica de estas especies, ha sido realizada por INFOR y se encuentra respaldada en dicho banco base. No obstante, este procedimiento de conservación *ex situ* también es estático y debe considerarse sólo como un complemento dentro de la estrategia general de conservación.

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, es posible construir una matriz de prioridades para las especies forestales y arbustivas del bosque nativo chileno. La matriz debe considerar el corto, mediano y largo plazo, e incluir en el muestreo y colecta los bordes de las áreas de distribución de las especies a conservar, por cuanto corresponden a las áreas de mayor variabilidad.

Asignación y Estructuración del Material Genético

Para una mejor comprensión y optimización del proceso de asignación de material genético a las subpoblaciones, o sublíneas en el sentido de Burdon y Namkoong (1983), es posible apoyarse en la simulación estocástica (POPSIM), propuesta por Mullin y Park (1995).

La conformación de sublíneas permite asignar los recursos genéticos mediante el respectivo valor genético del árbol, o siguiendo patrones geográficos de variación (clinal o ecotípica). En el Programa Nacional se puede integrar el mejoramiento y la conservación (Burdon y Namkoong, 1983) conformando una sola población de mejoramiento, subdividida en sublíneas, pero que cumplirá dos objetivos, mejora y conservación. Por otro lado, las sublíneas o subpoblaciones corresponderán a las poblaciones de procedencias (Vergara, 2000; Ipinza y Gutiérrez, 2000), lo que permitirá aprovechar y proteger su adaptabilidad

evolutiva, aunque sin menoscabo de que en el objetivo de mejoramiento se privilegien las procedencias más productivas.

Un aspecto administrativo, que tendrá que discutirse al interior de la Red Nacional de Conservación de Recursos Genéticos Forestales, es la normativa y los protocolos para el intercambio de información y material genético, por cuanto su implementación necesariamente deberá considerar el trabajo conjunto de varias instituciones, como la opción más adecuada para enfrentar un programa de esta envergadura.

En la Figura N° 7 se muestran las regiones de procedencias bosquejadas por Vergara (2000). En ella se han agregado óvalos traslapados, dispuestos en la gradiente natural de sequía de sur a norte del país, que indican las áreas de muestreo para establecer el modelo de conservación *ex situ*, bajo el sistema de poblaciones múltiples (MPBS). La región de procedencia es, para una especie o subespecie determinada, la zona o el grupo de zonas sujetas a condiciones ecológicas suficientemente uniformes en las que se encuentran fuentes semilleras o rodales que presentan características fenotípicas o genéticas semejantes, teniendo en cuenta límites de altitud, cuando proceda. Es la unidad básica de comercialización de plantas y semillas forestales, y es el principal medio de establecer una zonificación de las especies con vistas a su conservación.

Indice de severidad de sequía

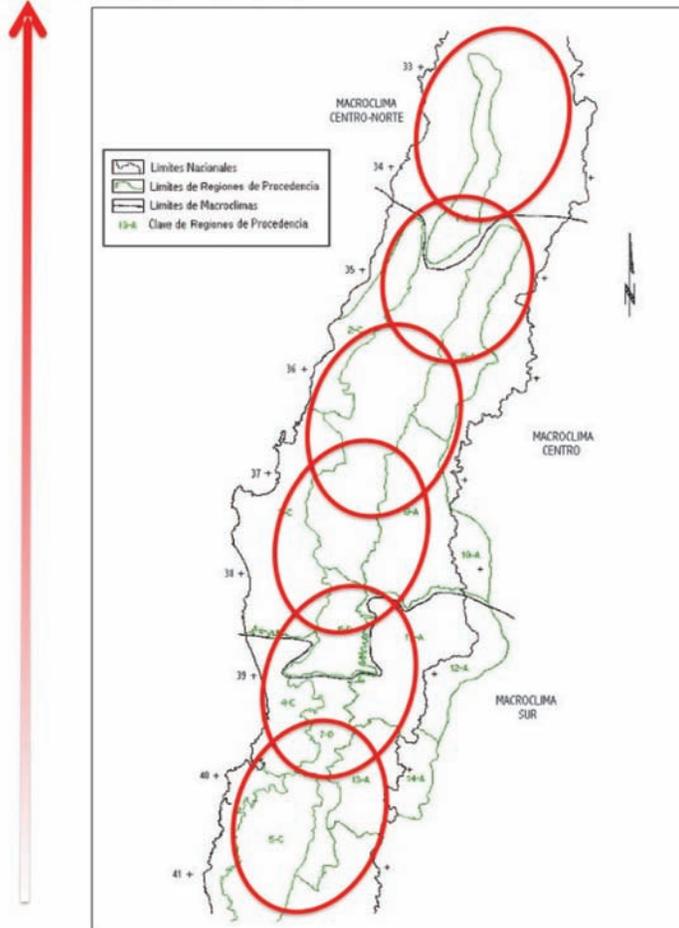


Figura N° 7

DISTRIBUCIÓN DE LA SUBPOBLACIONES DE ROBLE Y RAULÍ EN EL MODELO MPBS PARA COLECTAR MATERIAL GENÉTICO PARA LA CONSERVACIÓN EX SITU EN LA GRADIENTE DE SEQUÍA DE SUR A NORTE.

Con el transcurso del tiempo, y en la medida que el modelo se integre en un programa nacional, donde participen instituciones de distintas regiones, tenderá a asemejarse al sistema de poblaciones múltiples. En tal escenario, las instituciones de cada región podrán orientar las sublíneas hacia los caracteres que le sean de interés. Por lo mismo, las poblaciones, hoy sublíneas, tenderán a diferenciarse en un proceso gradual acentuado por las presiones de selección provocadas por el cambio climático que afectará en forma diferencial a cada línea y cada región.

Redes y Colaboración Internacional

La conservación de recursos genéticos normalmente trasciende a los límites geográficos de un país, necesiándose actividades cooperativas y de colaboración entre distintos países y organizaciones. En este sentido, el Instituto Forestal de Chile es parte de la Red Latinoamérica de Recursos Genéticos Forestales, LAFORGEN para América Latina y el Caribe, dependiente de Bioversity International (ex - IPGRI), de la cual también depende el programa europeo EUFORGEN de conservación de recursos genéticos. Si bien, en el caso nacional, el alto grado de endemismo de los recursos forestales determina que sus distribuciones naturales y por ende su variabilidad, se concentra al interior del país, es igualmente importante pertenecer a estos programas internacionales de conservación por cuanto, además de la colaboración, la formación y la innovación tecnológica, constituyen un soporte fundamental para la coordinación y el cumplimiento de compromisos globales de conservación.

Además, considerando la relevancia y el reconocimiento de trabajar en red, es recomendable operativizar la creación de una Red Nacional de Recursos Genéticos Forestales, para coordinar la colaboración entre las Universidades, Centros Tecnológicos, el sector privado y en general de todos los actores relacionados con la conservación y utilización de los RGF del país.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los antecedentes presentados, un programa nacional de conservación y mejoramiento de recursos genéticos forestales puede implementarse de acuerdo a las directrices del sistema de mejoramiento por poblaciones múltiples.

Tal programa debería considerar como meta definir especies prioritarias y completar para cada una de ellas, una población principal de 1.000 selecciones, divididas en 20 sublíneas con 50 selecciones cada una. Posteriormente, con el objeto de realizar mejoramiento genético se podrá conformar una población élite, donde se incluirían las mejores 40 selecciones evaluadas en plantaciones operacionales o ensayos disponibles. Esta última población es dinámica y transitoria, y sería sometida a un intenso desarrollo para maximizar las ganancias genéticas.

La propuesta presentada cumple con salvaguardar la variabilidad genética de las especies consideradas, asegurando la conservación de su potencial de adaptación ante las modificaciones ambientales, entre ellas las impuestas por el cambio climático, y constituye a su vez una base adecuada para desarrollar programas de mejoramiento genético tendientes al aprovechamiento económico y uso sustentable de los recursos genéticos forestales del país.

La implementación de una estrategia como la propuesta demandará la participación de distintas entidades vinculadas a la conservación y uso sustentable de los RGF, así como la definición de una instancia coordinadora que permita una mayor eficiencia de los esfuerzos y recursos comprometidos en su implementación.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es parte del desarrollo metodológico sobre conservación de Recursos Genéticos Forestales, iniciado el año 2007 en el CIFOR del INIA de Madrid, España, bajo la dirección del Dr. Ricardo Alía.

Los autores agradecen al Dr. Carlos Magni por sus sugerencias en el ámbito de genética poblacional y también al Sr. Santiago Barros por su contribución en la edición de este artículo.

REFERENCIAS

Araya, L. y Oyarzún, V., 2000. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Emhart, V. editores. Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Universidad Austral / Instituto Forestal. pp. 25-42.

Boshier, David y Michael Henson, 1997. Variación genética. En *Cordia alliodora*. Genética y mejoramiento de árboles, eds. David Boshier y A. T. Lamb, 43-70. Oxford: Oxford Forestry Institute.

Burdon, R. and Namkoong, G., 1983. Short Note: Multiple Population and Sublines. *Silvae Genetica*, 32, 5-6

CONAF, CONAMA, BIRF, 1999. Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales. 87 p.

Cornelius, Jonathan, Francisco Mesén, E. Correa y Michael Henson, 1996. Variation in Growth and Form of *Alnus acuminata* Kunth in Costa Rica. *Silvae Genetica* 45: 24-30.

Danell, O., 1993. Tree breeding strategy: are we too concerned conservationists but inefficient breeders? In: Proceedings of the Nordic group of tree breeding, October 1993, Edinburgh, Scotland. Forestry Commission. pp: 80-94.

EMBRAPA, 2006. El estado del arte de los recursos genéticos en las Américas: conservación, caracterización y utilización. Brasilia, DF, Brasil. 61 p.

Eriksson, G., G. Namkoong and J. H. Roberds, 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures. *Forest Ecology and Management* 62:15-37.

Eriksson, G., 2000. Red Europea de Conservación de Recursos Genéticos de Frondosas Nobles. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.: Fuera de Serie* nº 2-2000. p. 59-69.

Eriksson, G., Ekberg, I. y Clapham, D., 2006. An introduction to Forest Genetics. Second edition. Genetic Center. Department of Plant Biology and Forest Genetics, SLU. Uppsala. 188 p.

Ferreira, M. y Eriksson G., 2006. A Programme for the Management of Forest Tree Genetic Resources in the Azores Islands. *Silva Lusitana* 14 (1): 59-73.

Gallo, L., Pastorino, M. y Donoso, C., 2004. Variación en *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Ser et Bizzarri (Ciprés de la Cordillera). En: Donoso, C., Premoli, A., Gallo, L. y Ipinza, R. Variación Intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile. pp. 233- 251.

Gregorius, H.- R., 1980. The probability of losing an allele when diploid genotypes are sampled. *Biometrics* 36:643-652.

Hubert , J. y Cottrell, J., 2007. The role of Forest Genetic Resources in Helping British Forests Respond to Climate Change. Information Note, Forestry Commision Uk. 12 pp.

INIA-FAO, 2008. Segundo Informe país sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Chile 2008. Santiago, Chile. 74

Ipinza, R., 2000. Modelo Básico de Mejora Genética. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Emhart, V. editores. Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Universidad Austral / Instituto Forestal. pp. 197-213.

