

Volumen 24 N° 3
Diciembre 2018

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

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL



**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**



INFOR

VOLUMEN 24 N° 3

**CIENCIA E
INVESTIGACION
FORESTAL**

Diciembre 2018

**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**

CIENCIA E INVESTIGACION 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	Fernando Raga Castellanos	INFOR	Chile
Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR - IUFRO	Chile
Consejo Editor	Santiago Barros Asenjo	INFOR - IUFRO	Chile
	Braulio Gutiérrez Caro	INFOR	Chile
	Juan Carlos Pinilla Suárez	INFOR - IUFRO	Chile
	Marlene González González	INFOR	Chile
Comité Editor	José Bava	CIEFAP	Argentina
	Leonardo Gallo	INTA	Argentina
	Mónica Gabay	SAyDS	Argentina
	Heinrich Schmutzhenhofer	IUFRO	Austria
	Marcos Drumond	EMBRAPA	Brasil
	Sebastiao Machado	UFPR	Brasil
	Antonio Vita	UCH	Chile
	Juan Gastó	UC	Chile
	Miguel Espinosa	UDEC	Chile
	Sergio Donoso	UCH	Chile
	Vicente Pérez	USACH	Chile
	Glenn Galloway	CATIE	Costa Rica
	José Joaquín Campos	CATIE	Costa Rica
	Carla Cárdenas	MINAMBIENTE - IUFRO	Ecuador
	Alejandro López de Roma	INIA	España
	Isabel Cañelas	INIA - IUFRO	España
	Gerardo Mery	METLA - IUFRO	Finlandia
	Markku Kanninen	CIFOR	Indonesia
	José Antonio Prado	MINAGRI	Chile
	Concepción Lujan	UACH	México
Oscar Aguirre	UANL	México	
Margarida Tomé	UTL - IUFRO	Portugal	
Zohra Bennadji	INIA - IUFRO	Uruguay	
Florencia Montagnini	U. Yale - IUFRO	USA	
John Parrotta	USDA FS - IUFRO	USA	
Oswaldo Encinas	ULA	Venezuela	
Ignacio Díaz-Maroto	USC	España	

Dirección



Instituto Forestal
Sucre 2397 - Casilla 3085 - Santiago, Chile
Fono 56 2 3667115
Correo electrónico sbarros@infor.gob.cl
<http://www.infor.cl/index.php/revista-cifor>

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.

AJUSTE DE UN MODELO DE VOLUMEN DE ÁRBOL INDIVIDUAL DE *Acacia mearnsii* De Wild. CRECIENDO EN LA REGIÓN DEL BIO BIO

Pinilla, Juan Carlos¹; Luengo, Karina; Navarrete, Mauricio y Navarrete, Felipe.

RESUMEN

Chile ha alcanzado un importante desarrollo forestal basado en la silvicultura y utilización de plantaciones de especies de rápido crecimiento, actualmente existen en el país 2,42 millones de hectáreas de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (1,39), *Eucalyptus globulus* Labill. (0,59), *Eucalyptus nitens* (Deane & maiden) Maiden (0,27) y otras especies (0,17) (INFOR,2018), y una industria derivada de gran desarrollo en las áreas de aserrío, pulpa y papel, tableros y chapas, y diversos otros productos.

Entre las otras especies se encuentra diversas especies de los géneros *Acacia*, *Atriplex*, *Eucalyptus*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Populus* y otros, introducidas al país en diferentes momentos, principalmente por el Instituto Forestal (INFOR).

Respecto de las plantaciones, sin embargo, existen en diferentes regiones del país condiciones climáticas y suelos forestales en los que el cultivo de las especies habitualmente empleadas no ha tenido los resultados esperados y se hacen necesarias otras especies.

Se suman los efectos del cambio climático que, por variaciones en los regímenes de precipitaciones y temperaturas, pueden tornar marginales algunas zonas del país para el crecimiento de estas especies tradicionalmente usadas en las plantaciones.

Se haría así prácticamente ineludible diversificar las especies forestales en las plantaciones, como medio para enfrentar las limitantes que impondrá el cambio climático y para cubrir nuevos sitios hoy no apropiados para las especies en uso.

Dentro de este marco INFOR ha desarrollado líneas de investigación sobre nuevas especies y su manejo, con el fin de ofrecer alternativas para los propietarios y comunidades rurales con nuevas opciones productivas. En estas líneas de trabajo se ha incluido numerosas especies de distintos géneros, entre estas especies australianas del género *Acacia*, como *Acacia dealbata* Link., *Acacia melanoxylon* R. Br. y *Acacia mearnsii* de Wild., de buena adaptación y crecimiento en diferentes sitios del país.

Comprobada la buena adaptación de nuevas especies se hace necesario el desarrollo de herramientas de apoyo para su manejo, como funciones de volumen y modelos predictivos de crecimiento y productividad.

En el presente trabajo se describe la elaboración de un primer modelo de volumen de árbol individual para la especie acacia negra (*Acacia mearnsii*) a partir de información obtenida de un rodal en crecimiento en la comuna de Florida, Región del Bio Bio, los principales aspectos de la metodología utilizada y los resultados obtenidos.

Palabras clave: Plantaciones forestales, *Acacia mearnsii*, función de volumen.

¹ Investigadores Instituto Forestal, Chile. jpínilla@infor.cl

SUMMARY

Chile has an important forest development based on the silviculture and utilization of fast growing species planted forests, currently the country has a total planted area of 2.42 million hectares; *Pinus radiata* D. Don (1.39), *Eucalyptus globulus* Labill. (0.59), *Eucalyptus nitens* (Deane & maiden) Maiden (0.27) and other species (0,17), and a well-developed forest industry on the sawnwood, cellulose and paper, boards and veneers, and other different production areas.

Among other species there are several species of the genera *Acacia*, *Atriplex*, *Eucalyptus*, *Pinus Pseudotsuga*, *Populus* and other, introduced to the country in the past, mainly by the Forestry Institute (INFOR).

Regarding to the planted forests however, there are zones in the country where climatic and soil conditions are not appropriated to establish and growth planted forests with the usual species and new species become necessary. Besides that, the climate change effects, including rainfall and temperature variation, can turn inappropriate other areas. Accordingly, seems to be inescapable a species diversification in planted forests as a mean to face the climate change effects and to cover new sites.

Under the mentioned framework, INFOR has carried out different research line on new species and its silviculture and management in order to offer some alternatives to the owners and rural communities with new productive options. The research lines have included a number of species and among them Australian species of the *Acacia* genus such as *Acacia dealbata* Link., *Acacia melanoxylon* R. Br. And *Acacia mearnsii* De Wild., with a good adaptation and growth in different sites along the country.

Confirmed the adaptation of new species become necessary the development of management tools, such as volume functions and growth and productivity predictive models.

In this paper it is described the development of a first individual tree volume model for Black Wattle (*Acacia mearnsii*) based on information from a stand located at the Florida Commune, Bio Bio Region, as well as the methodology and the results.

Key words: Planted forests, *Acacia mearnsii*, Volume function.

INTRODUCCIÓN

El sector forestal chileno se caracteriza por un importante desarrollo silvicultural e industrial basado en plantaciones de especies exóticas de rápido crecimiento, principalmente *Pinus radiata* y *Eucalyptus* spp. Sin embargo, existen condiciones climáticas y suelos forestales en los que el cultivo de estas especies no ha tenido los resultados esperados y se hacen necesarias otras especies. Se suman a esto los efectos del cambio climático que, por variaciones en los regímenes de precipitaciones y temperaturas, podrá tornar marginales algunas zonas del país para el crecimiento de estas especies tradicionalmente usadas en las plantaciones.

Se haría así ineludible diversificar las especies forestales en las plantaciones, como medio para enfrentar las limitantes que impondrá el cambio climático, para cubrir nuevos sitios hoy no apropiados para las especies en uso e incluso para repoblar sitios específicos y diferenciar productos. Se busca con esto una mejor adaptación a los sitios, apoyar procesos de forestación y reforestación, mantener o elevar la productividad de los predios, diversificar los productos y atenuar potenciales problemas fitosanitarios, entre otros aspectos. Dentro de este marco el Instituto Forestal de Chile (INFOR) ha desarrollado líneas de investigación sobre nuevas especies y su manejo, modelos operacionales y técnicas silvícolas cuyos resultados o avances pueden aplicar los propietarios y comunidades rurales obteniendo nuevas opciones productivas para incrementar su competitividad y la del sector.

En materia de nuevas especies, INFOR desde sus inicios, a principios de los años 60 del siglo pasado, ha desarrollado múltiples investigaciones que han incluido diversos géneros, orígenes y especies, entre ellas varias de origen australiano del género *Acacia* y una de ellas, con un interesante potencial para diferentes zonas del país, es acacia negra (*Acacia mearnsii*), especie que también ha sido introducida en América del Norte y del Sur, en Asia, en Europa, en África y en Nueva Zelanda, en distintas condiciones de sitio. Destacan sus usos a nivel internacional para la obtención de celulosa, de biomasa para energía y también de taninos a partir de su corteza, entre otros.

INFOR ha establecido diversos ensayos con esta especie en el país, abarcando diferentes situaciones de sitio, para generar información en cuanto a su adaptación y crecimiento en cada una de estas condiciones. Los resultados obtenidos, señalan que a los 8 años de edad es posible alcanzar valores promedio de 13 cm y 13 m en DAP y altura, respectivamente, con máximos de 18 cm y 20 m, para DAP y altura, respectivamente, con un área basal de 15 m²/ha y una supervivencia de un 90%. Estos resultados demuestran que *Acacia mearnsii* presenta un buen crecimiento en Chile, lo que la constituye en un recurso interesante, tanto para la industria forestal como para la pyme y los pequeños y medianos propietarios, siendo una alternativa posible de utilizar tanto por la pyme industrial como por pequeños y medianos propietarios forestales.

Se trabaja ahora en el análisis de la información reunida en los ensayos con el fin de obtener mayor conocimiento en lo relacionado con la estimación de rendimiento y crecimiento de la especie y desarrollar modelos matemáticos de manejo forestal que predigan producciones volumétricas y rendimientos de esta acacia en plantaciones forestales. En este trabajo se presentan los resultados del proceso de ajuste y validación de un modelo de volumen de árbol individual para la especie a partir de la información derivada de un ensayo establecido el año 2014 en la comuna de Florida, Región del Bio Bio, con el objetivo de generar modelos útiles para la gestión y manejo forestal de este tipo de plantaciones.

Para la adecuada utilización de nuevas especies en el sector forestal nacional se requiere desarrollar y promover la utilización de las especies y de las herramientas de apoyo para su cultivo y manejo. Al respecto, los modelos predictivos de crecimiento y productividad son básicos para una adecuada orientación en la toma de decisiones. Se trata así de generar y validar los modelos de crecimiento y rendimiento, en su adaptabilidad o funcionalidad para la especie; funciones de volumen de árbol individual y funciones predictivas de área basal, mortalidad y altura dominante.

Por esta razón, se realiza un estudio para generar un primer modelo de volumen de árbol individual para la especie *Acacia mearnsii* a partir de información obtenida de un rodal en

crecimiento en la comuna de Florida, Región del Bio Bio.

El presente documento entrega los principales aspectos de la metodología utilizada en la toma de información desde el rodal, el uso de la información para evaluar la aplicabilidad de modelos de volumen anteriormente desarrollados por INFOR y posibles de utilizar para otras especies forestales (Bahamondez *et al.*, 1995), y los resultados acerca de la funcionalidad del modelo obtenido.

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es generar, evaluar y difundir información sobre modelos de estimación de crecimiento, para orientar el desarrollo y manejo de plantaciones forestales de *Acacia mearnsii*, en aspectos relacionados con su productividad, potencial económico de cultivo e identificación de nuevas opciones productivas, consideradas estratégicas para incrementar la competitividad sectorial.

LA ESPECIE

Pinilla (2000) señala que *Acacia mearnsii* es originaria del sudeste de Australia, encontrándose principalmente en las tierras bajas y costeras y en las laderas bajas de las mesetas y cordilleras. Se distribuye desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 900 msnm. Recibió su nombre botánico en honor al colector del espécimen tipo, el cirujano americano E. A. Mearns (1856-1916). El nombre común, Black Wattle, aromo negro o acacia negra, se refiere al follaje y a la corteza, ambos de color oscuro.

Acacia mearnsii es un arbusto grande o un árbol pequeño, comúnmente de 6 a 10 m., pero puede alcanzar hasta 20 m. de altura (Boland *et al.*, 1984; Turnbull, 1986, Cit. por Kannegiesser, 1990).

Los ejemplares que crecen solitarios presentan copas amplias y extendidas, son ramificados desde la base y con el tronco principal torcido. Pero al crecer en plantaciones, el fuste es generalmente recto y delgado hasta tres cuartas partes de la altura total (Figura N° 1).

La corteza de los árboles viejos es de color café negruzco, dura y fisurada, pero en individuos más jóvenes y en las partes altas de aquellos de más edad es de color café grisáceo, más delgada y suave.

El follaje adulto es de color verde oscuro con brotes nuevos suavemente amarillos. Su madera es finamente texturada y presenta anillos de crecimiento poco visibles. La albura es de color café muy pálido y el duramen, café claro con moteado rojizo. La durabilidad es considerada ligera o moderada. La densidad básica es de aproximadamente 630 kg/m³ y la densidad de la madera secada al aire fluctúa entre 550 y 800 kg/m³ (Bootle, 1984. Cit. por Kannegiesser, 1990).

En Australia crece en las zonas climáticas húmedas y subhúmedas, cálidas y frías, con precipitaciones medias anuales de 625 a 900 mm, que caen entre 105 a 175 días al año. Raramente se presenta en zonas donde las temperaturas exceden los 38° C, no crece con temperaturas sobre 40° C, y se reportan áreas en donde ha soportado hasta 40 días con heladas al año (Figura N° 2).

En cuanto a los suelos, se señala que esta acacia se ha encontrado en basaltos, granitos y areniscas, siendo común en suelos derivados de esquistos y pizarras metamórficas, aluviales y podzoles forestales profundos de moderada a baja fertilidad. En su lugar de origen, los mejores crecimientos se han reportado en suelos húmedos, relativamente profundos, de texturas livianas, bien drenados y generalmente ácidos, con un pH entre 5 y 6,5. *A. mearnsii* constituye el sotobosque de bosques altos y abiertos, dominados principalmente por *Eucalyptus ovata*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. viminalis* y *E. radiata*. En zonas donde coloniza tierras explotadas, suele formar rodales densos.