Ipinza, R. y Gutiérrez, B., 2000. Estrategia de Mejora Genética para *Nothofagus alpina* y *N. obliqua* en Chile. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Emhart, V. editores. Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Universidad Austral / Instituto Forestal. pp. 404-417.

Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors, 2007. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy. 111 pp.

Kremer, A., 2007. How well can existing forests withstand climate change? In: Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy. pp. 3–17.

LCSAR – MINAGRI – FIA, 2011. Sistema de Innovación de la Agricultura Chilena: Un Plan de Acción hacia el 2030. 68 p.

Lefèvre, F., 2007. Conservation of forest genetic resources under climate change: the case of France. In: Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy. pp. 95–101

Mátyás, C., 2007. What do old trials tell about the future use of forest reproductive material? In: Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy. pp. 53–69.

Müller - Using, S. y Martin, M., 2011. Manejo de los bosques para la mitigación del efecto invernadero. En: Ipinza, R y Barros, S. editors. El Cambio Climático los Bosques y la

Silvicultura. Instituto Forestal – MINAGRI. pp. 75-78.

Mullin, T. J., and Park, Y. S., 1995. Stochastic simulation of forest tree breeding populations: a user guide for POPSIM version 2.0.

Navarro, Carlos, Ward, Sheila y Hernández, Marvin., 2002. The Tree *Cedrela odorata* (*Meliaceae*): a Morphologically Subdivided Species in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 50: 21-29

Namkoong, G., 1976. A multiple index selection strategy. *Silvae Genet.* 25:199-201.

Namkoong, G., 1984. A control concept of gene conservation. *Silvae Genet.* 33:160-163.

OCDE, 2005. Evaluaciones del Desempeño Ambiental. Edición en español, Naciones Unidas, CEPAL 246 pp.

OCDE, 2011. Mejores políticas para el desarrollo: Perspectivas OCDE sobre Chile, OECD Publishing. 269 pp.

Ormazabal, C. y Benoit, I., 1987. El Estado de Conservación del Género *Nothofagus* en Chile. *Bosque:* 8(2): 109-120.

Parques para Chile, 2011. Las áreas protegidas privadas en Chile.

En: http://www.Parquesparachile.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=89&Itemid=117. (Consulta agosto, 2011).

Pliūra, A. and Eriksson, G., 1997. Sustainable gene conservation of *Pinus sylvestris* in Lithuania. *Baltic Forestry* 3(1):2-9.

Pliūra, A., 1999. European long-term gene conservation strategies Ash (*Fraxinus* spp.). En: Turok, J., J. Jensen, Ch. Palmberg-Lerche, M. Rusanen, K. Russell, S. de Vries and E. Lipman, compilers. 1999. Noble Hardwoods Network. Report of the third meeting, 13-16 June 1998, Sagadi, Estonia. International Plant Genetic Resources Institute, Rome. pp 12-25.

Pliūra, A., 2004. Possibilities for adaptation of *Alnus glutinosa* L. to changing environment. *BIOLOGIJA.* 2004. Nr. 1. P. 6–12.

Salazar, E., León, P., Rosas, M. y Muñoz, C., 2006. Estado de la conservación *ex-situ* de los recursos fitogenéticos cultivados y silvestres en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 156. Santiago, Chile. 180 p.

Varela, M. and Eriksson, G., 1995. Multipurpose gene conservation in *Quercus suber* a Portuguese example. *Silvae Genet.* 44:27-37.

Vergara, R., 2000. Regiones de Procedencia de *Nothofagus alpina* y *N. obliqua*. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Emhart, V. editores. Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Universidad Austral / Instituto Forestal. pp. 121-132.

MASIFICACIÓN CLONAL DE GENOTIPOS FORESTALES. Oriana Ortiz N, y Laura Koch Z. Investigadoras Instituto Forestal, Sede Bio Bio, Casilla 109 C, Concepción Chile. oortiz@infor.cl. lkoch@infor.cl.

RESUMEN

Los esquemas de propagación clonal utilizados en forma integrada con programas de mejoramiento genético, hacen posible amplificar las ganancias genéticas al propagar masivamente el mejor material generado en el programa. De esta manera, el uso de clones permite aumentar la productividad de las plantaciones forestales, mejorar la calidad y uniformidad del producto final y reducir la edad de cosecha.

Debido el enorme interés que concitan las ventajas productivas asociadas a la silvicultura clonal, las tecnologías de propagación vegetativa han experimentado un intenso desarrollo, tanto en el ámbito de las técnicas convencionales de propagación por estacas como de la biotecnología.

En este artículo se revisan y analizan los alcances y limitaciones de estos desarrollos, con énfasis en especies exóticas y nativas de interés económico para Chile.

Palabras clave: Propagación vegetativa, silvicultura clonal, biotecnología, mejoramiento genético.

SUMMARY

The clonal propagation schemes used in integrated form with improving breeding genetic programs make it possible to amplify the genetic gains to massively propagate the best material generated in the program. In this way, the use of clones lets increase the forest plantations productivity, improves the quality and uniformity of the final product, and reduces the crop age.

Due to the big interest that attracts the productivity benefits associated with clonal forestry, the vegetative propagation technologies have experimented an intense development, as much in the conventional techniques of propagation by cuttings as the biotechnology.

In this paper, are checked and analyzed the scope and limitations of these developments, with emphasis in exotics and native species of economical importance for the country.

Keywords: Vegetative propagation, clonal forestry, biotechnology, genetic improvement.

INTRODUCCIÓN

Las plantas tienen dos formas de reproducción, sexual por medio de semillas o asexualmente mediante tejidos vegetales. Ambas formas ocurren normalmente en la naturaleza; algunas plantas se reproducen principalmente en forma vegetativa mientras que otras sólo se reproducen a través de semillas. Ambas formas de reproducción conllevan diferencias genéticas, las semillas contienen genes recombinados del padre y de la madre, mientras que los propágulos vegetativos son genéticamente idénticos a la planta madre, desde donde fueron colectados (Schmidt, 1993).

La propagación vegetativa es posible gracias a una propiedad de los vegetales llamada totipotencialidad de las células, las cuales en su núcleo contienen toda la información genética, necesaria para regenerar al organismo completo del cual forman parte (Hartmann *et al.*, 1990; Cassells and Gahan, 2006).

Un clon se define como una población de individuos genéticamente idénticos, los cuales se han obtenido por medio de propagación vegetativa (Schmidt, 1993). La duplicación puede ser potencialmente infinita y el proceso permite la multiplicación a gran escala, a partir de un solo individuo; si éste es de características sobresalientes, su plantación también será de un valor superior.

Entonces, las ventajas productivas asociadas a la propagación vegetativa se asocian estrechamente a la calidad de los individuos que se están multiplicando. Por esta razón, actualmente, el uso de esta técnica es un componente esencial, de los programas de mejoramiento genético forestales (Zobel y Talbert, 1988). Debido al extenso ciclo de vida de los árboles, un programa clásico de mejora requiere de mucho tiempo para ser desarrollado, en este contexto la propagación vegetativa se convierte en una herramienta muy útil para el mejorador, pues permite capturar y transferir rápidamente las ganancias genéticas, obtenidas en cualquier etapa de los programas de mejoramiento a las plantaciones comerciales (Kleinschmit *et al.*, 1993; Mac Rae y Cotteril, 1997). Además, esta habilidad para capturar las ganancias genéticas (aditivas y no aditivas), permite la multiplicación a gran escala de plantas que exhiben combinaciones específicas de genes o plantas híbridas, las cuales es prácticamente imposible de reproducir mediante semillas (Potts *et al.*, 1992). Por esta razón, es posible obtener altas ganancias en aquellas características deseables, que por su baja heredabilidad, no se traspan eficientemente a la descendencia por vía sexual, como normalmente lo son el crecimiento, peso seco, contenido de celulosa y otros caracteres de interés forestal (Gutiérrez, 2005).

Desde el punto de vista de las plantaciones operacionales, se puede utilizar la especificidad de un clon para potenciar los rendimientos en un sitio específico o bien emplear clones de gran capacidad de adaptación a variadas condiciones de sitio. De esta manera, la silvicultura clonal permite aumentar la productividad de los sitios forestales, mejorar la calidad y uniformidad del producto final y reducir la edad de cosecha (Carpineti, 2005; Libby y Rauter, 1984).

No obstante, la tecnología no se encuentra exenta de riesgos, ya que el uso de clones implica una menor variabilidad genética, que ante condiciones climáticas

inesperadas (heladas, secías) o el ataque de plagas y enfermedades, puede resultar en pérdidas catastróficas, si no se utilizan estrategias adecuadas de silvicultura clonal y una retroalimentación de nuevas fuentes de variación, en el contexto de programas de mejoramiento genético (Carpinetti, 2005; Ahuja y Libby, 1993).

Durante las últimas décadas, las tecnologías de propagación vegetativa han experimentado un intenso desarrollo, haciendo realidad la silvicultura clonal en especies de importancia comercial como pinos y eucaliptos, además de numerosos híbridos (Bettinger *et al.*, 2009; Assis, 2011). No obstante, aún persisten barreras biológicas que inciden sobre los procesos de clonación, la más seria se relaciona con la maduración de los tejidos vegetales en árboles adultos y su propagación vegetativa, la cual es muy difícil para algunas especies y prácticamente imposible en otras (Rodríguez *et al.*, 2005). Este constituye un gran problema para los programas de mejoramiento, ya que a la edad en que los árboles son seleccionados, en base a las características que se pretenden mejorar o perpetuar, estos ya han perdido su capacidad de enraizamiento (Gutiérrez, 1995). En consecuencia, es muy importante prestar especial atención a las distintas alternativas que se han desarrollado para superar este problema, ya que de su eficacia dependerá la obtención de los beneficios esperados de la propagación vegetativa.

Otra limitante que restringe la aplicación operacional de la propagación clonal, es el mayor costo de las plantas clonadas en relación a las producidas mediante semillas, por efecto de la mayor manipulación e infraestructura requerida por las técnicas de propagación vegetativa hasta hoy desarrolladas. Dependiendo del grado de complejidad, éstas se agrupan en dos categorías, la primera comprende los métodos convencionales también llamados de macropropagación y la segunda comprende a tecnologías biotecnológicas de organogénesis y embriogénesis somática, a las cuales se les denomina genéricamente como micropropagación. El gran interés que concitan las ventajas productivas asociadas a la clonación ha conducido a un continuo perfeccionamiento de las diversas técnicas de propagación vegetativa, haciéndolas cada día más eficaces y competitivas, de manera de hacer factible su adopción y aplicación comercial, por parte del sector productivo.

JUVENILIDAD, ENVEJECIMIENTO Y PROPAGACIÓN VEGETATIVA

Los árboles, durante su etapa juvenil exhiben una gran facilidad de propagación y manipulación, por las técnicas de clonación hasta ahora conocidas. Sin embargo, esta aptitud se pierde progresivamente a medida que se produce el crecimiento del árbol y la consecuente maduración de sus tejidos vegetales. Este fenómeno se produce en la mayoría de las especies forestales, a excepción de especies como álamos y sauces, en cuya evolución han desarrollado estructuras especiales que les permiten un fácil arraigamiento de segmentos de ramas o tallos.

La eficacia de los esquemas de propagación clonal, se encuentra estrechamente ligada a la calidad de los árboles que se están utilizando, sin embargo esta calidad puede ser evaluada inequívocamente sólo cuando el árbol ha crecido y demostrado su superioridad en condiciones de campo. Entonces, ante esta situación surge el desafío de propagar vegetativamente a genotipos, cuyos tejidos maduros han perdido su capacidad de enraizamiento.

El cambio de fase del estado juvenil al adulto y el envejecimiento en especies forestales ha sido objeto de estudio desde hace muchos años, sin embargo el conocimiento de los mecanismos implicados es aún muy limitado (Rodríguez *et al.*, 2005).

Varias hipótesis han sido propuestas para explicar las diferencias que se producen entre las distintas fases del desarrollo de los árboles, según Hartmann *et al.* (1990) éstas se basarían en aspectos relacionados con el crecimiento celular del árbol, el control hormonal y la aislación celular. La primera se refiere a la forma en que las plantas crecen; a diferencia de los animales cuyas células se renuevan continuamente, en los vegetales las células formadas por las divisiones mitóticas de los meristemas, se van acumulando sobre las anteriores, formando y expandiendo de esta manera la arquitectura del árbol. Entonces, los tejidos localizados en la periferia del árbol, han experimentado un mayor número de divisiones celulares y por lo tanto son fisiológicamente más maduros y serían epigenéticamente diferentes. Esto explica la paradoja en la cual los tejidos ubicados próximos a la base del árbol, que cronológicamente son los tejidos de mayor edad, en realidad son los más juveniles en términos de edad fisiológica; por el contrario los tejidos cercanos a los extremos apicales de las ramas, que cronológicamente son los de menor edad, fisiológicamente son los más maduros (Bonga, 1982). Esta propiedad, ha sido ampliamente utilizada para iniciar programas de propagación clonal a través del enraizamiento de estacas obtenidas de rebrotes de tocón, particularmente en *Eucalyptus*, o bien para mantener la juvenilidad por medio de podas frecuentes de setos o plantas madres donadoras de propágulos, en programas de estaquillado (Chaperon, 1983).

Por otro lado, es ampliamente aceptado que las hormonas vegetales cumplen un rol fundamental en los procesos de maduración y su reversión. Se ha observado que la injertación de material adulto sobre plantas juveniles generalmente induce un aumento del vigor vegetativo de la púa (sección superior del injerto), el cual puede ser incrementado gradualmente con la realización de injertos sucesivos sobre el material inmediatamente anterior (Greenwood, 1987). Este efecto se produciría por la translocación de sustancias hormonales desde las hojas juveniles del portainjerto o patrón hacia la púa, además de cierta influencia por parte de las raíces, que contribuirían a retener las características de la fase juvenil de los árboles (Hartmann *et al.*, 1990). Se ha determinado también que reguladores del crecimiento, como el ácido abscísico, giberelinas y citoquininas, pueden ser utilizados para manipular procesos de revigorización y rejuvenecimiento. Se considera a la citoquinina benciladenina (BA), como una de las moléculas antienvjecimiento más importantes, la cual puede ser aplicada tanto en procedimientos de aplicación externa como en cultivos *in vitro* para promover revigorización; en éstos últimos induce desarrollo de yemas axilares y, dependiendo de su concentración en los medios de cultivo, puede inducir la formación de yemas adventicias que a menudo demuestran "rejuvenecimiento total" (Rodríguez *et al.*, 2005). Por esta razón, se identifica a las técnicas de micropropagación, particularmente la organogénesis somática, como una de las vías más eficaces para la reversión y mantención de la juvenilidad fisiológica en árboles adultos (McComb y Bennet, 1986; Francllet *et al.*, 1987).

Un tercer enfoque, sugiere que las células de los meristemas apicales se encuentran influenciados por las células diferenciadas que se encuentran inmediatamente a su alrededor, entonces cuando la célula es desconectada y aislada de éstas últimas,

es posible inducir su reversión a un estado juvenil (Hartmann *et al.*, 1990; Gahan, 2007). Se ha demostrado que es posible obtener embriones somáticos a partir de una célula que ha sido regenerada a partir del cultivo *in vitro* de callos, suspensiones celulares o protoplastos y de células aisladas mecánicamente (Gahan y George, 2008). El cultivo de meristemas (miniaturización) de árboles adultos, de igual forma elude el efecto de la madurez de los tejidos, y puede regenerar plantas que presentan características juveniles (Meynier, 1985; Monteuis, 1991; Beck *et al.*, 2000). Aún cuando ambos procedimientos han sido identificados como altamente eficaces para inducir rejuvenecimiento, en el caso de la embriogénesis somática e inducción de brotes adventicios, particularmente en árboles adultos de especies leñosas, no se conocen con profundidad los mecanismos de control de los procesos involucrados y, por tanto, su aplicación con fines prácticos es aún muy limitada. Por otro lado, la dificultad que presenta la manipulación de meristemas de árboles adultos, es un serio inconveniente para su aplicación en forma extensiva (Rodríguez *et al.*, 2005).

El mismo autor señala, que los estados de madurez y rejuvenecimiento no han podido ser caracterizados y se conoce muy poco de las bases moleculares de estos procesos; tampoco ha sido posible establecer marcadores generales que identifiquen fases juveniles y adultas. No obstante, la falla en lograr adecuados procesos de revigorización o rejuvenecimiento conlleva la ocurrencia de los fenómenos de topófisis y ciclófisis, que implican el crecimiento del individuo según la posición que ocupaba en la planta madre (forma de rama) o de la de edad esta al tomar el propágulo; además de crecimiento plagiotrópico (crecimiento horizontal), (Kleinschmit, 1977; Roulund y Olesen, 1992).

Un aspecto fundamental a tener en cuenta, para asegurar el éxito de un programa de propagación clonal, es disponer de alternativas para hacer frente al problema de la pérdida de la capacidad de enraizamiento de los genotipos de interés, mientras se evalúa su valor productivo en ensayos de campo (Pâques *et al.*, 2002). De otra manera, el programa deberá contemplar sólo a individuos juveniles, aceptando los riesgos asociados a la selección temprana, la cual si bien puede ser apropiada para aquellas características que no manifiestan gran variación en su expresión durante el desarrollo del árbol, resulta totalmente ineficiente para aquellas que exhiben cambios importantes. Entre estas últimas se encuentran características fundamentales, como la tasa de crecimiento, propiedades mecánicas de la madera y algunas variables morfológicas, las cuales se expresan en distinta forma cuando el individuo pasa de la etapa juvenil a la fase adulta (Gutiérrez, 1995).

Actualmente, existen variadas alternativas que ayudan a resolver el problema de la maduración de los tejidos, la elección de una u otra dependerá de la especie, nivel de riesgo a tomar y capital de inversión. Estas básicamente, contemplan el manejo de setos en bancos clonales o sistemas hidróponicos, técnicas de rejuvenecimiento de árboles adultos y utilización de preservación de germoplasma en condiciones *in vitro*. Las técnicas de rejuvenecimiento, más utilizadas en los programas de propagación clonal, corresponden al enraizamiento de rebrotes de tocón y organogénesis somática. En el primer caso, surge el inconveniente que no todas las especies manifiestan esta característica, además no siempre es posible inducir la retoñación de los tocones, como tampoco volver a obtener las tasas de enraizamiento originales del estado juvenil; lo

cual puede conducir a la pérdida de genotipos valiosos del programa. La organogénesis somática, es una de las mejores técnicas para lograr este objetivo, su principal inconveniente es el extenso período de tiempo requerido, ya que es necesario al menos un año de subcultivos sucesivos, para que se produzca rejuvenecimiento en tejidos maduros. Adicionalmente, factores relacionados con la contaminación endógena y características fisiológicas inherentes al clon, limitan la eficacia de esta técnica (Le Roux y Van Staden, 1991). Ante esta situación, y para evitar las dificultades señaladas, la situación ideal es utilizar técnicas que efectivamente, preserven la juvenilidad de los clones de interés.

El manejo de setos, ya sea en bancos clonales o en sistemas de hidroponía bajo condiciones de invernadero, si bien constituye hoy en día un componente esencial de muchas de las estrategias de mejoramiento genético y propagación comercial, resulta ser de alto costo debido a la intensa manipulación a la que se debe someter el material vegetal. Además, la técnica no se encuentra exenta de riesgos, ya que factores como el ataque de agentes patógenos o el cambio repentino de las condiciones ambientales, pueden provocar pérdidas catastróficas (Watt *et al.*, 2000). Adicionalmente, los setos también sufren de procesos de envejecimiento, los cuales son controlados a través de una adecuada reposición de las plantas.

Al respecto, diversos autores señalan que las técnicas de conservación *in vitro*, particularmente la crio preservación resultan ser muy apropiadas para minimizar tales riesgos y que deben ser consideradas en este tipo de programas (Engelmann, 1997; Watt *et al.*, 1997, 2000; Rao, 2004). La mantención de germoplasma *in vitro* involucra su almacenamiento bajo condiciones de mínimo crecimiento, asegurando su viabilidad y estabilidad genética.

Básicamente, existen dos métodos de almacenamiento *in vitro*, mediante la aplicación de técnicas de crecimiento retardado o bien mediante el almacenamiento en nitrógeno líquido (crio preservación). La primera se refiere a procedimientos orientados a reducir el crecimiento de los cultivos *in vitro*, de esta manera se aumenta el período de tiempo entre subcultivos, sin provocar efectos adversos en el material vegetal conservado. El segundo método corresponde a la crio preservación, la cual involucra la mantención del material vegetal a temperaturas sub cero (usualmente -196 °C). A esta temperatura, la actividad metabólica es efectivamente detenida, permitiendo teóricamente el almacenamiento por períodos ilimitados de tiempo.

La ciencia de la crio preservación ha progresado significativamente durante las últimas tres décadas, contando hoy en día con numerosas especies agrícolas y silvestres, que son conservadas de esta manera (Engelmann, 1997; Benson y Bremer, 2004; y Dixit *et al.*, 2004). También, se han desarrollado numerosos protocolos para varias de las especies forestales de interés comercial, como *Pinus* (Häggman *et al.*, 1998; Marum *et al.*, 2005; Hargreaves y Menzies, 2007) y *Populus* (Lambardi *et al.*, 2000 y Jokipii *et al.*, 2004).

La crio preservación ofrece varias ventajas, es un método rápido, relativamente sencillo, no altera la estabilidad genética del material, reduce los costos (menor manipulación), requiere poco espacio y evita los riesgos fitopatológicos y fisiológicos

que se presentan en los bancos de germoplasma vegetales, tanto *in vivo* como *in vitro* (Engelmann, 2000; Rao 2004; Padayachee *et al.*, 2009).

Pâques *et al.*, (2002) señalan que esta técnica, es particularmente adecuada para mantener los tejidos de especies leñosas en un estado juvenil, de otra manera ellas pierden rápidamente su capacidad de enraizamiento con la edad. De esta manera, los genotipos selectos de un programa de mejoramiento pueden ser almacenados en su estado juvenil en nitrógeno líquido, tanto tiempo como sea necesario, para evaluar su valor productivo en ensayos de campo.

Generalmente, la crio preservación de tejidos vegetales es más fácil en cultivos de células no organizadas y más difícil en estructuras altamente organizadas (Wang *et al.*, 1993). Watt *et al.* (2000) indican que mientras no se desarrollen protocolos efectivos de embriogénesis somática, los cultivos derivados de organogénesis serán necesariamente los más apropiados para la crio preservación.