Figura N° 1
ÁRBOLES ADULTOS REGIÓN DEL BIO BIO



(Fuente: Australian Government, 2018)

Figura N° 2
DISTRIBUCIÓN NATURAL EN AUSTRALIA



Figura N° 3
FOLLAJE Y FLORES

La madera de esta especie se utiliza como material para construcciones livianas y biomasa para la generación de energía, pero posteriormente se comenzó a utilizar su corteza como materia prima para la curtiembre dado su alto contenido de taninos; 36 a 41% de taninos, excepcionalmente buenos, dependiendo los rendimientos de factores ambientales. Hoy es fuente principal de esta materia prima vegetal a nivel mundial para la manufactura de cuero duro para zapatos, monturas y otros productos. Las industrias de taninos basadas en esta especie se han desarrollado principalmente en Brasil, Kenya, India, Sudáfrica, Tanzania y Zimbabwe.

La literatura reporta otros usos para la corteza y el extracto obtenido, tales como preservantes, adhesivos, en molduras de plástico y como adhesivos en la industria de la madera prensada para exteriores, tableros de partículas y madera laminada (Coopens *et al.*, 1980. Cit. por Kannegiesser, 1990). Se destaca que el adhesivo en base al extracto de corteza de esta especie presenta características de resistencia al agua similares a aquellos del tipo resorcinol, pero con un menor costo de producción.

La madera de *A. mearnsii* proporciona también leña de excelente calidad, con un peso específico de 0,70 a 0,85 g/cm³ y un poder calorífico de 14.630 a 16.720 kJ/kg. Las dificultades en el secado y el agrietamiento de madera han disminuido su uso en la industria del mueble.

Por sus características de rápido crecimiento, adaptabilidad a diversas condiciones de sitio y capacidad colonizadora de áreas erosionadas, esta especie ha sido efectiva para el control de zonas degradadas y mejoramiento de la fertilidad de suelos, siendo una eficiente fijadora de nitrógeno. La literatura menciona que en Indonesia se han obtenido 21 a 28 t/año de hojas verdes, conteniendo 240 a 285 kg de nitrógeno y que cultivos agrícolas asociados a esta especie rinden el doble gracias a la acción fijadora del nitrógeno (NAS, 1980; Kannegiesser, 1990; Pinilla, 2000).

En estudios desarrollados por INFOR la especie se recomienda para las regiones de Valparaíso a Los Lagos y los productos a obtener son taninos extraíbles de su corteza y madera para uso en postes. Además, se indica que presenta una moderada resistencia a las heladas y que contribuye a la recuperación de sistemas degradados mediante el desarrollo de técnicas de control de erosión y restauración de la cubierta vegetal. En zonas de baja precipitación ha presentado problemas de crecimiento (INFOR, 1999; Pinilla, 2000).

Pinilla *et al.* (2018) informan sobre ensayos instalados por INFOR abarcando diferentes situaciones de sitio, con el propósito de determinar su respuesta a estas distintas condiciones, y agregan que estas investigaciones han demostrado que la especie presenta un adecuado crecimiento en el país.

Para determinar las condiciones en las cuales es posible el uso de las especies forestales, es necesario validar los diferentes aspectos técnicos y económicos en las distintas situaciones de crecimiento y mercado en el país.

MATERIAL Y MÉTODO

Para el estudio se seleccionó la unidad demostrativa y experimental de *Acacia mearnsii* establecida por INFOR en el sector de San Antonio de Cuda, Comuna de Florida, Región del Bio Bio, que tiene actualmente una edad de 14 años (Figura N° 4).

La selección de los árboles para el estudio en este ensayo se realizó en base a la distribución diamétrica, realizándose un censo del 25% de la unidad, donde se encontraron 334 árboles y se seleccionaron 150 árboles, de los cuales 60 fueron utilizados en el estudio.

Luego de la selección de los árboles a utilizar, estos fueron medidos en pie y luego volteados registrándose diámetros con corteza a intervalos regulares a lo largo del fuste: 0,1 m, 1,3 m y cada 3,2 m hasta donde el diámetro del fuste mantenga un mínimo de 5 cm (Figura N° 5).



Figura N° 4
UNIDAD EXPERIMENTAL SECTOR SAN ANTONIO DE CUDA, FLORIDA, REGIÓN DEL BIO BIO



Figura N° 5
SELECCIÓN, VOLTEO Y MEDICIÓN DE ÁRBOLES

Función de Volumen

La determinación de los volúmenes de cada árbol se puede obtener a través de diferentes procedimientos prácticos y teóricos. Entre estos, se incluyen diámetros medidos a distintas alturas del fuste, ocupando factores de forma que modifiquen el volumen del cilindro teórico al que se asemeja, o a través de funciones de ahusamiento o por rotación de cuerpos simples.

Uno de los sistemas más usados es la cubicación por secciones obtenidas a distintas alturas del fuste. Los árboles muestras se cortan en largos relativos o absolutos y se cubican por trozas, donde la exactitud de las estimaciones por estas fórmulas depende del número de ellas. Las fórmulas de cubicación más conocidas son la de Smalian (igual a un paraboloides truncado) y la de Huber y Newton, entre otras (Prodan *et al.*, 1997). La fórmula de Smalian se define como:

$$\text{Smalian : } v = (g_b + g_s) * \frac{l}{2}$$

Donde: g_b, g_s : Áreas de la sección basal y superior de la troza.
 L : Largo de la sección utilizada.

Los volúmenes individuales por árbol fueron determinados por la acumulación de volúmenes de pequeñas secciones observadas e interpoladas calculados con Smalian. Los árboles que tenían más secciones observadas acumulaban un total de 27, estando la media cercana a las 12 secciones por árbol.

Luego el volumen de cada árbol se obtuvo mediante la acumulación de dichos volúmenes para el cálculo del volumen total comercial (hasta diámetros sin corteza de 5 cm). Los volúmenes finalmente obtenidos se graficaron para observar su distribución según el DAP.

Dado el objetivo de este estudio, se analizó si la función de volumen de árbol individual tradicionalmente empleada, el modelo de variables combinadas (Spurr) (Bahamondez *et al*, 1995; Martin y Bahamóndez, 2000.), es compatible con *Acacia mearmsii*. La estructura de este modelo es la siguiente:

$$\text{Vol} = a + b \cdot \text{DAP}^2 \cdot H$$

Donde: Vol : Volumen individual en m³ssc para un IU=5 cm
 a, b : Coeficientes del modelo
 DAP : Diámetro a la altura del pecho (cm)
 H : Altura total (m)

El modelo se ajusta por métodos de mínimos cuadrados a través de regresión ponderada por (1/DAP²H), para evitar problemas de heterocedasticidad.

Al respecto, Friedl *et al.* (2010) mencionan que la ecuación logarítmica de variables combinadas de Spurr es el modelo más conveniente para la predicción de los volúmenes, con y sin corteza, de árboles individuales de *Acacia mearmsii*, utilizado en el sur de Brasil, lo cual ya había sido señalado por Schneider *et al.* (2000). Los modelos más utilizados corresponden a:

$$\log v_{cc} = b_0 + b_1 \cdot \log (d^2 h / 10.000)$$

$$\log v_{sc} = b_0 + b_1 \cdot \log (d^2 h / 10.000)$$

Donde: v_{cc} = Volumen total con corteza (m³)
 v_{sc} = Volumen comercial sin corteza (m³)
 d = Diámetro a la altura de pecho (1,3 m) (cm)
 h = Altura total (m)

Otro modelo utilizado en Brasil para el volumen de árbol individual fue estimado por Schneider y Hosokawa (1978) y Schneider (1978), citados por Schneider *et al.* (2000), bajo la ecuación:

$$\log v = -4,2007 + 0,9495 \times \log(d^2 h)$$

Donde: v = Volumen con corteza (m³)
 d = Diámetro a la altura del pecho (cm)
 h = Altura total (m)

Evaluación de la Función de Volumen

Como indicadores de la bondad de ajuste de la función de volumen se utilizaron: el RECM (%) como estadístico de precisión y la DIFA (%) de sesgo, ambos expresados como una proporción de la media del grupo, el coeficiente de correlación y el error estándar.

El Error Cuadrático Medio Porcentual (ECM %) y la Diferencia Agregada Porcentual (DIFA %) se definen matemáticamente por las siguientes expresiones:

$$RECM\% = \frac{100}{\bar{y}} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right]^{1/2} \quad [1]$$

$$DIFA\% = \frac{100}{\bar{y}} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \right] \quad [2]$$

Donde: y_i e \hat{y}_i : Corresponden al valor observado y estimado de la medición i-ésima;
 \bar{y} : Es el promedio
 n : Total de observaciones.

Para estos dos estadísticos, el mejor modelo corresponderá a aquel que presente los valores más cercanos a cero.

RESULTADOS

Parámetros Generales de Rodal

Como se mencionó previamente, se realizó una evaluación de los árboles de la especie para caracterizar su crecimiento, lo que permite a futuro relacionar parámetros descriptivos del crecimiento (DAP, altura) con variables de interés, como es el volumen de árbol individual y también la cantidad de materia seca. Los antecedentes recopilados permitieron la generación de herramientas de estimación del crecimiento y del volumen de árbol individual, para su uso posterior en la generación de antecedentes de productividad.

Es así como se obtuvo un diámetro promedio de los árboles de 14,9 cm, mientras que la altura registró un valor medio de 17,1 m. La relación Diámetro-Altura observada en los árboles de *Acacia mearmsii* se presenta en el gráfico de la Figura N° 6, mientras que la frecuencia relativa de los diámetros se presenta el gráfico de la Figura N° 7. La descripción de los árboles utilizados en la muestra se presenta en los Cuadros N° 1, N° 2 y N° 3.

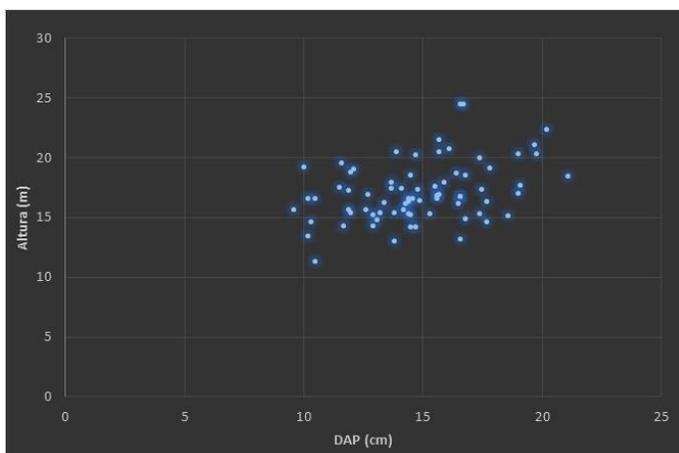


Figura N° 6
RELACIÓN DIÁMETRO-ALTURA

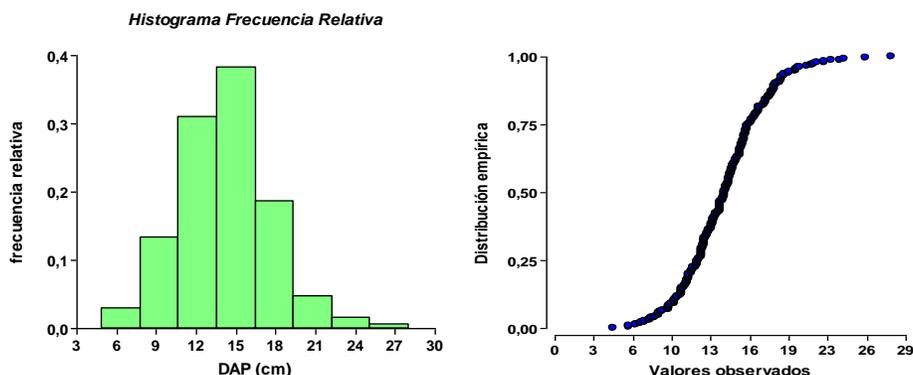


Figura N° 7
FRECUENCIA RELATIVA DE LOS DIÁMETROS OBSERVADOS EN TERRENO

Una vez obtenida la frecuencia de los árboles, se seleccionó una muestra de ellos para ser utilizada en el estudio para generar el modelo de volumen de árbol individual.

La selección de las muestras se realizó considerando la distribución diamétrica existente en el rodal, utilizando los rangos correspondientes al 25, 50 y 75% de los valores obtenidos del diámetro. Al obtener estos valores se ubicaban en el rodal los árboles con estos diámetros para posteriormente ser volteados. De esta forma se seleccionaron finalmente 58 árboles para la realización del estudio.

Cuadro N° 1
DESCRIPCIÓN MUESTRA UTILIZADA

Resumen	DAP (cm)	Altura (m)
N° casos	58	58
N° de observaciones	326	326
N° de observaciones/árbol	6	6
Valor Medio	14,21	15,18
Desviación estándar	1,68	1,64
Valor mínimo	11,70	12,25
Valor máximo	16,90	18,90
Mediana	14,20	15,26

Cuadro N° 2
DESCRIPCIÓN MUESTRA UTILIZADA

Variable	Casos	Observaciones	Observaciones por árbol	Valor Medio	Desviación Estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Mediana
DAP (cm)	58	326	6	14,21	1,68	11,7	16,9	14,2
Altura (m)	58	326	6	15,18	1,64	12,25	18,9	15,26

Cuadro N° 3
DESCRIPCIÓN MUESTRA SEGÚN CLASE DIAMÉTRICA Y RANGOS DE ALTURA

Clase DAP (cm)	Árboles (N°)	DAP Mínimo (cm)	DAP Máximo (cm)	Altura Mínima (m)	Altura Máxima (m)	Mediana (m)
11	15	11,7	11,9	12,40	16,69	14,39
12	5	12,1	12,8	12,40	15,51	15,22
13	14	13,8	13,9	12,25	17,33	16,02
14	5	14,0	14,7	12,96	18,21	14,56
15	12	15,5	15,9	13,07	18,90	15,64
16	7	16,0	16,9	14,90	17,41	15,90

En el gráfico de la Figura N° 8 se presenta la distribución de frecuencias según clases de diámetro, en la Figura N° 9 los valores medios en diámetro y altura de los árboles, y en la Figura N° 10 la distribución de altura según clase de DAP para la muestra volumétrica.