En general, especies de climas templados exhiben una mejor respuesta a la crio preservación que especies de climas tropicales, lo cual se explicaría por mecanismos fisiológicos de adaptación al frío desarrollados por las primeras (Reed *et al.*, 2000). En esta misma categoría, existen diferencias entre especies e incluso entre genotipos de la misma especie; esta variación en la habilidad de sobrevivir a la congelación implica que no hay un método universal para la crio preservación. Por esta razón, es necesario desarrollar y optimizar varios métodos de preparación del material vegetal, basados en su tolerancia natural a la desecación y congelamiento (Padayachee *et al.* 2009).

Actualmente, existen varios métodos bien establecidos que pueden ser aplicados en la preparación del material a crio preservar, los cuales se basan en el principio que el contenido de agua debe ser reducido a niveles tales, que la formación de cristales de hielo sea minimizada (Engelmann, 2000). Entre ellos, se puede distinguir los métodos llamados de "encapsulación-deshidratación", "vitrificación", "vitrificación-encapsulación", "congelación rápida", "congelación lenta" y un sinnúmero de variantes y diversas combinaciones de ellos.

En base a lo anteriormente analizado, es claro que la crio preservación se configura como una de las mejores técnicas para asegurar, la mantención del estado de juvenilidad de los genotipos de interés, mientras se evalúa su desempeño en los ensayos de campo, por lo tanto es una técnica que debiera contemplarse en programas de propagación clonal, de envergadura comercial.

AVANCES EN MACROPROPAGACIÓN

La regeneración de plantas a partir de bulbos, rizomas, acodos, tubérculos, estolones, esquejes o estaquillas e injertos, entre las más comunes, se les conoce como técnicas convencionales de propagación vegetativa. En el caso de las especies forestales, el enraizamiento de estacas es la técnica más utilizada a nivel mundial, para la producción masiva de plantas clonadas. Las características biológicas propias de las plantas leñosas, la gran cantidad de descendientes que se puede obtener de un árbol individual, la facilidad de manipulación y el menor costo en relación a los sistemas de

micropropagación, explican la amplia preferencia por esta técnica (Gutiérrez *et al.*, 1994; Gutiérrez, 1998).

A excepción de álamos y sauces, en las demás especies el estaquillado funciona sólo en plantas juveniles o material que exhiba un alto grado de rejuvenecimiento (revigorización). La técnica es muy simple y consiste básicamente en cortar segmentos de tallos y colocarlos a enraizar en un sustrato que provea condiciones adecuadas de humedad y aireación; dependiendo de la especie se requiere de la aplicación exógena de auxina en la base de la estaca, comúnmente IBA (Ácido Indolbutírico) y completar el proceso de rizogénesis en condiciones de invernadero, donde las variables ambientales, como temperatura, humedad relativa e inclusive el fotoperíodo puedan ser controladas. En algunos casos se utilizan camas calientes, ya que el gradiente de temperatura que se produce en la estaquilla, favorece el enraizamiento, especialmente en los meses de invierno. Un adecuado manejo fitosanitario, es esencial, ya que los cortes efectuados en las estacas y las condiciones ambientales durante el enraizamiento, favorecen el desarrollo de patógenos.

En los programas de propagación a gran escala, es necesario disponer de un área de cultivo de plantas productoras de propágulos, ya sea en condiciones de campo o invernadero, de un tamaño tal que satisfaga los requerimientos de las operaciones de estaquillado. A estas plantas se les denomina comúnmente setos o plantas madres; durante el último tiempo y especialmente en *Eucalyptus*, se a puesto especial atención a su manejo, sobre todo el mantener un fuerte control sobre las condiciones de crecimiento; ya que de ello depende el disponer de estacas cuyo estado nutricional y condiciones fisiológicas, sean óptimas para enfrentar los delicados procesos de enraizamiento (Assis *et al.*, 2004).

A pesar del enorme esfuerzo dedicado para entender y manipular los mecanismos involucrados en el enraizamiento, aún se conoce muy poco acerca de cómo se producen exactamente los procesos internos, que conducen a la formación de un nuevo sistema radicular. Se reconoce que la rizogénesis adventicia en estacas de tallo es un proceso único y complejo, que involucra respuestas al estrés asociado a las heridas provocadas por los cortes, cambios en las relaciones hídricas de la planta y pérdida de la influencia sobre los procesos bioquímicos del sistema radicular original (Haissig, 1986). El enraizamiento, probablemente se encuentra regulado por la interacción de múltiples factores, relacionados con las hormonas vegetales, carbohidratos, compuestos fenólicos, estado de la planta madre (condiciones nutricionales, agua y luz) y características genéticas del clon. En esta área del conocimiento, se han registrado avances significativos en el campo de la fisiología y el estudio de mutantes, más recientemente el desarrollo de la genómica funcional ha permitido detectar ciertos genes involucrados en los procesos de enraizamiento y síntesis de las auxinas (Assis *et al.*, 2004). Estos avances, abren nuevas y prometedoras posibilidades de aplicación para mejorar los procesos y superar las limitaciones, que imponen los actuales sistemas de enraizamiento, de numerosas especies forestales de interés económico.

En el país, actualmente existen programas de propagación y silvicultura clonal en pino radiata, eucaliptos y álamos, además se han registrado progresos significativos en la

desarrollo de estas tecnologías para *Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia* spp. y *Nothofagus alpina*, las cuales cuentan con programas de mejoramiento genético en un distinto grado de desarrollo, dependiendo de la especie.

Las estrategias de propagación de *Pinus radiata*, debido a que es una especie que no rebrota por tocón y el rejuvenecimiento de tejidos maduros es muy difícil si no imposible, se han basado en la preservación del estado juvenil ya sea mediante setos o aplicaciones biotecnológicas, durante el tiempo necesario para evaluar la calidad de los genotipos (Hargreaves y Menzies, 2007). Una vez establecido este parámetro, se procede a propagar masivamente los genotipos mediante enraizamiento de estacas, también denominadas *cuttings*. En esta especie particularmente, el estaquillado ha resultado ser una técnica simple y muy eficiente que obtiene elevadas tasas de enraizamiento (Sánchez *et al.*, 2008). La producción de *cuttings* puede ser efectuada tanto en contenedores como a raíz desnuda, sin necesidad de contar con una sofisticada infraestructura. Actualmente, las grandes empresas forestales, cuentan con avanzados programas de mejoramiento en esta especie, que abastecen de material mejorado a las unidades de producción de plantas, las cuales en una muy alta proporción se producen en base a *cuttings*. Esta tecnología, en forma incipiente pero progresiva, ha sido adoptada por viveros forestales, que abastecen de plantas a pequeños y medianos propietarios¹.

En la especie *Eucalyptus globulus*, si bien es posible rejuvenecer tejidos adultos mediante el enraizamiento de rebrotes de tocón u organogénesis somática, su principal limitante se relaciona con la baja proporción de clones que exhiben porcentajes de enraizamiento compatibles con programas de propagación operacional, cuyo límite inferior se sitúa alrededor del 40-70 % de enraizamiento, dependiendo de la calidad genética del genotipo. En general, el estaquillado de las especies de *Eucalyptus*, requiere de un mayor nivel de infraestructura y desarrollo tecnológico para producir *cuttings* en una relación costos/beneficio competitiva. Una innovación que mejoró sustancialmente la propagación de *Eucalyptus*, fue el uso de miniestacas obtenidas de plantas madres, que son intensivamente manejadas en sistemas de hidroponía o camas de arena y mantenidas en invernaderos bajo un fuerte control de las variables de crecimiento y producción de brotes.

En el país los programas de mejoramiento genético para *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*, se encuentran radicados en las grandes empresas forestales y en el Instituto Forestal, la utilización de propagación vegetativa en la producción de plantas de *E. globulus* es importante pero no ha llegado a competir con el uso de semillas, en parte por las ventajas que ofrece la semilla obtenida de cruzamientos controlados (silvicultura familiar) (Li *et al.*, 2007) y porque es necesario mejorar y depurar aún más las técnicas de propagación de tal manera que sea factible multiplicar los clones más productivos. La técnica de enraizamiento de estacas no ha sido utilizada extensivamente para *E. nitens*, debido a la escasa proporción de individuos, que presentan una buena aptitud para el enraizamiento en esta especie (Gutiérrez *et al.*, 2004).

El cultivo de álamos, si bien no es extensivo en el país debido a los exigentes

1 Leopoldo Quezada, Gerente vivero forestal Proplantas Ltda.

requerimientos de sitio de esta especie, resulta ser muy interesante por los altos rendimientos volumétricos, edad de rotación y excelente aptitud para integrar sistemas agroforestales. El álamo, manejado bajo esquemas de silvicultura clonal, registra rendimientos volumétricos cercanos a los 300 m³/ha, a los 14 años de edad. La Compañía Agrícola y Forestal el Álamo, mantiene una base genética de aproximadamente 50 clones, utilizando ocho de ellos a nivel operacional, uno para cada tipo de producto que se fabrica, en sus instalaciones².

Eucalyptus camaldulensis, es una especie que se adapta bien a climas áridos y semiáridos del norte de Chile, por esta razón el Instituto Forestal mantiene un programa de mejoramiento genético y ha desarrollado estrategias de propagación clonal, con el objetivo de masificar a los mejores genotipos del programa (Gutiérrez, 2005). En general, esta especie es relativamente fácil de reproducir por estacas, por esta razón resulta muy atractiva para los programas de hibridación, dada la posibilidad de traspasar esta cualidad a otras especies o clones de difícil enraizamiento. Actualmente, se evalúan ensayos clonales con el objetivo de determinar el desempeño de los árboles plus, en diferentes condiciones de sitios (Molina *et al.*, 2010).

En el caso de acacias, el Instituto Forestal se encuentra desarrollando un programa para promover su utilización en el país. En este contexto se han seleccionado árboles superiores y se han probado técnicas de propagación vegetativa para su propagación, utilizando inicialmente material rejuvenecido de rebrotes de tocón o bien plantas micropropagadas. La especie *Acacia melanoxylon*, mostró los mejores resultados de enraizamiento empleando estacas obtenidas de plantas madres y aunque en menor magnitud las especies *A. mearnsii* y *A. dealbata* también demostraron aptitud para su propagación clonal (Pinilla *et al.*, 2010).

En el marco del escalamiento del programa de mejoramiento genético de la especie nativa raulí (*Nothofagus alpina* Poepp. *et* Endl.), se evaluó el enraizamiento de estacas confeccionadas a partir de material rejuvenecido por micropropagación (Ortiz y Gutiérrez, 2005). Se observó, que la respuesta rizogénica no es influenciada significativamente por la dosis de IBA aplicada, como tampoco un efecto clonal importante. En estacas apicales no lignificadas, se lograron los mejores resultados de enraizamiento (70-90 %). Las características de las estacas, que deben ser de tejido blando, limita la aplicación de esta técnica debido a que los tallos de las plantas madres de esta especie suelen lignificarse muy rápidamente.

AVANCES EN MICROPROPAGACIÓN

Micropropagación es un término usado para referirse a la propagación vegetativa realizada en condiciones *in vitro*, usando técnicas de organogénesis y/o embriogénesis somática.

La organogénesis somática, implica la diferenciación monopolar de un órgano

² Comunicación personal, Fernando Stevens, Gerente Administrador Complejo Copihue, Compañía Agrícola y Forestal el Álamo.

para dar origen a una planta bajo condiciones estériles de laboratorio. Usualmente, la diferenciación monopolar ocurre al colocar un explante (segmento nodal o apical y meristemas) en un medio nutritivo enriquecido con sustancias hormonales (citoquininas/auxinas). Los cultivos son mantenidos durante todo el proceso de multiplicación en ambientes controlados con iluminación artificial, fotoperíodo y temperatura. Cuando los brotes alcanzan un tamaño adecuado, se colocan en un medio con auxinas para inducir enraizamiento y posteriormente se realiza la aclimatación de las vitroplantas, a condiciones *ex vitro*. El proceso es influenciado por el genotipo, estado fisiológico del explante, edad y condiciones *in vitro* de luz, temperatura y constitución del medio nutritivo, en especial de las concentraciones hormonales (Ahuja, 1983).

La organogénesis somática es una alternativa muy útil cuando no se obtienen buenos resultados mediante enraizamiento de estacas, se requiere aumentar la tasa de multiplicación, y en el caso de árboles adultos para revertir y mantener su juvenilidad fisiológica (McComb y Bennet, 1986). También, es adecuada para la conservación en un estado juvenil de genotipos forestales, mediante la utilización de técnicas de crecimiento retardado.

Uno de los aspectos más difíciles de abordar, en la organogénesis de árboles adultos, es la introducción de material aséptico, a condiciones *in vitro*. En general, la desinfección de brotes colectados directamente en terreno es difícil, debido a la gran cantidad de contaminación tanto exógena como endógena presente en este material (De Fossard *et al.*, 1977). Según, Le Roux y Van Staden (1991) es virtualmente imposible esterilizar este material sin dañar severamente el tejido de los explantes iniciales. La edad del material es un factor importante que condiciona el establecimiento de cultivos asépticos (Grewal *et al.*, 1980), idealmente éste debiera tener muchas de las cualidades encontradas en brotes juveniles, por esta razón es común emplear técnicas de pretratamiento del material adulto, con el fin de obtener explantes iniciales adecuados para el cultivo *in vitro*. Se han establecido cultivos asépticos de árboles adultos, a partir de rebrotes de tocón (Furze y Cresswell, 1985), brotes de injertos (Franclét y Boulay, 1982; Durand-Cresswell *et al.*, 1982; Goncalves, 1980), brotes epicórmicos (Oller *et al.* 2004, Ikemori, 1987), brotes de estacas enraizadas y brotes de ramas pretratadas, en especies caducifolias (Sabja *et al.*, 2005; Ortiz *et al.*, 2006a).

La embriogénesis somática, consiste en la formación de un embrión somático, a partir de una o varias células, a diferencia de la organogénesis, origina embriones bipolares, es decir genera en forma simultánea la parte aérea y radicular de una plántula, a través de una serie de etapas similares a la formación de embriones zigóticos (Thorpe *et al.*, 1991). Potencialmente las ventajas de esta técnica son sus altos coeficientes de multiplicación, la posibilidad de automatización del proceso en bioreactores y la generación de semilla artificial mediante la encapsulación de los embriones. Un aspecto particularmente interesante, es la gran aptitud de los embriones para su almacenamiento en nitrógeno líquido (Wang *et al.*, 1993). En base a estas potencialidades, se ha identificado a la embriogénesis somática como una de las técnicas que presenta las mejores opciones para reducir el costo de producción de las planta regeneradas vegetativamente. Sin embargo, especialmente en árboles adultos, aún no se domina suficientemente los mecanismos que regulan estos procesos, lo cual incide en la baja eficiencia de los protocolos desarrollados,

consecuentemente su utilización con fines productivos es aún muy limitada y se requiere de mucha más investigación para hacer realidad las ventajas que esta técnica ofrece (Yeung *et al.*, 1996).

En el campo de la ingeniería genética la micropropagación, particularmente la embriogénesis somática, constituye la plataforma de propagación de las plantas transformadas; esto significa que el desarrollo de árboles modificados genéticamente depende de la disponibilidad de sistemas eficientes y reproducibles de micropropagación (Campbell *et al.*, 2003).

En el país, se han desarrollado protocolos de micropropagación para muchas de las especies forestales de interés económico, sin embargo su utilización comercial se ve impedida por el alto costo de producción de las plantas. Una alternativa que se ha planteado es la utilización de bioreactores, como el sistema denominado RITA (Recipientes de Inmersión Temporal Automáticos), el cual ha permitido aumentar considerablemente las tasas de multiplicación y reducir los costos de producción en varias especies (Aitken-Christie *et al.*, 1995), aunque en el país no se han reportado aplicaciones de carácter comercial, en especies forestales.

Actualmente, la micropropagación en el área forestal del país, es utilizada principalmente para conservar genotipos en estado juvenil, producir plantas madres para los programas de estaquillado y dependiendo de la especie, rejuvenecer tejidos de árboles adultos selectos.

En pino radiata, se utiliza la embriogénesis somática de tejidos inmaduros para crio preservar líneas embriogénicas; una vez probada la superioridad de los genotipos, estos se reproducen mediante micropropagación, para generar vitroplantas que serán multiplicadas masivamente en los programas de estaquillado. En el caso de *Eucalyptus globulus*, la baja eficiencia de los protocolos de embriogénesis somática y las limitaciones impuestas por la reducida capacidad rizogénica de gran parte de los genotipos de esta especie, determinan que la micropropagación sea utilizada casi exclusivamente para la producción de plantas madres, con el propósito de abastecer los programas de estaquillado. En esta especie, el enraizamiento de rebrotes de tocón, es el sistema comúnmente utilizado para rejuvenecer árboles adultos, aunque también ha sido posible regenerar plantas rejuvenecidas mediante organogénesis, empleando brotes epicórmicos como material de inicio de los cultivos *in vitro* (Ortiz y Koch, 2010).

La especie nativa raulí (*Nothofagus alpina* Poepp. *et* Endl.), ha mostrado una capacidad de regeneración extraordinaria en la organogénesis de brotes apicales de árboles adultos (Sabja *et al.*, 2005 y 2008) y embriogénesis somática de cotiledones aislados del eje embrionario (Castellanos *et al.*, 2005). En el cultivo *in vitro* mediante organogénesis, la especie se caracteriza por presentar altas tasas de multiplicación, facilidad de enraizamiento y elevadas tasas de sobrevivencia al proceso de aclimatación, cualidades que la hacen especialmente apropiada para su propagación mediante bioreactores. Actualmente, se preservan 39 clones de árboles *plus* de alto valor genético y de conservación, en un Banco de Germoplasma *in vitro* que mantiene el Instituto Forestal. Este material, se mantiene utilizando técnicas de crecimiento retardado, que ha permitido

que, luego de 6 años de permanecer en condiciones *in vitro*, los clones mantengan su estado juvenil, sin registrar declinación de su tasa de proliferación ni de su potencial de enraizamiento (Ortiz *et al.*, 2010).

La lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. *et* Endl.) Krasser), es una de las especies nativas más importantes del país, cuenta hoy en día con un programa de mejoramiento y conservación genética que se encuentra en desarrollo, como una medida para acelerar la utilización de las ganancias genéticas asociadas a los árboles *plus* de lenga se desarrollaron protocolos de micropropagación de individuos selectos de esta especie (Ortiz *et al.*, 2006a).

En la especie *Acacia melanoxylon* R. BR., se propagaron *in vitro* arboles superiores, utilizando brotes epicórmicos como material de inicio de cultivos que, a diferencia del empleo de rebrotes de tocón, es un método no destructivo del árbol original y, además, técnicamente es menos complejo que el cultivo de meristemas. Los resultados obtenidos en cuanto a tasas de multiplicación, enraizamiento y aclimatación de plantas hacen viable la utilización del protocolo desarrollado para la producción de plantas de alto valor genético (Ortiz *et al.*, 2006 b).

Árboles superiores de la especie castaño (*Castanea sativa* Miller), fueron regenerados mediante organogénesis, a partir de brotes apicales pretratados, recolectados en el mes de agosto cuando las yemas aún se encontraban cerradas. Estos clones fueron seleccionados con fines de producción de madera, en base a sus características fenotípicas de crecimiento en volumen y rectitud de fuste (Delard *et al.*, 2007).

Eucalyptus camaldulensis mostró una alta aptitud para regenerar plántulas por medio de procesos de organogénesis, cualidad que permitió establecer un protocolo de micropropagación de árboles adultos para esta especie, la cual muestra un gran potencial de proliferación, buena elongación de brotes y procesos sencillos de enraizamiento y aclimatación. No se observó un efecto de tipo clonal, en cuanto a la capacidad de enraizamiento, de los distintos clones regenerados. Las vitroplantas producidas fueron utilizadas como plantas madres para la multiplicación de los genotipos mediante técnicas de estaquillado convencional (Gutiérrez *et al.*, 2005). Los clones micropropagados se mantienen bajo un sistema de crecimiento retardado *in vitro*, para mantener su juvenilidad en el mediano plazo.

CONCLUSIONES

La maduración de los tejidos de árboles adultos, constituye una seria limitante para alcanzar los beneficios que promete la propagación vegetativa, utilizada como elemento de transferencia de las ganancias genéticas de los programas de mejoramiento forestal.

No obstante y haciendo usos de las características biológicas y de regeneración propias de las plantas, en conjunto con técnicas de micropropagación, particularmente la organogénesis somática, es factible técnicamente superar esta limitación, aunque la mejor opción sigue siendo la preservación del estado juvenil de los genotipos, idealmente mediante crio preservación.

La combinación de las técnicas de macro y micropropagación ha permitidos desarrollar eficientes sistemas de propagación vegetativa, a un costo que ha hecho factible su utilización comercial, en varias de las especies forestales de interés económico del país, no obstante se prevén significativos desarrollos tecnológicos, especialmente en micropropagación, que con seguridad incrementaran su competitividad y aplicación extensiva, en los sistemas de producción de plantas forestales del futuro.