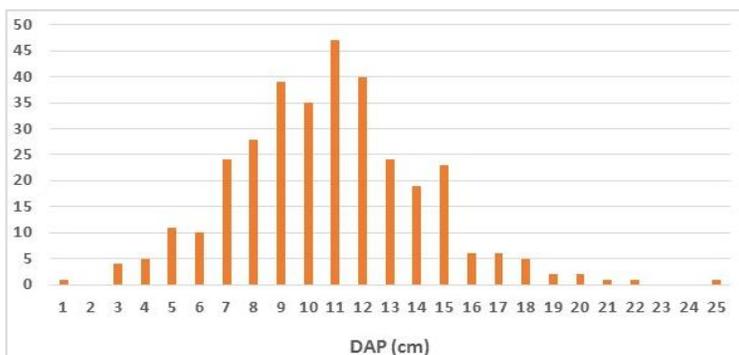


Figura N° 8
DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS SEGÚN CLASE DE DAP

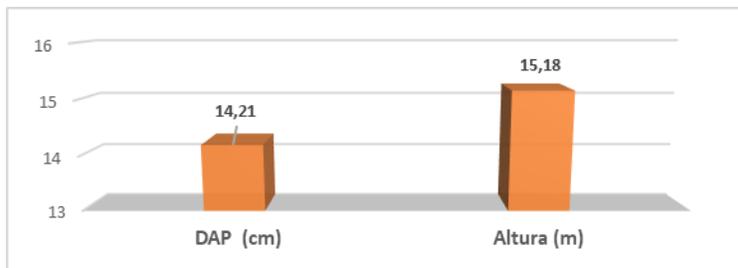


Figura N° 9
VALORES MEDIOS EN DIÁMETRO Y ALTURA DE LOS ÁRBOLES

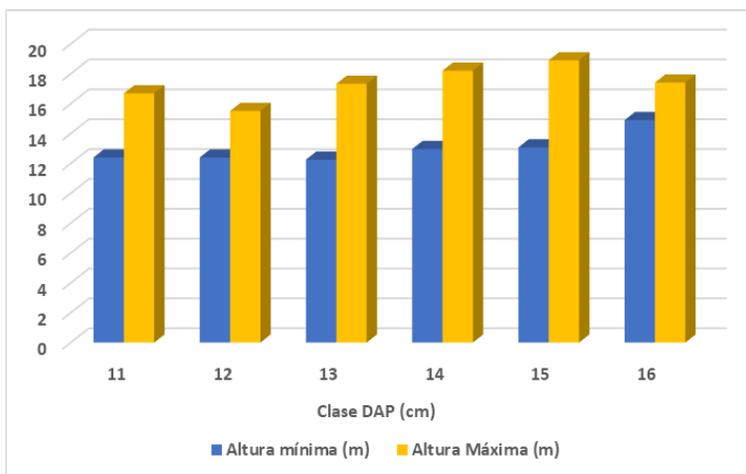


Figura N° 10
DISTRIBUCIÓN DE ALTURAS SEGÚN CLASE DE DAP PARA LA MUESTRA VOLUMÉTRICA

Aplicación y Selección del Modelo de Volumen de Árbol Individual

A cada árbol se le calculó su volumen total, a través de la sumatoria del volumen de las trozas o secciones individuales, mediante el método de Smalian ($V = \frac{[\text{Área sección inicial} + \text{Área sección final}]}{2} \cdot \text{Largo troza}$).

En la Figura N° 11 se presentan los volúmenes de los árboles individuales en relación al DAP.

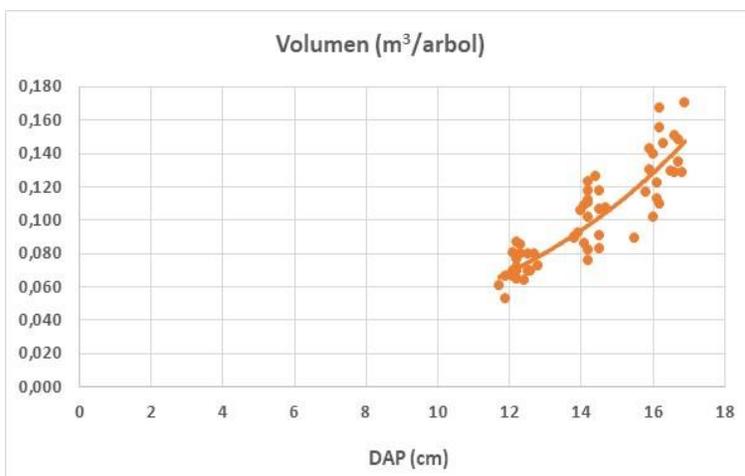


Figura N° 11
VOLUMEN DE ÁRBOL INDIVIDUAL

Se generó una base de datos que contenía los parámetros y volumen calculado de cada árbol, a la cual se agregaron las transformaciones de las variables principales (DAP, altura) de modo de obtener todas las combinaciones que correspondieran a las ya descritas como componente de los modelos de volumen indicados. La base de datos resultado de este proceso fue utilizada para realizar los procesos de análisis de regresión.

Una vez realizados los ajustes correspondientes y analizado los resultados, fue posible a través del método de los mínimos cuadrados y proceso de selección *Stepwise*, generar un set de modelos de volumen de árbol individual para *Acacia mearnsii* creciendo en la Región del Bio Bio.

Como primer resultado se puede señalar que el proceso no registró un buen ajuste de la función de volumen de árbol individual correspondiente al modelo de variables combinadas de Spurr.

Los modelos que generaron los mejores resultados y sus coeficientes de correlación se presentan en el Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4
MODELOS OBTENIDOS Y SUS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

Modelo	Expresión	R ²
1	$VOL = 0,01 + 0,000039 * DAP^2 * H - 0,00015 * DAP^2$	0,9577
2	$VOL = 0,22984 + 0,00003 * DAP^2 * H + 0,00027 * DAPH - 0,08205 * LOGDAP^2 * H$	0,9581
3	$LOGVOL = -3,429977 + 0,627478 * LOGDAP^2 * H + 1,09E-03 * DAPH$	0,9594

VOL = Volumen de árbol individual (m³ssc) hasta diámetro límite 5 cm

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

H = Altura total del árbol (m)

Al aplicar los indicadores de la bondad de ajuste de la función de volumen resultante, se obtuvieron los resultados que se presentan en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5
INDICADORES DE LA BONDAD DE AJUSTE
PARA EL MODELO DE VOLUMEN DE ÁRBOL INDIVIDUAL

Modelo	RECM (%)	DIFA (%)	R ²
1	5,9804	-0,2761	0,9577
2	7,3619	4,1921	0,9581
3	49,3591	35,7476	0,9594

Luego de analizar los resultados obtenidos, es posible concluir que el modelo 1 presentó las mejores capacidades estimadoras del volumen de árbol individual. El modelo resultante es:

$$VOL = 0,01 + 0,000039 * DAP^2 * H - 0,00015 * DAP^2$$

Donde: VOL = Volumen árbol individual (m³ssc) hasta un diámetro límite de 5 cm
DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)
H = Altura total del árbol (m)

En el Cuadro N° 6 se presenta el detalle del análisis de varianza.

Cuadro N° 6
ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados Medios	F	P
Regresión	0,851313791	1	0,851313791	1.06527E+04	0.00
Residual	0,005594066	70	0,000079915		
Total	1	71			

Al aplicar el modelo obtenido en relación con los datos reales del volumen del árbol individual se genera el gráfico de la Figura N° 12.

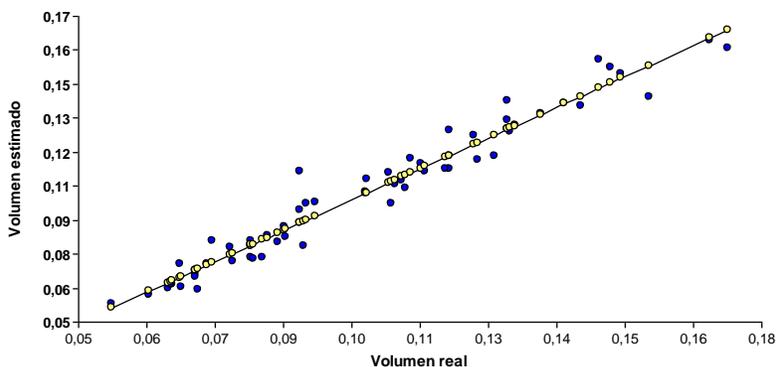


Figura N° 12
VOLUMEN DE ÁRBOL INDIVIDUAL OBSERVADO Y ESTIMADO

La bondad del ajuste del modelo puede ser también apreciada a través de la regresión hecha entre los valores reales del volumen y los valores estimados con el modelo utilizado. Los coeficientes de regresión obtenidos deben cumplir con ciertas hipótesis para asegurar que el ajuste es exacto y preciso, sin presentar sesgos.

La regresión se realiza ajustando un modelo lineal del tipo:

$$Ve = a + b * Vo$$

Donde: Ve = Volumen estimado.
Vo = Volumen observado.
a, b = Coeficientes de la regresión.

Si en las regresiones obtenidas el valor de la constante (a) es igual a cero y el valor del término que acompaña a la variable independiente (b) es igual a 1, se puede determinar que los ajustes son exactos y precisos. Esto significaría que existe una perfecta correspondencia entre el volumen estimado y el volumen real.

Para obtener la significancia estadística de los coeficientes de estas regresiones, los valores resultantes de las dójimas de hipótesis ($t_a=0$; $t_b=1$) se deben comparar con los tabulares de la distribución t de Student, fijando una región crítica para una probabilidad $\alpha=0,05$, con

contraste bilateral. Si el valor calculado es menor que el valor crítico de t para los correspondientes grados de libertad, (n-2), se infiere que la estimación proporciona la exactitud requerida.

Los coeficientes del modelo así resultante y su significación estadística para este análisis corresponden a:

$$V_e = 0,000065 + 0,996585 \cdot V_o$$

Con: $R^2: 0,97$
Error estándar de estimación: 0,00894

El análisis de varianza obtenido se indica en el Cuadro N° 7.

Cuadro N° 7
ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	g.l.	Cuadrados Medios	F	P
Modelo	0,048220	1	0,048220	1.267,319963	<0,0001
Vol Estimado	0,048220	1	0,048220	1.267,319963	<0,0001
Error	0,002131	56	0,000038		
Total	0,050350	57			

El análisis estadístico permite asegurar que el valor de "b" es similar a 1, y el valor de "a" similar a 0. La ausencia de sesgos importantes permite apreciar las buenas propiedades estimadoras de los modelos ajustados.

El análisis de varianza señala, además, que la función de volumen obtenida explica muy bien los datos, ya que el valor del F_{cal} es mayor que el F_{tabla} por lo que las variables independientes tienen influencia en la variable dependiente, haciendo estadísticamente significativo el modelo obtenido.

El modelo presenta un ajuste apropiado para los datos y, dada su simplicidad, se selecciona este modelo como el más aconsejable.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La cuantificación del volumen de los árboles individuales y las plantaciones forestales es una de las principales variables a considerar para la caracterización y descripción de los bosques, en donde este valor representa el resultado de una serie de factores asociados principalmente al sitio forestal, la carga genética y el manejo realizado, que se expresa a través del desarrollo de las variables del diámetro y la altura.

Se ha facilitado la estimación de este parámetro a través del desarrollo y utilización de modelos estadístico-matemáticos que utilizan como variables predictoras del volumen parámetros del árbol de rápida medición, como son el DAP y la altura total y/o alguna otra variable.

Este tipo de modelos predictivos ha sido muy utilizado en el país para su aplicación en las especies forestales de mayor uso en el sector forestal chileno, como lo es para el caso de pino radiata y algunas especies de eucalipto.

Sin embargo, importantes esfuerzos de diversificación se están desarrollando en el país, para enfrentar de los efectos del cambio climático, la aparición de nuevas plagas o enfermedades

forestales o para acceder a nuevos nichos de mercado. Para avanzar en la diversificación forestal se requiere, entre otros avances, del desarrollo de herramientas de estimación del crecimiento y productividad en diferentes situaciones de crecimiento y edades. Es necesario así generar nuevas herramientas de predicción del volumen del árbol individual, en este caso de la especie *Acacia mearnsii*, como una forma de proveer de antecedentes para el fomento a su utilización, siendo el volumen a generar el parámetro de mayor interés.

En este estudio, los valores registrados son similares a los indicados por la bibliografía, la que indica que *Acacia mearnsii* es un arbusto grande o un árbol pequeño, comúnmente de 6 a 10 m de altura, pero puede alcanzar hasta 20 m (Kannegiesser, 1990), antecedentes también corroborados por otros estudios de INFOR con la especie (Pinilla *et al.*, 2015).

Pinilla *et al.* (2018) señalan que a los 8 años de edad se registran valores promedios de 13 cm y 13 m en DAP y altura, respectivamente, con máximos promedio de 18 cm y 20 m, para el DAP y altura, respectivamente, con un área basal de 15 m²/ha y supervivencia de un 90%.

La investigación de INFOR con *Acacia mearnsii* señala que la especie presenta un adecuado crecimiento en Chile, similar a otros países donde se la cultiva, lo que la transforma en un recurso interesante para la industria forestal local, en especial para pequeños y medianos propietarios forestales.

El trabajo desarrollado por INFOR es un esfuerzo por lograr información confiable y certera sobre el crecimiento de la especie, el que se ha complementado con estudios de las propiedades de su madera y con algunos primeros avances en un programa de mejoramiento genético.

En este estudio, los valores obtenidos con los ajustes al modelo utilizado, al aplicar la función obtenida para árboles de *Acacia mearnsii*, comparando los volúmenes reales medidos con los correspondientes estimados, permiten concluir que el modelo desarrollado, que utiliza como variables predictoras el DAP y la altura de los árboles, parece representar razonablemente bien el comportamiento volumétrico de los árboles de esta especie.

La bondad del ajuste del modelo y la ausencia de sesgos importantes entre los valores reales y los estimados, confirma las buenas propiedades estimadoras del modelo ajustado.

El análisis realizado se enmarca en el estudio de la aplicabilidad de los modelos sobre situaciones de crecimiento de la especie en la Región del Bio Bio, requiriéndose ahora validar este modelo en otras situaciones de crecimiento, o bien desarrollar nuevos ajustes y modelos de estimación, indispensables para su uso en la estimación del rendimiento de la especie.

CONCLUSIONES

Luego del análisis de los resultados obtenidos, se concluye que el modelo generado de volumen de árbol individual puede ser aplicado para la especie y que este tipo de información y herramientas de estimación debe apoyar el fomento a nuevas opciones silvícolas, permitiendo la estimación de su productividad y crecimiento en el país.

Los valores de crecimiento de los árboles de *Acacia mearnsii* en Florida, Región del Bio Bio, presentaron a los 14 años un diámetro promedio de 14,2 cm, mientras que la altura registro un valor medio de 15,2 m.

Los valores son similares a los indicados por la bibliografía y a otros estudios desarrollados por INFOR.