REFERENCIAS

- Ahuja, M., 1983.** Micropropagation à la carte. In: Micropropagation of woody plants, Forestry Science. V.41. Ahuja M.R. (Ed). Kluwer Academic Publishers. Pp: 3-9.
- Ahuja, M. R. and Libby, W. J., 1993.** Clonal Forestry 1: Genetics and Biotechnology. Springer-Verlag, Berlin, 240 p.
- Aitken-Christie, J., Kosal, T. and Takayama, S., 1995.** Automation in plant tissue culture. General introduction and overview. p. 1-18. In: Automation and environmental control in plant tissue culture. Aitken-Christie, J.; Kozai T. and M.A.L. Smith (Eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Assis T. F. 2011.** Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the *Eucalyptus* clonal forestry. From IUFRO Tree Biotechnology Conference 2011: From Genomes to Integration and Delivery Arraial d'Ajuda, Bahia, Brazil. 26 june - 2 july, 2011.
- Assis, T. F., Fett-Neto, A. G. and Alferas . A. C., 2004.** Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. In: Proceedings of Plantation Forest Biotechnology for the 21st century. Fort P. O.; Carson M. and C. Walter (Eds). Research Signpost 37/661 (2), Kerala, India. Pp.: 303-333.
- Beck, S., Dunlop, R. y Staden, J., 2000.** Meristem culture of *Acacia mearnsii*. Plant Growth Regulation, 32: 49-58.
- Benson, E. E. and Bremner, D., 2004.** Oxidatives stress in the frozen plant: a free radical point of view. In: Life in the frozen state. Fuller B. J. Lane N. and E.E. Benson (Eds.). Boca Raton: CRC Press. Pp.: 205-242.
- Bettinger, P., Clutter, M., Siry, J., Kane, N. and Pait. J., 2009.** Broad Implications of Southern United States Pine Clonal Forestry on Planning and Management of Forests. International Forestry Review 11(3):331-345.
- Bonga, J., 1982.** Vegetative propagation in relation to juvenility, maturity and rejuvenation. In: Tissue Culture in Forestry. Bonga, J. y D. Durzan (Eds.). Boston, Lomdon. Nijhoff M. and W. Junk Publisher. Pp.: 387 - 412.
- Campbell, M. M., Brunner, A. M., Jones, H. M. and Strauss, S. H., 2003.** Forestry's Fertile Crescent: the application of biotechnology to forest trees. Plant Biotechnology Journal, 1: 141–154.

Carpineti, L., 2005. Importancia de la silvicultura clonal. INTA, Buenos Aires, Argentina. IDIA XXI N° 8. Pp.: 153-156.

Castellanos H., Sánchez-Olate, M. y Rios, D., 2005. La embriogénesis somática como alternativa para la regeneración *in vitro* de raulí y roble. En: Clonación de raulí, estado actual y perspectivas. Editado por Braulio Gutiérrez, Oriana Ortiz y María Paz Molina. CEFOR, INFOR, UACH. Pp.: 19-40.

Cassells, A. C. and Gahan, P. B., 2006. Dictionary of Plant Tissue Culture. New York: Food Products Press.

Chaperon, H., 1983. Clonal Propagation of *Eucalypt* by cuttings in France. En: Proceeding of a Workshop on *Eucalyptus* in California. Sacramento, California. June, 14-16. Pp.: 107-109.

Dixit, S., Ahuja, S., Narula, A. and Srivastava, P.S., 2004. Cryopreservation: a potential tool for long-term conservation of medicinal plants. In: Plant Biotechnology and molecular markers. Srivastava P.S., Narula A. and S. Srivastava (Eds.). New Delhi: Anamaya Publishers. Pp.: 278-288.

De Fossard A., Broker, P. and Bourne, R., 1977. The organ culture of nodes of four species de *Eucalyptus*. Acta Hort. 78: 157-165.

Delard, C., González, M., Ortiz, O., Molina, M. y López, C., 2007. Producción de plantas forestales de castaño. En: Castaño, Madera de Alto Valor para Chile. Benedetti S.; Loewe V.; López C. y M. Gonzalez (Editoras). INFOR. Chile. Pp.: 157-188.

Durand-Cresswell, R., Boulay, M. and Franclet, A., 1982. Vegetative propagation of *Eucalyptus*. In: Tissue culture in forestry. Bonga J. and D. Dursan (Eds.). Martinus Nijhoff, The Hague, 99: 150-181.

Engelmann, F., 1997. *In vitro* conservation methods. In: Biotechnology and plant genetic resources. Callow JA, Ford Lloyd BV and HJ Newbury, Eds. Wallingford: CAB International. Pp 119-162.

Engelmann, F., 2000. Importance of criopreservation for the conservation of plant genetic resources. In: Criopreservation of tropical plant germplasm: Current research progress and applications. Engelmann F. and H. Takagi (Eds.) Tsukuba: International Research Centre for Agricultural Sciences, and Rome: International Plant Genetic Resources Institute. Pp.: 8-20.

Francllet, A., Boulay, M., Bekkaoui, F., Fouret, Y., Verschoore-Martouzet, B. and Walker, W., 1987. Rejuvenation. En: Cell and Tissue Culture in Forestry. Vol I. General Principles and Biotechnology. Bonga J. M. y D.J. Durzan (Eds.). Martinus Nijhoff Publ., Dordrecht. Pp.: 232-248.

Francllet, A. and Boulay, M., 1982. Micropropagation of frost resistant eucalypt clones.

Aust. For. Res. 13: 83-89.

Furze, M. and Cresswell, C., 1985. Micropropagation of *Eucalyptus grandis* and *E. nitens* using tissue culture techniques. S. Afr. For. J. 135:20-23.

Gahan, P. B., 2007. Totipotency and the cell cycle. In: Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits. Jain S.M. and H. Häggman (Eds.). New York: Springer. Pp.: 3–14.

Gahan, P. B. and George, E. F., 2008. Adventitious regeneration. In: Plant Propagation by Tissue Culture, 3ª Ed. George, E.F., Hall, M.A., de Klerk, G.J. (eds.). Springer, Dordrecht. Pp.: 355-401.

Grewal, S., Ahuja, A. and Atal, C., 1980. In vitro proliferation of shoot apices of *Eucalyptus citriodora* Hook. Ind. J. Exp. Biol. 18:775-777.

Greenwodd, M. S., 1987. Rejuvenation of forest trees. Plant Growth Regulation. Vol. 6 (1):1-12.

Goncalves, A., 1980. Reversion to juvenility and cloning of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake in cell and tissue culture systems. IUFRO Symposium and Workshop on Genetic Improvement and Productivity of Fast Growing Tree Species. Sao Paulo, Brazil. Pp 786-787.

Gutiérrez, B., 2005. Propagación vegetativa y silvicultura clonal: Antecedentes generales. En: Clonación de raulí, estado actual y perspectivas. Editado por Braulio Gutiérrez, Oriana Ortiz y María Paz Molina. CEFOR, INFOR, UACH. Pp.: 19-40.

Gutiérrez, B., Ortiz, O., Molin, M., Chung, P., Koch, L., González, M., Casanova, K. y Soto, H., 2005. Protocolos de clonación para *Eucalyptus camaldulensis*: macro y micropropagación. Instituto Forestal. 62 p.

Gutiérrez, B., Molina, M. y Alzugaray, P., 2004. *Eucalyptus nitens* en Chile. Primera Monografía. Informe Técnico N° 165, INFOR-CORFO. Pp.: 27-40.

Gutiérrez, B., 1998. La multiplicación clonal en el mejoramiento genético forestal. En: Curso Mejora Genética Forestal Operativa. Editado por: Ipinza R.; Gutiérrez B. y V. Emhart. UACH, INFOR, CONAF. Valdivia 16 al 21 de noviembre de 1998. Pp.: 201-218.

Gutiérrez, B., 1995. Consideraciones sobre la fisiología y el estado de madurez en el enraizamiento de estacas de especies forestales. Ciencia e Investigación Forestal 9(2): 261-276.

Gutiérrez, B., Ipinza, R. y Chung, P., 1994. Propagación vegetativa y silvicultura clonal en eucaliptos. Ciencia e Investigación Forestal 8(1): 139-175.

Haissig, B. E., 1986. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings. New root

formation in plants and cuttings. In: M.B. Jackson (Ed.). Martinus Nijhoff, Boston. Pp.: 141-189.

Häggman, H. M., Rynänen, L. A.; Aronen, T. S and Krajnakova, J., 1998. Criopreservation of embryogenic cultures of Scots Pine. *Plant, Cell, Tissue and Organ Culture* 54: 45-53.

Hargreaves, C. and Menzies, M., 2007. Organogenesis and cryopreservation of juvenile Radiata Pine. In: *Protocols for the micropropagation of woody trees and fruit*. Jain S.M. and H. Häggman (Eds.) Dordrecht: Springer. Pp 51-65.

Hartmann, H. T., Kester, D. E. and Davis Jr., F.T., 1990. *Plant Propagation, Principles and Practices*. Fifth Edition. Prentice Hall, Englewood cliffs, New Jersey, USA. 647 p.

Ikemori, Y., 1987. Epicormic shoots from the branches of *Eucalyptus grandis* as an explant source for *in vitro* culture. *Comm. For. Rev.* 66: 351-355.

Jokipii, S., Rynänen, L., Kallio, P., Aronen, T. and Häggman, H., 2004. A cryopreservation method maintaining the genetic fidelity of a model forest tree, *Populus tremula* L. X *Populus tremuloides* Michx. *Plant Science* 166: 799-806.

Kleinschmit, J., Khunara, D., Gerhold, H. y Libby, W., 1993. Past, Present and Anticipated Applications of Clonal Forestry. In: *Clonal Forestry II. Conservation and Application*. Ahuja, M. and W. Libby (Eds). Springer-Verlag. Berlin. Pp.: 9-41.

Kleinschmit, J., 1977. Problems of vegetative propagation. Third world consultation on Forest Tree Breeding. Canberra, Australia. 21-26 march 1977. 13 p.

Lambardi, M., Fabbri, A. and Caccavale, A., 2000. Cryopreservation of white poplar (*Populus alba* L.) by vitrification of *in vitro* grown shoot tips. *Plant Cell Reports* 19: 213-218.

Le Roux, J. and Van Staden, J., 1991. Micropropagation and tissue culture of *Eucalyptus* – a review. *Tree Physiology* 9: 435-477.

Li, Y., Dutkowski, G. W., Apiolaza, L. A., Pilbeam, D. J., Costa e Silva, J. and Potts, B. M., 2007. The genetic architecture of a *Eucalyptus globulus* full-sib breeding population in Australia. *Forest Genetics* 12: 167-179

Libby, W. J. and Rauter, R. M., 1984. Advantages of Clonal Forestry. *The Forestry Chronicle*. Volume 60 (3): 145-149

Mc Comb, J. and Bennett, I., 1986. *Eucalyptus* (*Eucalyptus* spp). In *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, Volume 1: *Trees* 1. Y.P.S. Bajaj (Ed.). Springer-Verlag, Berlin. Pp.: 340-362.

Mac Rae, S. and Coterrill, P., 1997. Macropropagation and Micropropagation of *E.*

Globulus. Means of Capturing Genetic Gain. Proceedings of the IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of *Eucalyptus* v2: Biotechnology applied to genetic improvement of tree species. Salvador, Brazil, august 24 y 29. Pp.: 102-110.

Marum, L., Estêvão, C., Oliveira, M. M., Amancio, S., Rodriguez, L. and Miguel, C., 2005. Recovery of cryopreserved embryogenic cultures of Maritime Pine – effect of cryoprotectant and suspension density. *Cryoletters* 25: 263-274.

Meynier, V., 1985. Mise en culture *in vitro* de meristmes de noyers hybrides. *C R Acad. Sci. Paris Ser.* 301(5): 261-264.

Monteuuis, O., 1991. Rejuvenation of a 100-year-old *Sequoiadendron giganteum* through in vitro meristem culture. I. Organogenic and morphological arguments. *Physiologia Plantarum*. Vol 8(1): 257-263.

Molina, M. P., Gutiérrez, B. y Pinilla, J. C., 2010. Desempeño en terreno de clones de alta productividad de *Eucalyptus camaldulensis* seleccionados para reforestar las zonas áridas y semiáridas de Chile. En: Libro de resúmenes del V Congreso Chileno de Ciencias Forestales, Diálogos entre la ciencia y la sociedad. Temuco, Chile. Octubre, 2010.