El proceso no registró un buen ajuste de la función de volumen de árbol individual correspondiente al modelo de variables combinadas de Spurr.

El volumen promedio de los árboles de *Acacia mearnsii* correspondió a 0,1014 m³ssc.

Luego del análisis de la información el modelo de árbol individual que presentó las mejores capacidades estimadoras es:

$$\text{VOL} = 0,01 + 0,000039 \cdot \text{DAP}^2 \cdot \text{H} - 0,00015 \cdot \text{DAP}^2$$

Donde: VOL = Volumen árbol individual (m³ssc) hasta diámetro límite 5 cm
DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)
H = Altura total del árbol (m)

La bondad del ajuste del modelo y la ausencia de sesgos importantes entre los valores reales y los estimados, confirma las buenas propiedades estimadoras del modelo ajustado.

Acacia mearnsii se presenta como una especie promisoría por su adaptabilidad, características de crecimiento y posibles productos a obtener desde ella (madera, biomasa, taninos a partir de su corteza).

Los antecedentes de crecimiento indican que *Acacia mearnsii* es una alternativa atractiva para los forestadores e industrias del país.

Es necesario seguir obteniendo información del crecimiento de la especie en el país, así como continuar con el desarrollo de modelos locales de volumen abarcando otras áreas geográficas, considerando la posibilidad de ajustar funciones de biomasa.

Se hacen necesarias más investigaciones y por más tiempo, en relación a la especie, analizando especialmente los procesos de competencia por agua, luz y nutrientes.

REFERENCIAS

Australian Government, 2018. *Acacia mearnsii*. Department of Environment and Energy. In: <http://www.environment.gov.au/cgi-bin/species-bank/sbank-treatment2.pl?id=5720>. Consulta noviembre 2018

Bahamóndez, C.; Ferrando, M.; Martín, M. y Pinilla, J. C., 1995. Determinación de Funciones de Volumen para Eucalipto. Antecedentes Biométricos y Modelos de Apoyo a la Gestión y Manejo Racional del Eucalipto. FONDEF-INFOR, Chile.

Martín, M. y Bahamóndez, C., 2000. Determinación de Funciones de Volumen para Eucalipto. Documento de Trabajo PE – 01. Proyecto Escalamiento de las Técnicas de Producción y Manejo de las Principales Especies de Eucalipto Plantadas en Chile. Valdivia, Chile. 10p.

Friedl, R. A.; Correa, M. A.; Toloza, R.; Hennig, H.; Termachuka, M.; Martínez, C.; Osorio, M. y Parodi, G., 2010. Ajuste de un modelo para obtención de volumen para árboles individuales de *Acacia mearnsii* De Wild (Primera Aproximación). 14^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 10, 11 y 12 de junio de 2010 -Eldorado, Misiones, Argentina

INFOR, 1999. Incorporación de especies del género *Acacia* a la producción forestal chilena. Informe de avance. INFOR - CORFO. Concepción. 126 p.

INFOR, 2018. Anuario Forestal 2018. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 163. P. 177.

Kannegiesser, U., 1990. Apuntes sobre algunas acacias australianas: 1. *Acacia mearnsii* de Willd. Ciencia e Investigación Forestal, Volumen 4 (2) diciembre 1990. Instituto Forestal - Chile. pp.198-212.

NAS, 1980. Firewood crops. Shrubs and tree species for energy production. Vol. 1. Washington D.C. National Academy of Sciences, National Academy Press. 237 p.

Pinilla, Juan Carlos, 2000. Descripción y antecedentes básicos sobre *Acacia dealbata*, *Acacia melanoxylon* y *Acacia mearnsii*. Revisión bibliográfica; Instituto Forestal, (Santiago, Chile). Informe Técnico N°147. Santiago. INFOR, 2000. 49 p.

Pinilla, J. C.; Molina, M. P.; Luengo, K. y Navarrete, M., 2015. Evaluación a los tres años de edad de un

ensayo de progenies de *Acacia mearnsii* de Wild establecido en Los Sauces, Región de la Araucanía. En: Ciencia e Investigación Forestal, CIFOR, V.21(1), Pág.: 37-68.

Pinilla, J. C.; Luengo, K. y Navarrete, M., 2018. Crecimiento de *Acacia mearnsii* De Wild en Chile. Primeros Antecedentes. En Actas VII Congreso Forestal Latinoamericano. Vitoria, Brasil, 12 a 15 de junio 2018.

Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F. y Real, P., 1997. Mensura Forestal. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo. San José CR.

Schneider, P.; Dimas, F.; Guimarães, C. y Mayer, J., 2000. Crecimento da acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes espaçamentos. Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 101-112

ESTABLECIMIENTO DE ENSAYO DE PLANTACIÓN SUPLEMENTARIA EN BOSQUES ALTERADOS DE ÑIRRE (*Nothofagus antártica* (G. Forst.) Oerst.) EN LA REGIÓN DE AYSÉN

Salinas, Jaime²; Acuña, Bernardo y Uribe, Alicia.

RESUMEN

La estructura y dinámica de los bosques de especies del género *Nothofagus* de Sudamérica están asociadas a disturbios o alteraciones periódicas, tales como volteos por viento, incendios, movimientos de masas y tectonismo. Los disturbios a pequeña escala, donde solo se produce la caída de árboles individuales o de un grupo de ellos, dan lugar a una dinámica de claros.

Los bosques de ñirre (*Nothofagus antártica* (G. Forst.) Oerst.) no se alejan de esta dinámica de disturbios, estos ecosistemas durante largo tiempo se asocian a una presión de ganado doméstico, al ataque de insectos por su distribución de transición estepárica y han sido asolados durante décadas por incendios forestales, resultando esto en una pérdida estructural, degradación del bosque y un escaso valor comercial.

El ñirre tiene una de las más baja capacidad germinativa del género *Nothofagus*, lo cual afecta su regeneración natural, la que además debe estar soportando la presencia de ganado, competencia con el sotobosque y periodos secos prolongados. Estos factores hacen peligrar la incorporación y desarrollo de la regeneración. Por lo anterior, lograr identificar prácticas que posibiliten la regeneración natural o técnicas de ayuda a la regeneración con la especie es importante para poder recuperar estos bosques. Este trabajo pretende generar el conocimiento en el proceso de instalación de un ensayo de plantación suplementaria en *cluster* bajo un gradiente lumínico para fines de producción, recuperación y restauración de estos bosques en el sur austral de Chile.

Palabras clave: Ñirre (*Nothofagus antártica*), bosques nativos, restauración forestal.

SUMMARY

Structure and dynamics of *Nothofagus* species forests in South America are associated to recurring disturbances and changes, such as forest fires, wind damages, mass movements and tectonics. Small scale disturbances, producing individual trees or small stands falls, drive to a dynamic of forest clearings.

Ñirre (*Nothofagus antarctica*) forests are not the exception and for a long time have been associated to different pressures because of ranching, forest fires, insect attacks and other pressuring factors. As a result, most of the remaining forests have lost their structure and commercial value.

The Ñirre has one of the lowest germination capacity of the *Nothofagus* genus, affecting y its natural regeneration, which also must be supporting the presence of livestock, competition with the understory and prolonged dry periods. These factors restrict natural regeneration incorporation and development. Therefore, to identify practices that enable natural regeneration or techniques to help regeneration with the species is important to recover these forests. This work attempt to generate knowledge in the process by installing a trial of supplementary planting in clusters under a light gradient for production, recovery and restoration of these forests in southern Chile.

Keywords: Ñirre (*Nothofagus antártica*), native forests, forest restoration

² Instituto Forestal, Sede Patagonia, Coyhaique. jsalinas@infor.cl

INTRODUCCIÓN

Ñirre (*Nothofagus antártica* (G. Forst.) Oerst) es una especie del bosque nativo que crece principalmente en las zonas cordilleranas de Chile y Argentina. Es una de las especies forestales con mayor plasticidad ecológica. Su expresión fenotípica, que depende principalmente del sitio donde se desarrolla, fue clasificada en tres morfotipos; arborescente, achaparrado y camefítico (Ramírez *et al.*, 1985). Los bosques de ñirre están clasificados dentro del *Tipo Forestal Lengua*, y descritos informalmente en el *Subtipo Ñirre* que representa una superficie de 131.593,4 ha en la Región de Aysén (Salinas *et al.*, 2017).

Estas formaciones están presentes en la mayoría de las comunas de la Región de Aysén a excepción de la comuna costera de Las Guaitecas. Las mayores poblaciones de ñirre se sitúan en las Provincias de Coyhaique y Capitán Prat, con 61.630,6 ha y 37.241,3 ha, respectivamente (Salinas, 2016).

En el área de distribución natural de los ñirrales la actividad forestal convive con la ganadera, con importantes áreas de resguardo de ganado en épocas invernales y alta presión para la obtención de leña. Un porcentaje importante de los cerca de 500.000 m³ de leña que se consumen anualmente en la Región de Aysén proviene de los bosques de ñirre.

La leña de esta especie es preferida por su alto poder calórico (2.850 kcal/dm³), en comparación con lenga (2.400 kcal/dm³). Esta es una situación que preocupa, dado que estos ecosistemas solo bajo técnicas de manejo apropiadas pueden continuar produciendo a perpetuidad.

En el plano regional el subtipo ñirre ocupa cerca del 37,4% de la superficie. En la mayor parte de estos ecosistemas existe la presencia de ganado. Se suma a este factor de disturbio el bajo poder germinativo de las semillas de esta especie. Salinas *et al.* (2016) encontraron el mayor poder germinativo registrado para ñirre en el territorio nacional, bajo un tratamiento de estratificación en arena fría por 45 días alcanzando un 28% de capacidad germinativa. Ñirre tiene también la capacidad de regenerar de forma agámica, posiblemente una adaptación de la especie a una historia constante de incendios forestales.

Lograr identificar prácticas que posibiliten la regeneración natural o el desarrollo de técnicas de plantación suplementaria con la especie es importantes para que estos bosques no sigan degradándose por disturbios naturales y antrópicos. En el desarrollo de la línea de investigación de INFOR, de mediano y largo plazo, denominada "Tratamientos Silvícolas para el Bosque Nativo con Enfoque Ecosistémico: Técnicas silvícolas que favorecen la regeneración de ecosistemas forestales en Chile", se propuso instalar ensayos que generen conocimiento para el establecimiento adecuado de plantas de ñirre para fines de producción, recuperación y restauración ecológica de estos bosques en el sur austral de Chile.

ANTECEDENTES DE LA ESPECIE

Ñirre es un árbol nativo presente en Chile y Argentina, es una especie monoica que se presenta como árbol pequeño o arbusto achaparrado, aunque generalmente alcanza los 10 m de altura. Sin embargo, en condiciones óptimas de sitio puede alcanzar los 15 m y diámetros de 60 cm (Rodríguez *et al.*, 1983; Donoso, 1974).

Salinas *et al.* (2015) reportan alturas cercanas a los 23 m en suelos profundos de la comuna de Chile Chico, Región de Aysén. En esta región puede asociarse con lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.)), pero generalmente forma bosques puros y coetáneos denominados ñirrales.

Ñirre es considerada la especie de género *Nothofagus* de Sudamérica con mayor variación morfológica y mayor plasticidad ecológica, y se distinguen tres morfotipos en el territorio nacional (Ramírez *et al.*, 1985) (Figura N° 1).

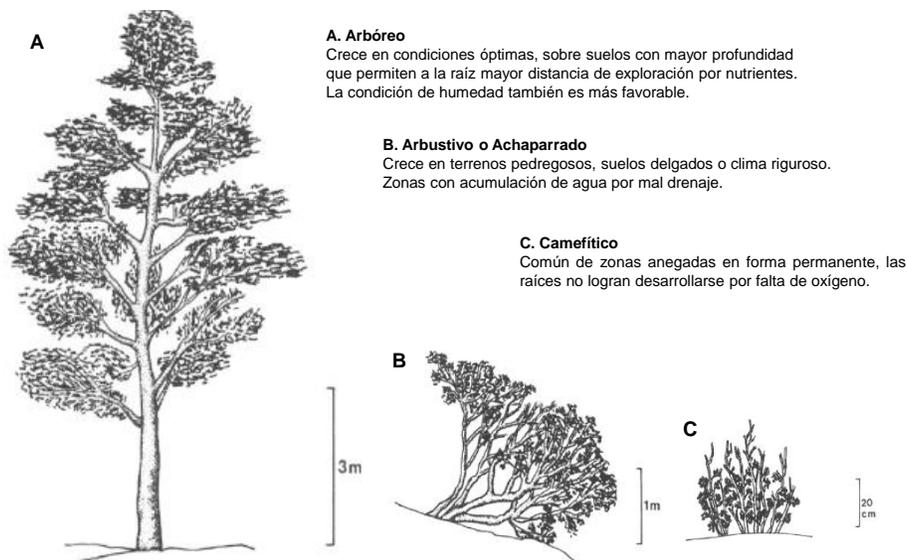


Figura N°1
MORFOTIPOS DE ÑIRRE EN CHILE

La corteza del ñirre es de color gris, rugosa, áspera y muy agrietada longitudinalmente en forma irregular (Figura N° 2). Presenta hojas pequeñas (0,6 a 3,5 cm de largo), ovado-redondeadas a oblongas, con base acorazonada; bordes finamente dentados, lobulados y ondulados que cambian de tonalidad durante el año. Presenta flores femeninas y masculinas, y frutos formados por 3 nueces, de las cuales 2 son triangulares, las que rodean a una plana que se sitúa en el centro (Hoffmann, 1997).

En los hábitats más favorables, protegidos del viento, con mayor humedad y suelos bien drenados y fértiles, alcanza porte arbóreo, y puede dar lugar a formaciones puras (Navarro Cerrillo *et al.*, 2008). Sin embargo, también muestra un buen desempeño en suelos anegados, como señala Donoso (1987).

En suelos ñadis del llano central puede crecer en condiciones óptimas. En la Patagonia, el ñirre domina las tierras bajas, zonas de valles y aquellos terrenos que han sido perturbados por incendios o ganado (Armesto *et al.*, 1992).

La especie se puede desarrollar en variados ambientes, con diferentes condiciones de sitio. En sitios óptimos, con suficiente humedad y bien drenados, en donde los suelos son fértiles y las variaciones de temperaturas anuales y diarias son moderadas, esta especie crece sin mayores problemas, adquiriendo hábito arbóreo.

No obstante, es posible que el ñirre crezca en suelos con variaciones hídricas amplias a lo largo del año, pobres en fertilidad y pedregosos, en zonas alto andinas y en el ecotono bosque-estepa, donde presenta un crecimiento de menor altura, y en sitios de extrema humedad y mal drenaje adopta progresivamente carácter de planta achaparrada o *Krummholz* (Ramírez *et al.*, 1985; Veblen *et al.*, 1996; Donoso, 2006).

En cuanto al sustrato característico de los bosques de ñirre desarrollados en la Cordillera

de los Andes, crece en los límites altitudinales de la vegetación arbórea, formando bolsones de frío, en sustratos pobres en fertilidad y pedregosos, muy secos o húmedos dependiendo de la pendiente.



Figura N° 2
CORTEZA DE ÑIRRE Y DECOLORACIÓN ESTACIONAL DE HOJAS DE ÑIRRE
SECTOR BALMACEDA, REGIÓN DE AYSÉN

En la Depresión Central se desarrolla sobre terrenos planos y suelos conocidos como ñadis, suelos de cenizas volcánicas superficiales que presentan a poca profundidad un *hardpan* de fierrillo que determina las variaciones hídricas del sitio.

En la zona austral de Magallanes y Tierra del Fuego se encuentra en zonas ecotoniales entre el bosque y la estepa, y en morrenas de los sectores de glaciaciones. Se le encuentra también en los límites de la vegetación arbórea. En todos estos casos con condiciones de drenaje restringido, bajas temperaturas y fuertes vientos (Premoli, 1991; Vidal y Premoli, 2004).

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el desempeño de plantas de ñirre en diferentes condiciones de bosques, naturales y alterados.

Objetivos Específicos

Identificación y caracterización sitios para el establecimiento de ensayos de plantación suplementaria en la Región de Aysén.

Elaborar un diseño experimental para el establecimiento de las plantaciones de ñirre y establecer un ensayo de plantación suplementaria en bosques de ñirre alterados.

Monitorear el desempeño de plantaciones de ñirre en diferentes condiciones ambientales.

METODOLOGÍA

Recopilación de Información

La metodología se basa en la recopilación de información de trabajos relacionados con ecología, métodos de plantación, recuperación y restauración de bosques de ñirre, información que fue recopilada desde fuentes primarias y secundarias, visitando bibliotecas digitales (<http://www.beic.cl/>), biblioteca de INFOR (<http://biblioteca.infor.cl/index.asp>) y otras fuentes en espacio web. En paralelo, se plantea mantener y evaluar unidades establecidas en años anteriores.

Ubicación de los Ensayos

Para la elección del terreno para el establecimiento del ensayo se utilizó una imagen satelital de la zona de Balmaceda (comuna de Coyhaique, Región de Aysén). Se llevó a cabo una superposición de una capa de los bosques de ñirre de la comuna de Coyhaique realizada por Salinas *et al.* (2016) y una segunda capa de propietarios de la comuna de Coyhaique, con el fin de definir los posibles candidatos a entrevistar para seleccionar el lugar del ensayo.

Se escogió un ñirrantal en las cercanías de la localidad de Balmaceda, en una condición seca, cercana a la transición con la estepa, sin influencia de napa freática, lugar denominado Galera Chico (GCh).

En este sitio se trabajará en diferentes condiciones de cobertura; un Testigo o Bosque sin Manejo, un Bosque con Manejo en el que se aplicó un raleo por lo bajo extrayendo alrededor del 40% del área basal y un tercer tratamiento en terreno abierto de Pradera Naturalizada resultante de una extracción anterior del bosque para el uso ganadero del terreno.

Caracterización de la Estructura Forestal

En las situaciones de bosque se caracterizó la estructura forestal a través de 3 parcelas circulares de diámetro fijo con una superficie de 200 m².

En cada uno de los árboles contabilizados en cada parcela de inventario se midieron las siguientes variables individuales:

- Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) a 1,30 m de altura (cm).
- Espesor de Corteza (EC) (mm).
- Altura total (HT) (m).

- Clase Social (CS): Posición relativa y tamaño de la copa de cada individuo en el estrato vertical, clasificándolos en dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos.

Dominante: Aquellos individuos cuyas copas se extienden en el nivel general del dosel superior, recibiendo plena luz desde arriba y parcialmente de los lados. Sus copas son bien desarrolladas.

Codominante: Aquellos individuos cuyas copas constituyen el nivel general del vuelo y reciben plena luz desde arriba y se presentan más comprimidas lateralmente en relación con los dominantes.

Intermedio: Aquellos individuos de copas comprimidas que apenas alcanzan el dosel y reciben escasa luz solar directa.

Suprimido: Aquellos individuos cuyas copas se encuentran completamente por debajo del dosel y no reciben luz solar directa.

- Forma (F): Clasificada como mala, regular o buena.

Buena: Individuos rectos a lo largo de todo su fuste y aquellos individuos que poseen pequeñas curvaturas que no impiden la obtención de postes.

Regular: Individuos con defectos de forma (ganchos, bifurcaciones, curvaturas o inclinaciones) que permiten obtener al menos un poste de 2,2 m.

Mala: Individuos con defectos de forma generalizados que no permiten la obtención de postes.

- Sanidad Externa (SE): Clasificada como mala, regular o buena dependiendo de la ocurrencia en el fuste de defectos generalizados, localizados o ausentes, respectivamente. Los defectos incluyen tanto agallas, como canchales, cavidades, rajaduras o daños producidos por la actividad de insectos o pájaros carpinteros.

- Estado de Desarrollo (ED): La clasificación de la fase de desarrollo se determinará a partir de una adaptación para ñirre de la clasificación propuesta de Schmidt y Urzúa (1982). Para dicha clasificación se observa la corteza en el fuste a 1,30 m de altura.

Crecimiento óptimo inicial (COI): Individuos con corteza lisa, sin grietas y las lenticelas a la vista.

Crecimiento óptimo final (COF): Individuos con corteza de grietas poco profundas que conserva vestigios de la corteza COI entre grietas.

Envejecimiento (E): Individuos cuya corteza presenta grietas de mayor profundidad que los individuos COF.

Desmoronamiento (D): Individuos cuya corteza de grietas profundas adquiere una apariencia corchosa, pudiendo observarse desprendimientos de placas de corteza.

- Cobertura de Copas (CC) (%): Considerando los siguientes rangos; 1. menos de 25%; 2. 25 a 50%; 3. 50 a 75% y 4. más de 75%.

Con los resultados de la medición individual de los árboles se estimaron las siguientes variables de rodal:

Altura Dominante (HD): Se calcula como el promedio de la altura total de los individuos dominantes presentes en cada parcela.

Diámetro Cuadrático Medio (DCM).

Área Basal (AB) (m²/ha).

Densidad (N): (árbs/ha).

Volumen total con corteza (VTCC): Se estima a partir de los volúmenes individuales utilizando una ecuación estándar tradicional (Ivancich, 2013) que predice el volumen total con corteza para un diámetro mínimo de 5 cm.

$$VTCC = a \times DAP^b \times HT^c$$

Donde: a, b, c: Coeficientes del modelo: a: 0,0000791214; b: 2,07986; c: 0,655819

VTCC: Volumen total con corteza (m³)

DAP: DAP a 1,30 m (cm)

HT: Altura total del árbol (m)

Diseño Experimental del Ensayo

En cada uno de los tratamientos descritos anteriormente; Testigo o Bosque sin Manejo, Bosque con Manejo en el que se aplicó un raleo por lo bajo extrayendo alrededor del 40% del área basal y terreno abierto de Pradera Naturalizada, se establecieron tres clausuras rectangulares de 10 x 20 m, protegidas por cercos con malla hexagonal para evitar daños por bovinos y lagomorfos.

Al interior de cada clausura se establecen plantas de ñirre en *clusters*, agrupando un total de 5 plantas por *cluster* (Figura N° 3), y en cada clausura se establece un total de 40 clusters (N=200 plantas). Previo al establecimiento se controlaron las malezas de forma manual.

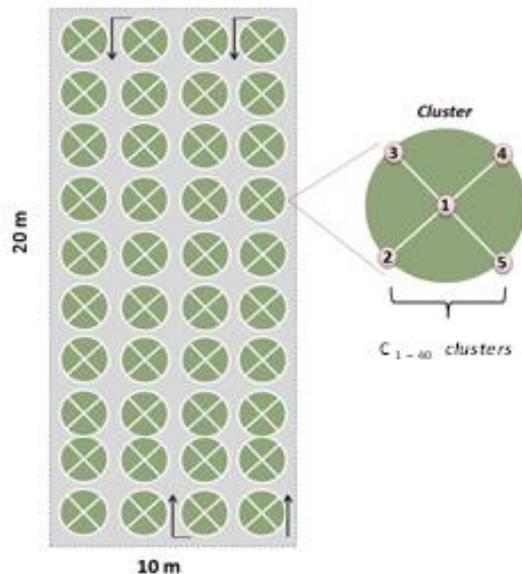


Figura N° 3
DISEÑO DE PLANTACIÓN SUPLEMENTARIA EN CLUSTERS

Cada planta en los *clusters* es individualizada para registrar anualmente las siguientes variables: Diámetro altura del cuello (DAC) (mm), Altura total (cm), Supervivencia (%) y Ramoneo (presente y ausente), a partir del segundo año.

Además, se registran algunas variables climáticas del sitio (temperatura ambiental precipitación, humedad ambiental y velocidad del viento), con la instalación de estaciones meteorológicas móviles, y variables más específicas con el uso de *dataloggers* (humedad suelo) y penetrómetro (compactación de suelo).

También se utilizan fotografías hemisféricas para evaluar parámetros lumínicos de cada tratamiento.

Análisis Estadístico

Preliminarmente se realizará un análisis de varianza para probar potenciales diferencias en crecimiento de la plantación bajo cobertura. Las variables respuestas serán el crecimiento en DAC (cm), altura (cm) y volumen individual (cm³/planta). La variable independiente serán los tratamientos silvícolas (testigo, silvopastoral y pradera naturalizada).

Un análisis más detallado se realizará a nivel de planta individual. El crecimiento (DAC, altura y volumen) será modelado por medio de regresión lineal múltiple. Como predictores se utilizará la disponibilidad de luz (% transmitido), el contenido de humedad de suelo (%) y la resistencia a la penetración (MPa). Como variable indicadora se utilizarán los tratamientos silvícolas (n=3).

Para el potencial ramoneo se utilizará regresión logística para variables binarias (presente y ausente) con una extensión *Logit*. El ramoneo será modelado utilizando la disponibilidad de luz, el contenido de humedad de suelo y la resistencia a la penetración, y sus interacciones como predictores.

Todos los análisis serán realizados usando un nivel de confianza de un 95%.

RESULTADOS

Evaluación de la Estructura Forestal

La edad media del rodal del sector Galera Chico se determinó a través de la corta de rodelas a diferentes alturas, posteriormente se procedió a cuantificar los anillos de crecimiento de árboles cuyos diámetros se distribuían entre 9 y 32 cm. Con este análisis se determinó la edad del rodal, que fluctúa entre 32 y 77 años, con un promedio de 50 años.

Cuadro N° 1
CARACTERIZACIÓN DEL MUESTREO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EDAD DEL BOSQUE

	DAP (cm)	H _{tot} (m)	Edad (años)
Media	18,29	9,44	50
Min	9,20	5,75	32
Max	32,50	12,80	77
S _y ²	42,62	3,68	
S _y	6,53	1,92	
S _y (%)	0,36	0,20	

En cada situación con bosque de ñirre, se realiza anualmente un seguimiento de la respuesta al raleo, realizando una comparación de las situaciones originales y de los bosques con intervención silvícola.

Esta evaluación se realizó sobre 3 parcelas permanentes circulares de 200 m² (radio= 7,98 m) que fueron instaladas en cada tratamiento anteriormente.

Cada árbol de la parcela fue identificado, numerado y marcado a la altura del DAP (1,3 m).

Para la obtención de la información dasométrica de cada árbol se midieron las variables altura total y de comienzo de copa utilizando Vertex, el DAP con forcípula, la sanidad (buena, mala, regular), la forma (buena, mala, regular), las clases de copa (dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos), el espesor de corteza utilizando calibrador y, finalmente, la regeneración natural a través de 4 sub parcelas de 1m² distribuidas en los sentidos cardinales (N, S, E, O).

Cuadro N° 2
PROMEDIOS Y DESVÍOS DE LAS VARIABLES DE ESTRUCTURA FORESTAL
DE LAS PARCELAS PERMANENTES

Tratamiento	Año	N (árb/ha)	DCM (cm)	HD (m)	AB (m ² /ha)	VTCC (m ³ /ha)
Bosque sin Manejo	2015	6.717 ±1415	9,4 ±0,9	9,8 ±0,6	45,9 ±4,6	231,4 ±37,6
	2016	6.633 ±1407	9,5 ±0,8	10,1 ±0,7	46,6 ±4,9	235,5 ±36,4
Bosque con Manejo	2015	1.483 ±153	13,1 ±0,7	9,6 ±1,5	20,3 ±4,3	104,3 ±32,5
	2016	1.483 ±144	13,7 ±1,0	10,2 ±1,2	22,1 ±5,4	115,2 ±39,9

N: Densidad, AB: Área basal; DCM: Diámetro cuadrático medio;
HD: Altura dominante; VTCC: Volumen total con corteza.

La densidad del Bosque sin Manejo fue de 6.717 árb/ha, una densidad común de encontrar en renovales de ñirre de mediana edad como este.

Es importante considerar la tasa de mortalidad natural del ñirre producto de la competencia intraespecífica, que para la temporada de un año de evaluación fue de 84 árb/ha para el bosque sin intervención comparado con el bosque raleado donde no se observó muerte natural.