Oller, J., Toribio, M., Celestino, C. y Toval, G., 2004. The culture of elite adult trees in a genetic improvement programme through *Eucalyptus globulus* Labill., clonal micropropagation. *Eucalyptus in a Changing World*. Proc.of IUFRO Conf., Aveiro 11-15 October 2004.

Ortiz, O. y Koch, L., 2010. Micropropagación de árboles superiores de *E. globulus*, seleccionados en zonas de estrés hídrico. Informe técnico, proyecto INNOVACHILE “Generación y Producción de plantas de *E. globulus* tolerantes a la sequía”, INFOR. 25 p.

Ortiz, O., Sabja, A. y Koch, L., 2010. Banco de germoplasma *in vitro* de árboles plus de raulí *Nothofagus alpina* (Poep. et Endl.) Oerst. En: Libro de resúmenes del V Congreso Chileno de Ciencias Forestales, Diálogos entre la ciencia y la sociedad. Temuco, Chile. Octubre, 2010.

Ortiz, O.; Sabja, A. y Koch, L., 2006a. Protocolo de micropropagación de lenga. En: Cultivo *in vitro* de Lenga (*Nothofagus pumilio*). Editado por Braulio Gutiérrez. INFOR. CHILE. 76 p.

Ortiz, O., González, M E. y Koch, L., 2006b. Micropropagación de Árboles Superiores de *Acacia melanoxylon* R. BR. En: Actas del 2do Congreso IUFRO Latinoamericano. Bosques: La creciente importancia de sus funciones ambientales, sociales y económicas. La Serena, Chile, 23 a 27 de octubre de 2006.

Ortiz, O y Gutiérrez, B., 2005. Macropropagación vegetativa de raulí: injertación y enraizamiento de estacas. En: Clonación de raulí, estado actual y perspectivas. Editado por Braulio Gutiérrez, Oriana Ortiz y María Paz Molina. CEFOR, INFOR, UACH. pp 19-39.

Padayachee, K., Watt, M. P., Edwards, N. y Mycock, D.J., 2009. Cryopreservation as a tool for the conservation of *Eucalyptus* genetic variability: concepts and challenges. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*. Volume 71 (2): 165-170.

Pâques, M., Monod, V., Poissonnier, M. y Dereuddre, J., 2002. Cryopreservation of *Eucalyptus* spp. Shoot Tips by the Encapsulation-Dehydration Procedure. Cryopreservation of plant germplasm II. Towill, L. E. y Bajaj, Y. P. S. (Eds.). 396 p.

Pinilla, J. C., Molina, M., Hernández, G., Barros, S., Ortiz, O. y Navarrete, M., 2010. Avances de la investigación con especies del género *Acacia* en Chile. Informe Técnico N° 179, Instituto Forestal. 82 p.

Potts, B., Volker, P. y Dungey, H., 1992. Barriers to the production of hybrids in *Eucalyptus*. In: Mass Production for Genetically Improved Fast Growing Forest Tree Species. AFOCEL-IUFRO Symposium 1992. Bordeaux. Association Foret Cellulose. Nangis, France. Pp.: 193-204.

Rao, N. K., 2004. Plant genetic resources: Advancing conservation and use through biotechnology. *African Journal of Biotechnology* 3:136-145.

Reed, B. M., De Noma, J. and Chang, Y., 2000. Application of cryopreservation protocols at a clonal genebank. In: Cryopreservation of tropical plant germplasm – current research progress and applications 246–249. Engelmann F.; Takagi H. and Tsukuba (Eds). JIRCAS. Rome: IPGRI.

Rodríguez, R., Fernández, M., Pacheco, J. y Cañal, M.J., 2005. Envejecimiento vegetal, una barrera a la propagación, alternativas. En: Biotecnología vegetal en especies leñosas de interés forestal. Editado por Sánchez M. y D. Ríos. Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. Pp.: 29-48.

Roulund, H. y Olesen, K., 1992. Mass propagation of improved material. Lecture Note D-7. Danida Forest Seed Centre. Denmark. 13 p.

Sabja, A. M., Ortiz, O. y Triviño, C., 2008. Avances de Clonación *in vitro* de árboles adultos de raulí (*Nothofagus alpina* Poepp. et Endl.) Oerst. para propagación comercial. *Agrociencia* 42: 595-603.

Sabja, A., Ortiz, O. y Triviño, C., 2005. Micropropagación de árboles *plus* de raulí. En: Clonación de raulí, estado actual y perspectivas. Editado por Braulio Gutiérrez, Oriana Ortiz y María Paz Molina. CEFOR, INFOR, UACH. pp 41-58.

Sánchez, J., Ortega, U., Majada, J. y Txarterina, K., 2008. Optimización de la propagación vegetativa por estaquillado de genotipos de interés comercial de *Pinus radiata*. *Actas de la IV Reunión sobre Repoblaciones Forestales*. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 28: 201-205.

Schmidt, L., 1993. Vegetative Propagation: Guidelines on Grafting, Air Layering and

Cuttings. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Eds). UNDP/FAO Regional Project on Improved Productivity of Man Made Forests Through Application of Technological Advances in Tree Breeding and Propagation. Field Manual N° 5. 23 p.

Thorpe, T, Harry, I. and Kumar, P., 1991. Application of micropropagation to forestry. In: Micropropagation: technology and application Debergh P. and P. Zimmerman. (Eds.) Kluwer Academic Publisher. Pp: 311-336.

Watt, M. P., Blakeway, F .C., Herman, B. and Denison, N., 1997. Biotechnology developments in tree improvement programmes in commercial forestry in South Africa. South African Journal of Science 93: 100-102.

Watt, M. P., Mycock, D. J., Blakeway, F. C. y Berjak, P., 2000. Applications of *in vitro* methods to *Eucalyptus* germplasm conservation. Southern African Forestry Journal. Volume 187 (1).

Wang, B. S. P., Charest, P.J. y Downie, B., 1993. *Ex situ* storage of seeds, pollen and *in vitro* cultures of perennial woody plant species. Food & Agriculture Org. 83 p.

Yeung, E., Rahman, H. y Thorpe, T., 1996. Comparative Development of zygotic and microspore-derived embryos in *Brassica napus* L. cv Topas. I. Histodifferentiation Int. J. Plant Sci. 157(1). Pp.: 27-39.

Zobel, B. y Talbert, J., 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Trad. por Manuel Guzmán Ortiz, Limusa, México, 545 p.

REGLAMENTO DE PUBLICACION

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL es una publicación técnica, científica, arbitrada y seriada del Instituto Forestal de Chile, en la que se publica trabajos originales e inéditos, con resultados de investigaciones o avances de estas, realizados por sus propios investigadores y por profesionales del sector, del país o del extranjero, que estén interesados en difundir sus experiencias en áreas relativas a las múltiples funciones de los bosques, en los aspectos económicos, sociales y ambientales. Consta de un volumen por año el que a partir del año 2007 está compuesto por tres números (abril, agosto y diciembre) y ocasionalmente números especiales.

La publicación cuenta con un Consejo Editor institucional que revisa en primera instancia los trabajos presentados y está facultado para aceptarlos, rechazarlos o solicitar modificaciones a los autores. Dispone además de un selecto grupo de profesionales externos y de diversos países, de variadas especialidades, que conforma el Comité Editor. De acuerdo al tema de cada trabajo, estos son enviados por el Editor a al menos tres miembros del Comité Editor para su calificación especializada. Los autores no son informados sobre quienes arbitran los trabajos.

La revista consta de dos secciones; Artículos Técnicos y Apuntes, puede incluir además artículos de actualidad sectorial en temas seleccionados por el Consejo Editor o el Editor.

- **Artículos:** Trabajos que contribuyen a ampliar el conocimiento científico o tecnológico, como resultado de investigaciones que han seguido un método científico.
- **Apuntes:** Comentarios o análisis de temas particulares, que presenten enfoques metodológicos novedosos, representen avances de investigación, informen sobre reuniones técnicas o programas de trabajo y otras actividades de interés dentro del sector forestal o de disciplinas relacionadas. Los apuntes pueden ser también notas bibliográficas que informan sobre publicaciones recientes, en el país o en el exterior, comentando su contenido e interés para el sector, en términos de desarrollo científico y tecnológico o como información básica para la planificación y toma de decisiones.

ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS

Artículos

Los trabajos presentados para esta sección deberán contener Resumen, Summary, Introducción, Objetivos, Material y Método, Resultados, Discusión y Conclusiones, Reconocimientos (optativo) y Referencias. En casos muy justificados Apéndices y Anexos.

Título: El título del trabajo debe ser representativo del efectivo contenido del artículo y debe ser construido con el mínimo de palabras.

Resumen: Breve descripción de los objetivos, de la metodología y de los principales resultados y conclusiones. Su extensión máxima es de una página y al final debe incluir al menos tres palabras clave que faciliten la clasificación bibliográfica del artículo. No debe incluir referencias, cuadros ni figuras. Bajo el título se identificará los autores y a pie de página su institución y dirección. El **Summary** es evidentemente la versión en inglés del Resumen.

Introducción: Como lo dice el título, este punto está destinado a introducir el tema, describir lo que se quiere resolver o aquello en que se necesita avanzar en materia de información, proporcionar antecedentes generales necesarios para el desarrollo o comprensión del trabajo, revisar información bibliográfica y avances previos, situar el trabajo dentro de un programa más amplio si es el caso, y otros aspectos pertinentes. Los Antecedentes Generales y la Revisión de Bibliografía pueden en ciertos casos requerir especial atención y mayor extensión, si así fuese, en forma excepcional puede ser reducida la Introducción a lo esencial e incluir estos puntos separadamente.

Objetivos: Breve enunciado de los fines generales del artículo o de la línea de investigación a que corresponda y definición de los objetivos específicos del artículo en particular.

Material y Método: Descripción clara de la metodología aplicada y, cuando corresponda, de los materiales empleados en las investigaciones o estudios que dan origen al trabajo. Si la metodología no es original se deberá citar claramente la fuente de información. Este punto puede incluir Cuadros y Figuras, siempre y cuando su información no resulte repetida con la entregada en texto.

Resultados: Punto reservado para todos los resultados obtenidos, estadísticamente respaldados cuando corresponda, y asociados directamente a los objetivos específicos antes enunciados. Puede incluir Cuadros y Figuras indispensables para la presentación de los resultados o para facilitar su comprensión, igual requisito deben cumplir los comentarios que aquí se pueda incluir.

Discusión y Conclusiones: Análisis e interpretación de los resultados obtenidos, sus limitaciones y su posible trascendencia. Relación con la bibliografía revisada y citada. Las conclusiones destacan lo más valioso de los resultados y pueden plantear necesidades consecuentes de mayor investigación o estudio o la continuación lógica de la línea de trabajo.

Reconocimientos: Punto optativo, donde el autor si lo considera necesario puede dar los créditos correspondientes a instituciones o personas que han colaborado en el desarrollo del trabajo o en su financiamiento. Obviamente se trata de un punto de muy reducida extensión.

Referencias: Identificación de todas las fuentes citadas en el documento, no debe incluir referencias que no han sido citadas en texto y deben aparecer todas aquellas citadas en éste.

Apéndices y Anexos: Deben ser incluidos sólo si son indispensables para la comprensión del trabajo y su incorporación se justifica para reducir el texto. Es preciso recordar que los Apéndices contienen información o trabajo original del autor, en tanto que los Anexos contienen información complementaria que no es de elaboración propia.

Apuntes

Los trabajos presentados para esta sección tienen en principio la misma estructura descrita para los artículos, pero en este caso, según el tema, grado de avance de la investigación o actividad que los motiva, se puede adoptar una estructura más simple, obviando los puntos que resulten innecesarios.

PRESENTACION DE LOS TRABAJOS

La Revista acepta trabajos en español y ocasionalmente en inglés o portugués, redactadas en lenguaje universal, que pueda ser entendido no sólo por especialistas, de modo de cumplir su objetivo de transferencia de conocimientos y difusión al sector forestal en general. No se acepta redacción en primera persona.

Formato tamaño carta (21,6 x 27,9 cm), márgenes 2,5 cm en todas direcciones, espacio simple y un espacio libre entre párrafos. Letra Arial 10. Un tab (8 espacios) al inicio de cada párrafo. No numerar páginas. Extensión máxima trabajos 25 carillas para artículos y 15 para Apuntes. Justificación ambos lados.

Primera página incluye título en mayúsculas, negrita, centrado, letra Arial 12, una línea, eventualmente dos como máximo. Dos espacios bajo éste: Autor (es), minúsculas, letra 10 y llamado a pie de página indicando Institución, país y correo electrónico en letra Arial 8. Dos espacios más abajo el Resumen y, si el espacio resulta suficiente, el Summary. Si no lo es, página siguiente igual que anterior, el Summary.

En el caso de los Apuntes, en su primera página arriba tendrán el título del trabajo en mayúscula, negrita, letra 12 y autor (es), institución, país y correo, letra 10, normal minúsculas, bajo una línea horizontal, justificado a ambos lados, y bajo esto otra línea horizontal. Ej:

EL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE COMO MOTOR DE EMPRENDIMIENTO DEL MUNDO RURAL: LA EXPERIENCIA EN CHILE. Víctor Vargas Rojas. Instituto Forestal. Ingeniero Forestal. Mg. Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente. vvargas@infor.cl

Título puntos principales (Resumen, Summary, Introducción, Objetivos, etc) en mayúsculas, negrita, letra 10, margen izquierdo. Sólo para Introducción usar página nueva, resto puntos principales seguidos, separando con un espacio antes y después de cada uno. Títulos secundarios en negrita, minúsculas, margen izquierdo. Títulos de tercer orden minúsculas margen izquierdo. Si fuesen necesarios títulos de cuarto orden, usar minúsculas, un tab (7 espacios) y anteponer un guión y un espacio. Entre sub títulos y párrafos precedente y siguiente un espacio libre. En sub títulos con más de una palabra usar primera letra de palabras principales en mayúscula. No numerar puntos principales ni sub títulos.

Nombres de especies vegetales o animales: Vulgar o vernáculo en minúsculas toda la palabra, seguido de nombre en latín o científico entre paréntesis la primera vez que es mencionada la especie en el texto, en cursiva (no negrita), minúsculas y primera letra del género en mayúsculas. Ej. pino o pino radiata (*Pinus radiata*).

Citas de referencias bibliográficas: Sistema Autor, año. Ejemplo en citas en texto; De acuerdo a Rodríguez (1995) el comportamiento de..., o el comportamiento de... (Rodríguez, 1995). Si son dos autores; De acuerdo a Prado y Barros (1990) el comportamiento de ..., o el comportamiento de ... (Prado y Barros, 1990). Si son más de dos autores; De acuerdo a Mendoza *et al.* (1990), o el comportamiento ... (Mendoza *et al.*, 1990).

En el punto Referencias deben aparecer en orden alfabético por la inicial del apellido del primer autor, letra 8, todas las referencia citadas en texto y sólo estas. En este punto la identificación de la referencia debe ser completa: Autor (es), año. En negrita, minúsculas, primeras letras de palabras en mayúsculas y todos los autores en el orden que aparecen en la publicación, aquí no se usa *et al.* A continuación, en minúscula y letra 8, primeras letras de palabras principales en mayúscula, título completo y exacto de la publicación, incluyendo institución, editorial y otras informaciones cuando corresponda. Margen izquierdo con justificación ambos lados. Ejemplo:

En texto: (Yudelevich *et al.*, 1967) o Yudelevich *et al.* (1967) señalaron ...

En referencias:

Yudelevich, Moisés; Brown, Charles y Elgueta, Hernán, 1967. Clasificación Preliminar del Bosque Nativo de Chile. Instituto Forestal. Informe Técnico N° 27. Santiago, Chile.

Expresiones en Latín, como *et al.*; *a priori* y otras, así como palabras en otros idiomas como *stock*, *marketing*, *cluster*, *stakeholders*, *commodity* y otras, que son de frecuente uso, deben ser escritas en letra cursiva.

Cuadros y Figuras: Numeración correlativa: No deben repetir información dada en texto. Sólo se aceptan cuadros y figuras, no así tablas, gráficos, fotos u otras denominaciones. Toda forma tabulada de mostrar información se presentará como cuadro y al hacer mención en texto (Cuadro N° 1). Gráficos, fotos y similares serán presentadas

como figuras y al ser mencionadas en texto (Figura N° 1). En ambos casos aparecerán enmarcados en línea simple y centrados en la página. En lo posible su contenido escrito, si lo hay, debe ser equivalente a la letra Arial 10 u 8 y el tamaño del cuadro o figura proporcionado al tamaño de la página. Cuadros deben ser titulados como Cuadro N° , minúsculas, letra 8, negrita centrado en la parte superior de estos, debajo en mayúsculas, negritas letra 8 y centrado el título (una línea en lo posible). Las figuras en tanto serán tituladas como Figura N° , minúscula, letra 8, negrita, centrado, en la parte inferior de estas, y debajo en mayúsculas, letra 8, negrita, centrado, el título (una línea en lo posible). Si la diagramación y espacios lo requieren es posible recurrir a letra Arial *narrow*. Cuando la información proporcionada por estos medios no es original, bajo el marco debe aparecer entre paréntesis y letra 8 la fuente o cita que aparecerá también en referencias. Si hay símbolos u otros elementos que requieren explicación, se puede proceder de igual forma que con la fuente.

Se aceptan fotos en blanco y negro y en colores, siempre que reúnan las características de calidad y resolución que permitan su impresión.

Abreviaturas, magnitudes y unidades deben estar atenuadas a la Norma NCh 30 del Instituto Nacional de Normalización (INN). Se empleará en todo caso el sistema métrico decimal. Al respecto es conveniente recordar que la unidades se abrevian en minúsculas, sin punto, con la excepción de litro (L) y de aquellas que provienen de apellidos de personas como grados Celsius (°C). Algunas unidades de uso muy frecuente: metro, que debe ser abreviado **m**, metro cúbico **m³**, metro ruma **mr**; o hectáreas **ha**.

Llamados a pie de página: Cuando estos son necesarios, serán numerados en forma correlativa para cada página, no de 1 a n a lo largo del trabajo. Aparecerán al pie en letra 8. No usar este recurso para citas bibliográficas, que deben aparecer como se indica en Referencias.

Archivos protegidos, "sólo lectura" o PDF serán rechazados de inmediato porque no es posible editarlos. La Revista se reserva el derecho de efectuar todas las modificaciones de carácter formal que el Comité Editor o el Editor estimen necesarias o convenientes, sin consulta al autor. Modificaciones en el contenido evidentemente son consultadas por el Editor al autor, si no hay acuerdo se recurre nuevamente al Consejo Editor o los miembros de este que han participado en el arbitraje o calificación del trabajo.

ENVIO DE TRABAJOS

Procedimiento electrónico. En general bastará enviar archivo Word, abierto al Editor sbarros@infor.gob.cl

Cuadros y figuras ubicadas en su lugar en el texto, no en forma separada. El Editor podrá en algunos casos solicitar al autor algún material complementario en lo referente a cuadros y figuras (archivos Excel, imágenes, figuras, fotos, por ejemplo).

El autor deberá indicar si propone el trabajo para Artículo o Apunte y asegurarse de recibir confirmación de la recepción conforme del trabajo por parte del Editor.

Respecto del peso de los archivos, tener presente que 1 Mb es normalmente el límite razonable para los adjuntos por correo electrónico. No olvidar que las imágenes son pesadas, por lo que siempre al ser pegadas en texto Word es conveniente recurrir al pegado de imágenes como JPEG o de planillas Excel como Metarchivo Mejorado.

En un plazo de 30 días desde la recepción de un trabajo el Editor informará al autor principal sobre su aceptación (o rechazo) en primera instancia e indicará (condicionado al arbitraje del Comité Editor) el Volumen y Número en que el trabajo sería incluido. Posteriormente enviará a Comité Editor y en un plazo no mayor a 3 meses estará sancionada la situación del trabajo propuesto. Si se mantiene la información dada por el Editor originalmente, el trabajo es aceptado como fue propuesto (Artículo o Apunte) y no hay observaciones de fondo, el trabajo es editado y pasa a publicación cuando y como se informó al inicio. Si no es así, el autor principal será informado sobre cualquier objeción, observación o variación, en un plazo total no superior a 4 meses.

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL

ARTICULOS

PAGINAS

-
- ENSAYO DE IMPLANTACIÓN DE PASTURA EN BOSQUE DE PINO PONDEROSA. **Buduba, C., Hansen, N., Bobadilla, S., Lexow, G. y Escalona, M. Argentina.** 277
- SIMULACIÓN DE MANEJO SILVÍCOLA EN BASE A UMBRALES DE COBERTURA EN SISTEMAS SILVOPASTORILES COMPUESTOS POR *Festuca pallezens* y *Pinus ponderosa*. **Federico Letourneau, Gonzalo Caballé, Ernesto Andenmatten y Nicolás De Agostini. Argentina.** 283
- DINÁMICA DEL CARBONO Y OTRAS INTERACCIONES EN UN SISTEMA SILVOPASTORAL EN FAJAS, UNA PLANTACIÓN DE PINO PONDEROSA Y UN PASTIZAL EN LA REGIÓN DE AYSÉN, PATAGONIA CHILENA. **Francis Dube, Miguel Espinosa, Naresh Thevathasan, Andrew Gordon, Erick Zagal y Neal Stolpe. Chile - Canadá.** 299
- PRIMEROS RESULTADOS DE RALEOS EN BOSQUES DE *Nothofagus antarctica* PARA EL MANEJO SILVOPASTORIL EN TIERRA DEL FUEGO (ARGENTINA). **Horacio Ivancich, Guillermo Martínez Pastur, Pablo Perí, Rosina Soler Esteban y María Vanessa Lencinas. Argentina.** 311
- EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE REGENERACIÓN APLICADOS EN EL TIPO FORESTAL ROBLE – HUALO EN LA REGIÓN DEL MAULE. **Iván Quiroz, Edison García, Marta González y Hernán Soto. Chile.** 325
- ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES DE CHILE PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO. **Roberto Ipinza, María Paz Molina, Braulio Gutiérrez y Oriana Ortiz. Chile.** 359

APUNTES

-
- MASIFICACIÓN CLONAL DE GENOTIPOS FORESTALES. **Oriana Ortiz y Laura Koch. Chile.** 385
- REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN 405