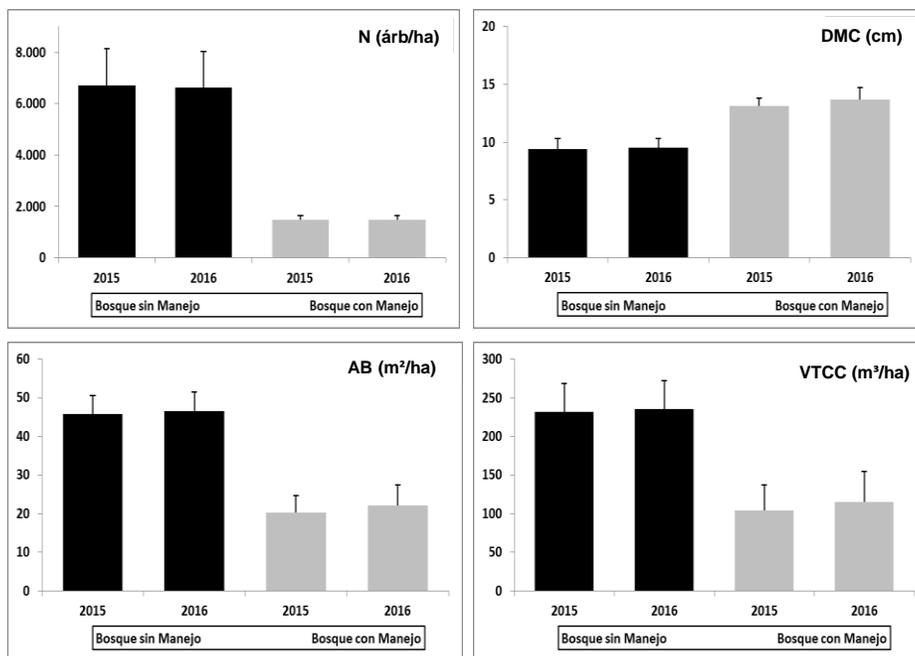


Figura N° 3
PROMEDIOS Y DESVIOS DE LAS VARIABLES DE ESTRUCTURA FORESTAL BOSQUE CON Y SIN MANEJO TEMPORADA 2015 – 2016

Cuadro N° 3
INCREMENTO EN DIÁMETRO, ÁREA BASAL Y VOLUMEN POR TRATAMIENTO

Tratamiento	Inc DMC (cm)	Inc AB (m²/ha)	Inc VTTC (m³/ha)
Bosque sin Manejo	0,13 ±0,10	0,74 ±0,8	4,12 ±3,8
Bosque con Manejo	0,57 ±0,3	1,87 ±1,1	10,88 ±7,4

La evaluación de parcelas permanentes de Bosque con Manejo mostró una favorable respuesta al raleo.

El incremento en diámetro cuadrático medio fue 438% superior al encontrado en el Bosque sin Manejo, mientras que el incremento en la situación con manejo en términos de AB y en VTCC fue 253% y 264% superior, respectivamente, al encontrado en el Bosque sin Manejo.

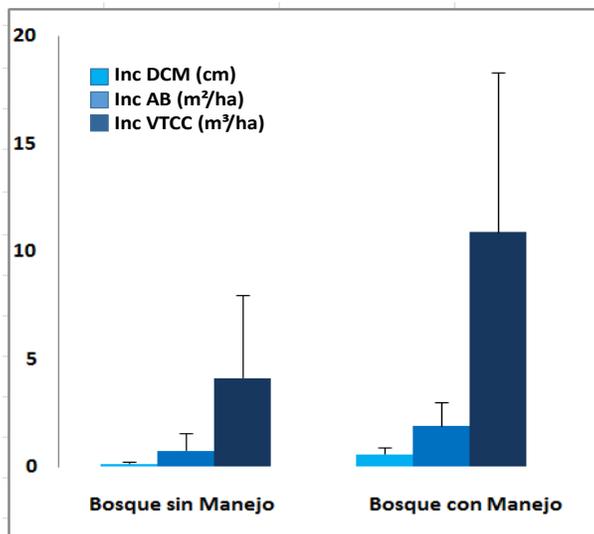


Figura N° 4
PROMEDIOS Y DESVÍOS DEL INCREMENTO ANUAL EN DIÁMETRO, ÁREA BASAL Y VOLUMEN

En el Cuadro N° 4 se presenta la participación porcentual de los tratamientos por estado de desarrollo en relación al diámetro medio cuadrático (DMC). La anterior clasificación es usada para otros Tipos Forestales que difieren mucho de los bosques de ñirre (Ej. Lengua), por lo que es necesario crear una clasificación individual para este tipo de bosques, que responda no solo a las variables dasométricas, sino que más bien incorpore otras variables del sitio.

En el cuadro mencionado se clasifica el Bosque sin Manejo en su mayoría como *Brinzal Alto*. Por otro lado, el tratamiento de Bosque Manejado fue clasificado en un 100% como *Latizal Bajo*.

Cuadro N° 4
CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE DESARROLLO
A TRAVÉS DE LA PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DEL DMC EN CADA TRATAMIENTO

Estado de Desarrollo	Rango DMC (%)	Bosque sin Manejo (%)		Bosque con Manejo (%)	
		2015	2016	2015	2016
Repoblado		-	-	-	-
Brinzal	Bajo	-	-	-	-
	Alto	100	66,7	-	-
Latizal	Bajo	> 10	≤ 20	33,3	100
	Alto	> 20	≤ 30	-	-
Fustal	Joven	> 30	≤ 50	-	-
	Fustal	> 50	≤ 70	-	-
Sobremaduro	> 70	-	-	-	-

La clase social de las copas se presenta en la Figura N° 5, donde es posible diferenciar gráficamente cada clase de copas para orientar la intervención silvícola futura. El tratamiento del Bosque con Manejo posee una menor proporción de individuos suprimidos no superando el 7% de participación, hecho contrario ocurre en el tratamiento con cobertura completa (Bosque sin Manejo) donde ocurre una mayor proporción de individuos suprimidos de 15%. Existe una alta proporción de la clase social Intermedio en ambos tratamientos cercanos al 60% y una menor proporción de árboles dominantes cercano a 1/3 del total.

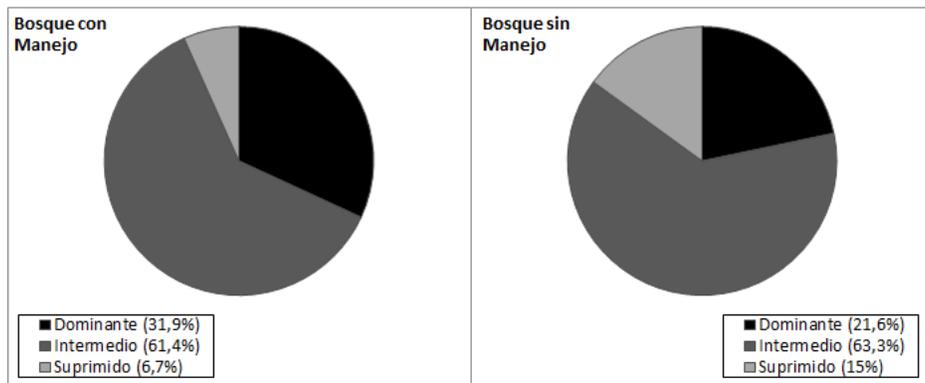


Figura N° 5
PARTICIPACIÓN DE LA POSICIÓN RELATIVA DE LAS COPAS EN LOS BOSQUES CON Y SIN MANEJO

Caracterización del Área de Estudio

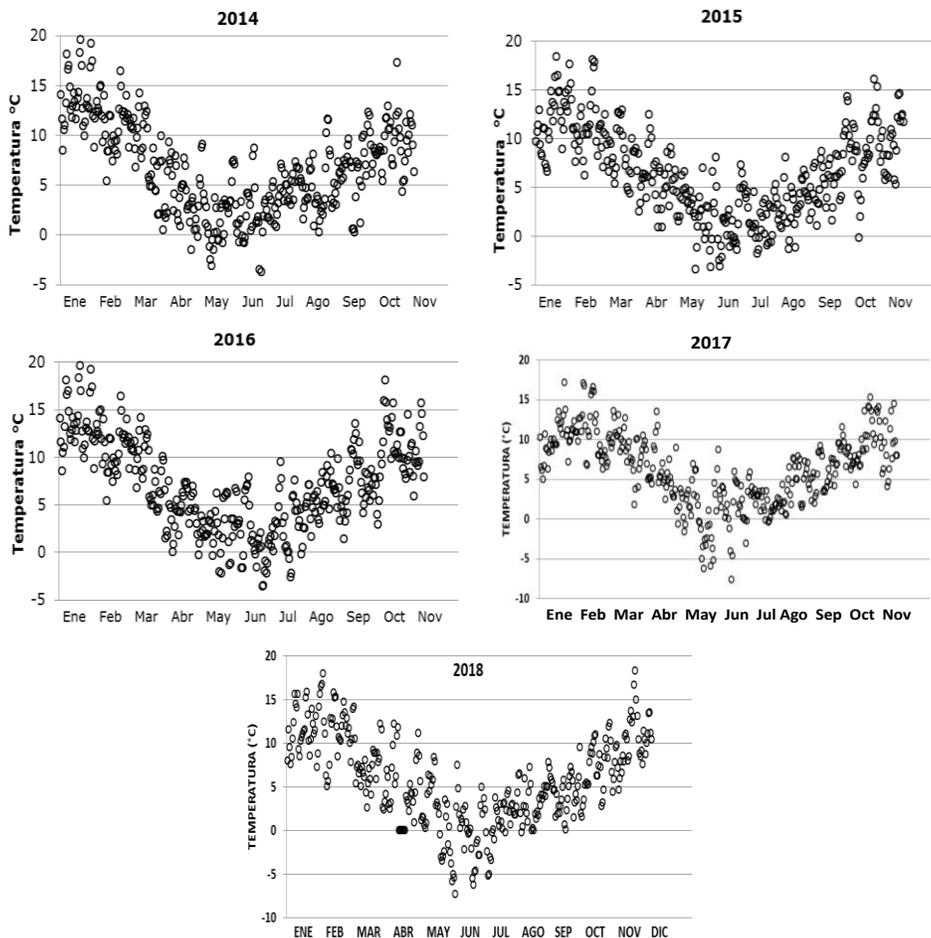
El ensayo se estableció en las cercanías de Balmaceda, en un sector denominado Galera Chico en la comuna de Coyhaique, en este lugar existe un rirrantal en una condición seca, ubicado en un sitio de transición de estepa, sin influencia de napa freática. El predio se denomina Los Mallines y es de propiedad del Sr. Claudio Bambs, coordenadas 45° 50' S - 71° 49' O.

La situación de estudio escogida se encuentra en la zona de transición con la estepa patagónica. Se trata de bosques puros y coetáneos, el morfotipo presente es arbóreo, aunque en esta zona ecotonal es común encontrar el morfotipo arbustivo relegado a suelos someros de bajo contenido nutricional. Los suelos de estos sectores cercanos a la localidad de Balmaceda corresponden a formaciones de Xerolls, que se caracterizan por estar bien drenados (gran grupo Haploxerolls). En posiciones bajas con problemas de drenaje se encuentran suelos Inceptisols (Gran Grupo Haplaquepts).

- Clima

Esta zona se caracteriza por presentar un clima de estepa fría de vertiente oriental de los Andes Patagónicos o Transandinos y está protegida por el cordón montañoso de la cordillera, la que permite una disminución notable de las precipitaciones en comparación con el sector de archipiélagos (clima oceánico) que se encuentran en la misma latitud. En el lado oriental los valores de las precipitaciones bajan hasta 621 mm anuales en Balmaceda.

Se registraron las variables climáticas imperantes a través de la estación meteorológica permanente Vista Hermosa ubicada a 10 km del sitio de estudio. Las variables registradas por los equipos meteorológicos fueron temperatura media del aire y precipitaciones (Figuras N° 6 y N° 7). La información meteorológica se obtuvo del sitio web Agromet de la Red Agrometeorológica de INIA (<http://agromet.inia.cl>).



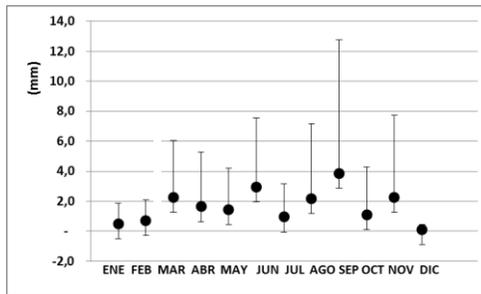
(Fuente: elaboración propia desde <http://agromet.inia.cl>)

Figura N° 6
TEMPERATURAS TEMPORADAS 2014 A 2017 ESTACIÓN METEOROLÓGICA VISTA HERMOSA

De acuerdo a la clasificación de Köppen, el clima de la Región de Aysén corresponde a Trasandino con Degradación Esteparia y se caracteriza por un volumen de precipitaciones y por potencia de los vientos de gran intensidad.

La temperatura media y media mínima anual es de 8,7 °C y 3,9 °C, respectivamente (máxima de enero es de 18,7 °C y mínima de julio es de -0,7 °C).

La precipitación media es de 1.200 mm, (IREN, 1979), con un periodo corto de escasez de precipitación entre enero y febrero. Los vientos promedios fluctúan entre 37 y 56 km/h, con ráfagas de 60 - 80 km/h en época de primavera.



(Fuente: elaboración propia desde <http://agromet.inia.cl>)

Figura N° 7
PRECIPITACIÓN ANUAL ESTACIÓN METEOROLÓGICA VISTA HERMOSA

La temperatura muestra una marcada tendencia a medias mensuales inferiores a 10°C gran parte del año. Durante los períodos de evaluación de ensayos, la temperatura media anual del año 2018 fue de 5,9 °C. Las temperaturas mínimas se presentaron en los meses de junio y julio con promedios de -0,5 y -0,4 °C, respectivamente.

Si bien la temperatura podría generar una disminución de la temperatura del bosque por convección, la estructura del bosque y del suelo permite la mantención de estas un poco más altas y permitir el desarrollo y crecimiento normal para las especies adaptadas a estas condiciones del ambiente.

El mes de septiembre fue el mes del año con mayor precipitación acumulada de la temporada, con un valor de 116 mm.

En general, las precipitaciones en zonas de transición esteparia son bajas, aun así, en situaciones donde ñirre se desarrolla en mallines, con presencia de un *hardpan* de fierrillo, se generan condiciones restringidas de drenaje y acumulación de agua (producto del derretimiento de nieve en las cumbres de montañas), lo que, sumado a las bajas temperaturas y la fuerza del viento, convierte estos ambientes en lugares inhóspitos para el desarrollo de masas boscosas. Sin embargo, la plasticidad fenotípica observada en ñirre permite su adaptación y desarrollo en este tipo de condiciones ambientales, en las cuales otras especies del género *Nothofagus* no prosperarían.

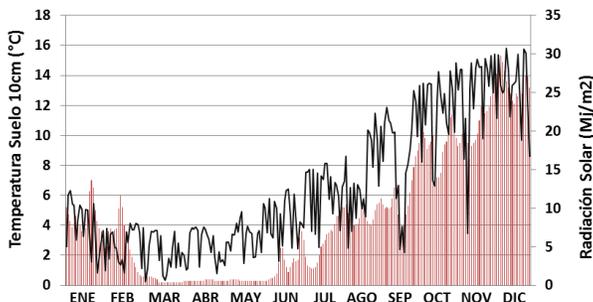


Figura N° 8
TEMPERATURA DEL SUELO (10 CM) Y RADIACIÓN SOLAR DURANTE LA TEMPORADA 2018
INFORMACIÓN OBTENIDA DESDE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA VISTA HERMOSA

- **Suelos**

La caracterización de la fertilidad del suelo se describe en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5
FERTILIDAD INICIAL DE SUELOS MICRO Y MACRO ELEMENTOS

Elementos	Unidad	Tratamientos		
		Testigo	Silvopastoral	Pradera Natural
N	mg/kg	32	26	57
P	mg/kg	36,1	39,3	18,3
K	mg/kg	446,2	373,7	523,1
S	mg/kg	4,54	4,26	2,92
pH	-	6,26	6,38	6,10
M.O.	%	22,9	20,0	23,3
Ca	cmol(+)/kg	16,26	15,89	14,49
Mg	cmol(+)/kg	4,03	3,65	3,82
K	cmol(+)/kg	1,13	0,95	1,40
Na	cmol(+)/kg	0,01	0,05	0,04
Al	cmol(+)/kg	0,03	0,02	0,03
CICE	-	21,48	20,56	19,79
Sat. Al.	%	0,13	0,11	0,15
B	Ppm	1,20	0,80	1,01

El sitio posee niveles de nitrógeno adecuados, el fósforo disponible en este caso es alto, los valores de potasio disponible en general son más bien elevados, los niveles de bases de intercambio (Ca, Mg, K, Na) son altos, hay una baja saturación de aluminio y los valores de pH están en el rango de ligeramente ácido y son característicos de esta zona. En consecuencia, se trata de suelos sin limitantes de fertilidad para el desarrollo del bosque.

Según IREN (1979) este tipo de suelos corresponden a la asociación Balmaceda y se ubica al norte del aeropuerto internacional hasta el río Simpson, y por el Este a la altura del río Oscuro. Su posición fisiográfica corresponde a un plano de inundación, con relieve plano o casi plano, con ligeros a fuertes micro relieves producidos por la erosión eólica.

El drenaje es pobre a muy pobre, encontrándose áreas de drenaje muy restringido. Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos finos de origen fluvio-lacustres y lacustres, que han formado perfiles estratificados. Son suelos profundos, con moderada agregación en superficie y escaso desarrollo genético del perfil. Sus texturas se van haciendo finas en profundidad y el color dominante gris evidencia los problemas de drenaje del área.

Los suelos de esta asociación se han clasificado la mayor parte en Clase VI de capacidad de uso y Sub-Clase "w", no obstante, su condición de humedad, se encuentra severamente afectada por erosión eólica.

Establecimiento de la Plantación Suplementaria de Ñirre

En el mes de septiembre de 2018 se instaló la unidad de investigación que permitirá generar la propuesta de plantación suplementaria para la especie ñirre.

La unidad contempla tres situaciones bajo un gradiente lumínico, dado por un bosque testigo en el cual no se intervino el dosel, un segundo tratamiento en el que se aplicó un raleo por lo bajo extrayendo alrededor del 40% del área basal y un tercer tratamiento en terreno abierto o pradera naturalizada resultante de una extracción anterior del bosque para el uso ganadero del terreno.

Los tratamientos que contienen bosque corresponden a ñirrales ubicados en la

transición con la estepa patagónica, en una condición seca donde no existe influencia de napa freática.

- **Establecimiento de Clausuras y Cerco Perimetral**

Una vez seleccionado el sitio específico del ensayo se estableció el cerco perimetral, que correspondió a un cerco tradicional, construido con postes de madera distanciados a 4 m, cinco hebras de alambre (3 hebras de alambre liso y 2 hebras de alambre púas), donde finalmente se instaló una malla para evitar daños de liebres y ganado doméstico.



Figura N° 9
CONSTRUCCION DE CERCO PERIMETRAL

- **Control de Malezas**

Posteriormente a la instalación del cerco se realizó el control de malezas de cada clausura. Se trata de sitios que han sido pastoreados durante años, por lo que el movimiento de semilla genera en cada temporada altos niveles de forraje, el cual es una potencial competencia para las plantas de ñirre. Para disminuir la competencia en las primeras temporadas se realiza el control de la cubierta forrajera de la pradera o sotobosque del ñirrantal. El control se realizó mediante un operador técnico empleando una motoguadaña (Figura N° 10).



Figura N° 10
CONTROL DE MALEZAS

- **Delimitación de los *Clusters* de Plantación**

En cada clausura se delimitaron 40 *clusters* de 1 m² para cuya demarcación se utilizó cinta de marcación y tubos de PVC, tal como se indica en la Figura N° 11. Entre cada *clusters* se dejó una separación de 1,5 m con el fin de diferenciar al momento de medir las plantas.

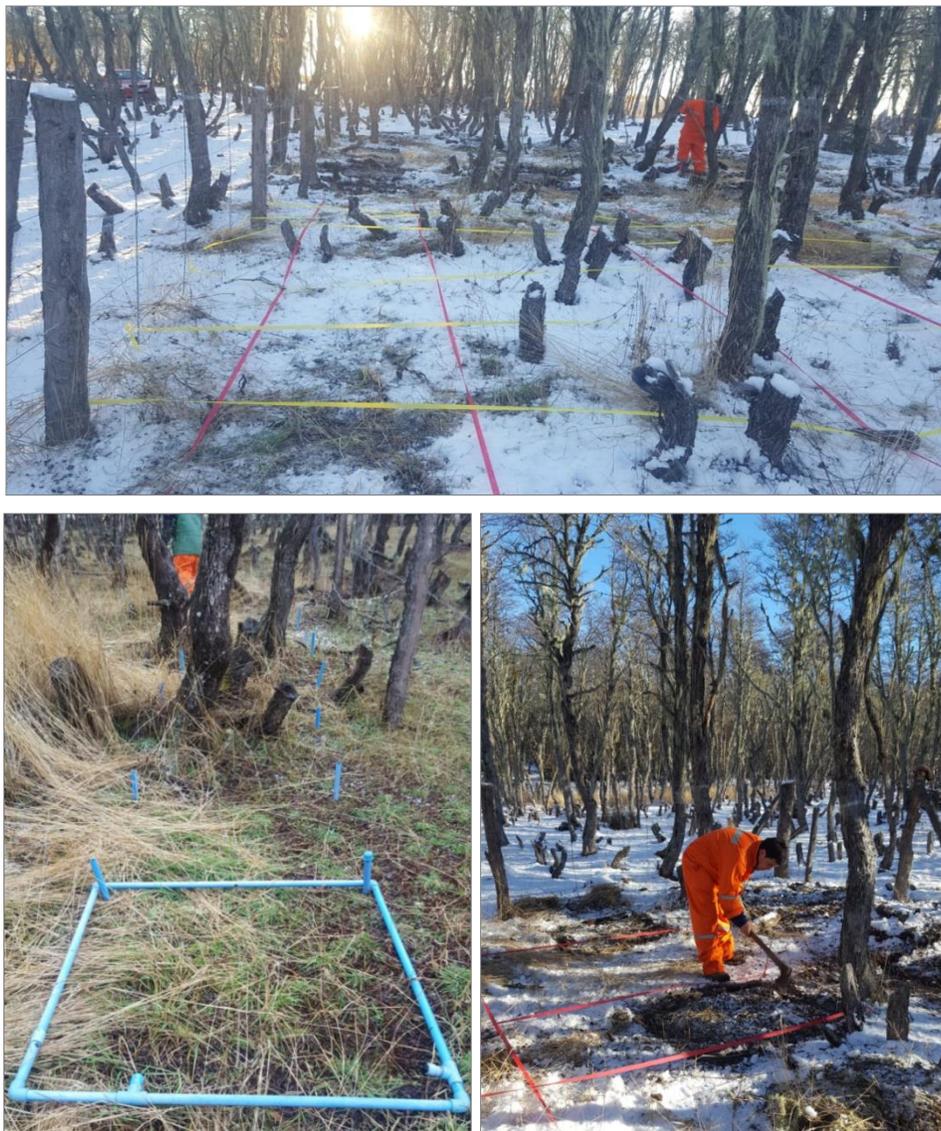


Figura N° 11
DELIMITACIÓN Y MARCACIÓN DE *CLUSTERS*

- Limpieza de los *Clusters*

Delimitados los *clusters* al interior de las clausuras, se procedió a la limpieza del material vegetal de cada *cluster* (1 m² x 40 *cluster* x 3 clausuras x 3 tratamientos). Esta labor se realizó en forma manual con la utilización de azadón.



Figura N° 12
LIMPIEZA DE LOS CLUSTERS

Evaluación de Parámetros Morfológicos de la Plantación

La evaluación de los parámetros morfológicos iniciales de las plantas de ñirre se efectuó durante el mes de noviembre de 2018.

Con la evaluación inicial de los parámetros morfológicos de las plantas se caracteriza el ensayo de plantación suplementaria desde su instalación. Con el fin de conocer el comportamiento de la especie bajo diferentes niveles de luminosidad. En esta evaluación se mantendrá una periodicidad de evaluaciones anuales.

La evaluación consideró DAC (mm) y Ht (m) para cada *cluster* en los tratamientos Bosque, Bosque raleado y Pradera naturalizada, incorporándose además la variable con y sin control de competencia de malezas.



Figura N° 13
EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MORFOLÓGICOS DE PLANTAS

Bosque sin Manejo

La medición inicial de los parámetros morfológicos de plantas establecidas en el tratamiento Bosque sin Manejo, dio como resultado un DAC medio de $2,88 \pm 1,0$ mm y una altura promedio de $16,73 \pm 7,5$ cm (Figuras N° 14 y N° 15).

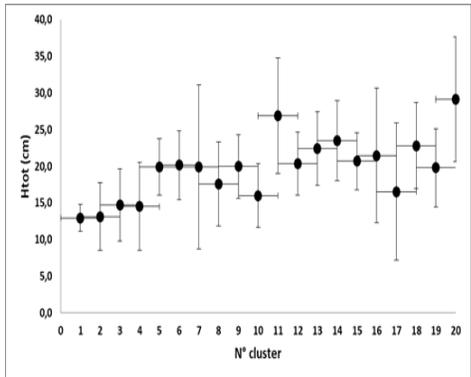
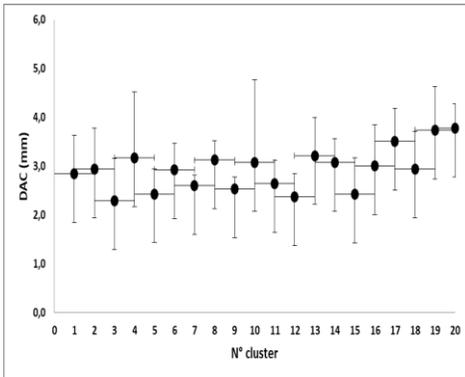
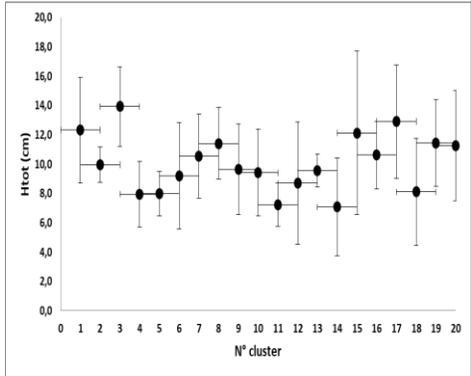
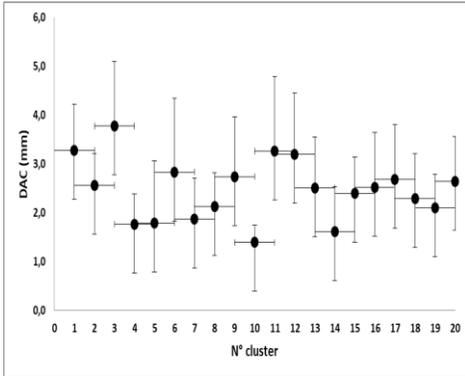
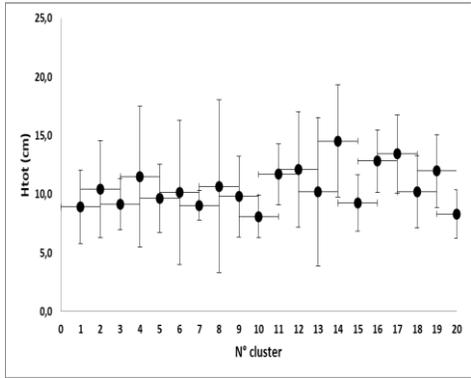
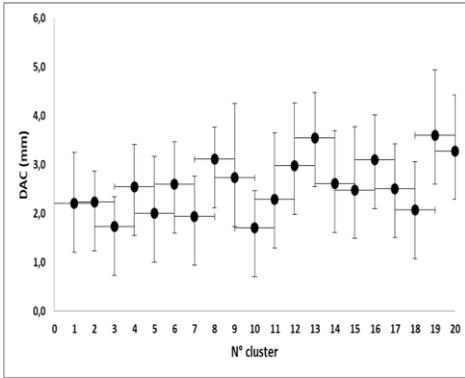


Figura N° 14
**DIÁMETRO DE CUELLO (DAC) Y ALTURA TOTAL (HTOT) PLANTAS
 BOSQUE SIN MANEJO Y SIN CONTROL MALEZAS**

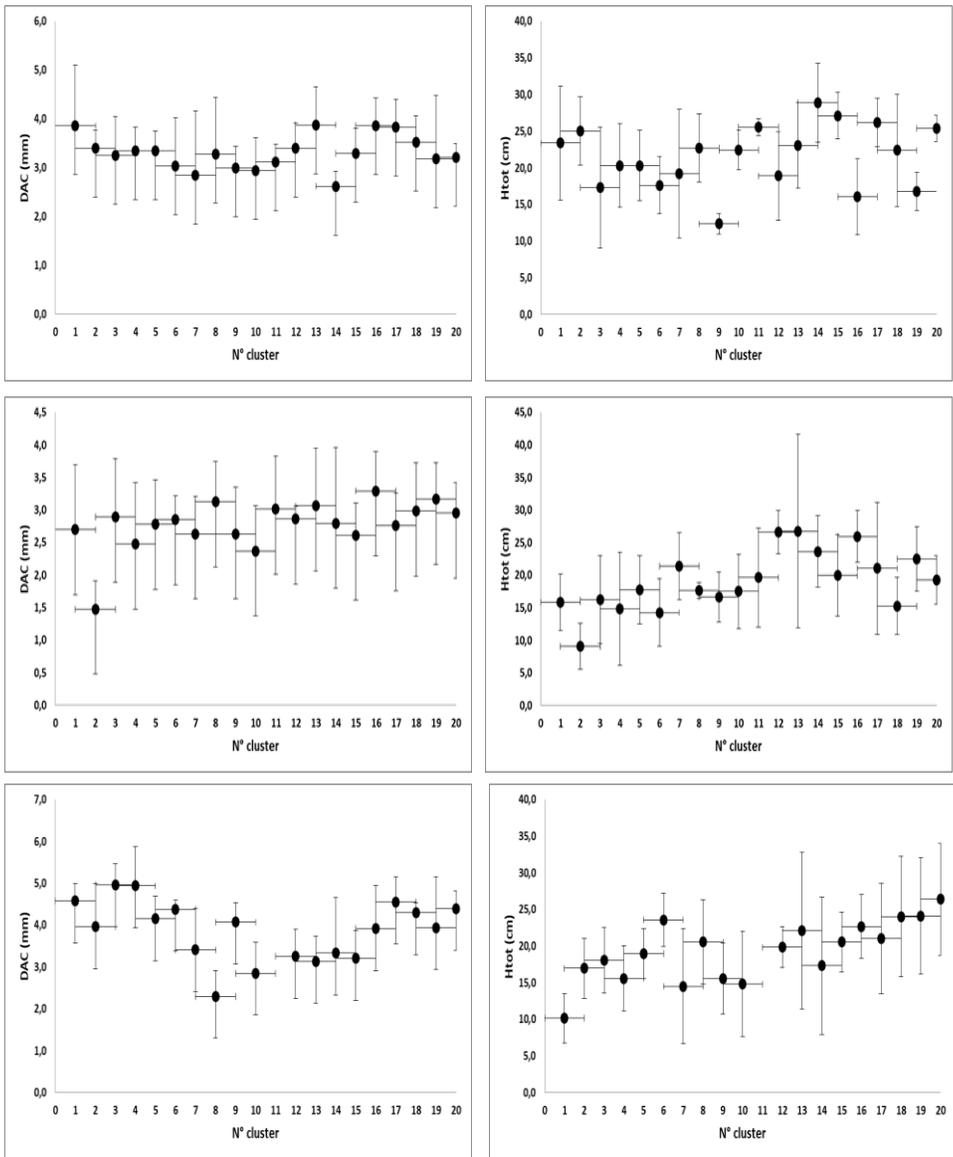


Figura N° 15
DIÁMETRO DE CUELLO (DAC) Y ALTURA TOTAL (HTOT) PLANTAS
BOSQUE SIN MANEJO Y CON CONTROL MALEZAS

- **Bosque con Manejo**

La medición inicial de los parámetros morfológicos de plantas establecidas en el tratamiento Bosque con *Manejo dio como* resultado un DAC medio de $3,52 \pm 0,94$ mm y una altura promedio de $21,77 \pm 7,11$ cm (Figuras N° 16 y N° 17).

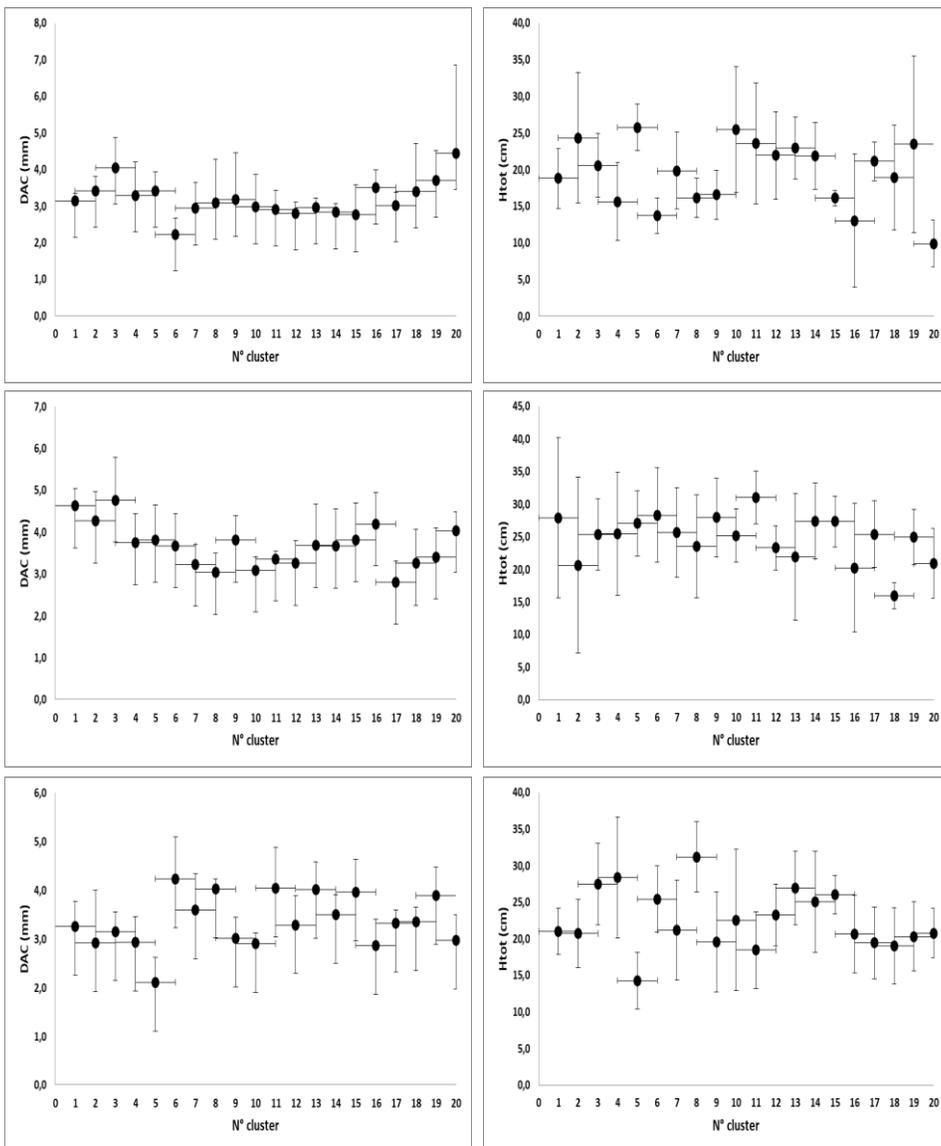


Figura N° 16
DIÁMETRO DE CUELLO (DAC) Y ALTURA TOTAL (HTOT) PLANTAS
BOSQUE CON MANEJO Y SIN CONTROL MALEZA

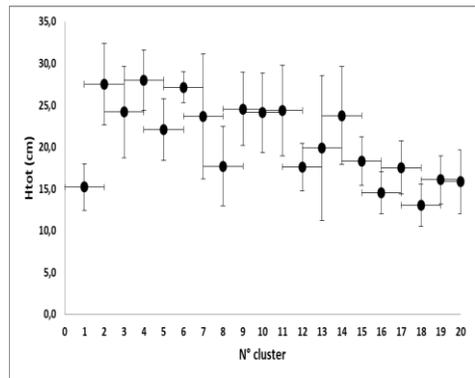
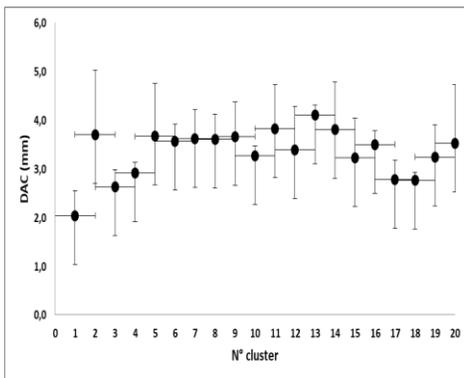
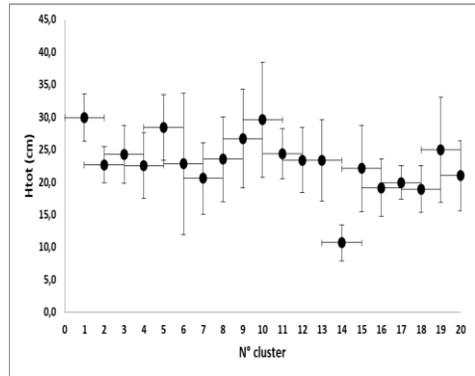
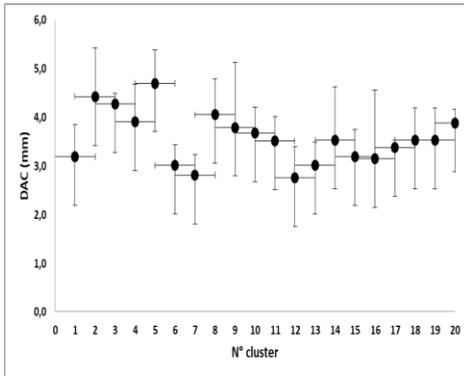
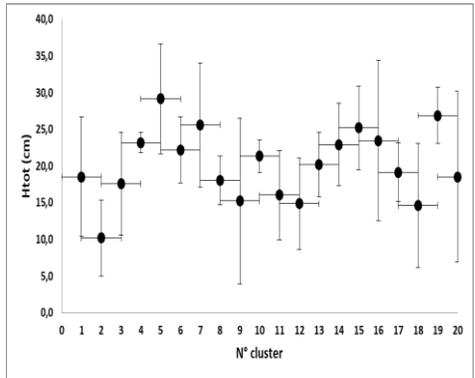
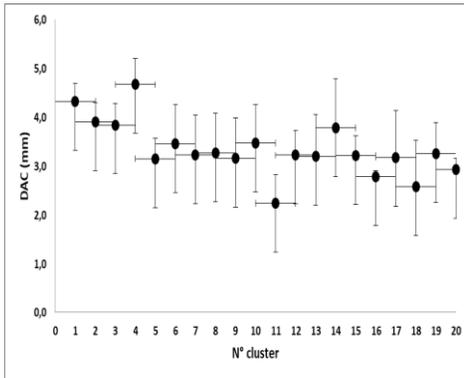


Figura N° 17
DIÁMETRO DE CUELLO (DAC) Y ALTURA TOTAL (HTOT) PLANTAS
BOSQUE CON MANEJO Y CON CONTROL MALEZA

Pradera Naturalizada

La medición inicial de los parámetros morfológicos de plantas establecidas en el tratamiento Pradera Naturalizada dio como resultado un DAC medio de $3,20 \pm 1,33$ mm y una altura promedio de $21,55 \pm 7,13$ cm (Figuras N° 18 y N° 19).

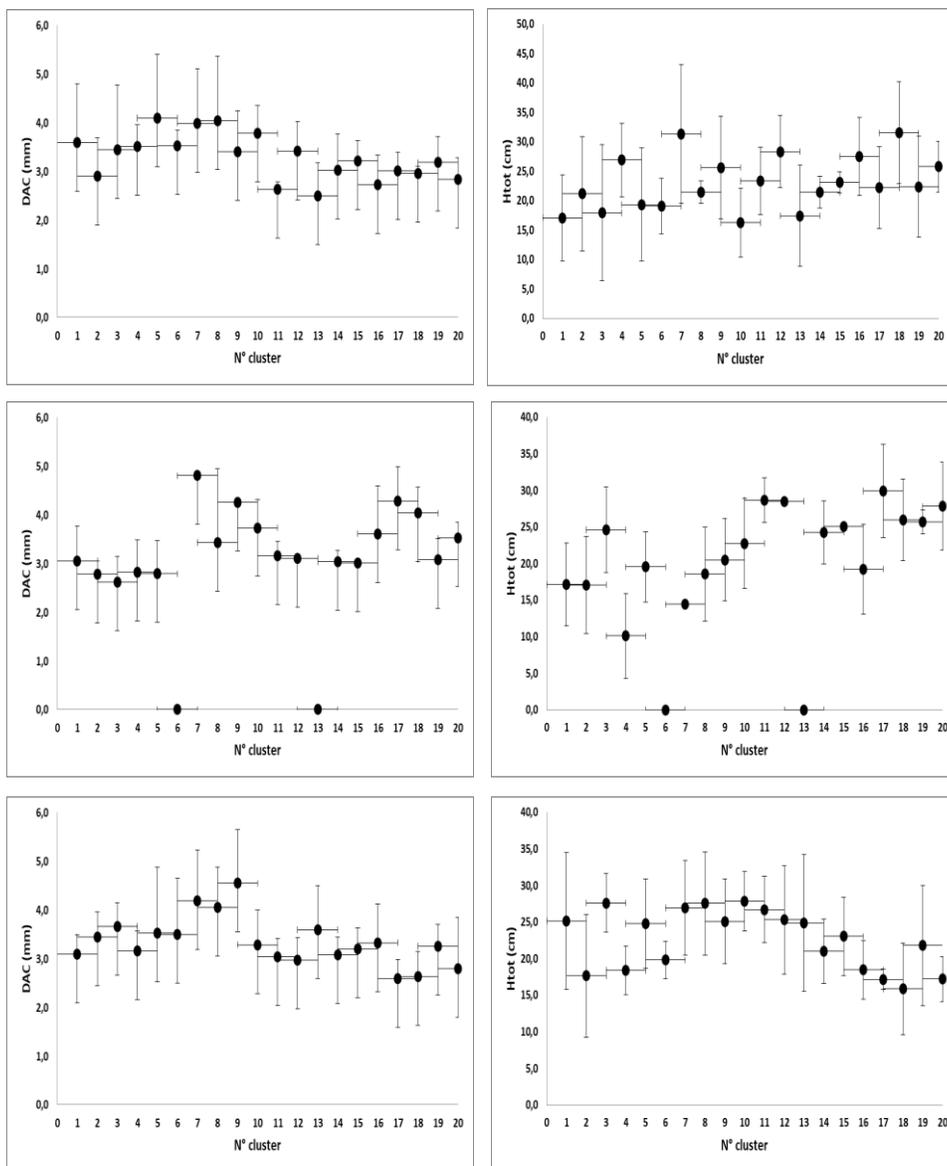


Figura N° 18
DIÁMETRO DE CUELLO (DAC) Y ALTURA TOTAL (HTOT) PLANTAS
PRADERA NATURALIZADA Y CON CONTROL MALEZA

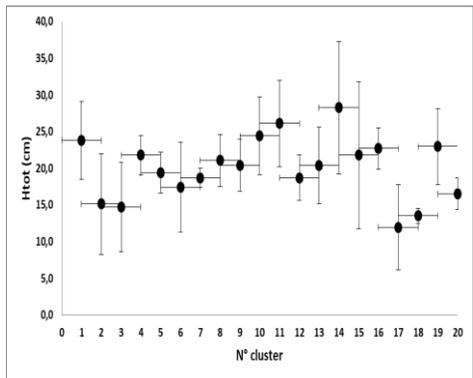
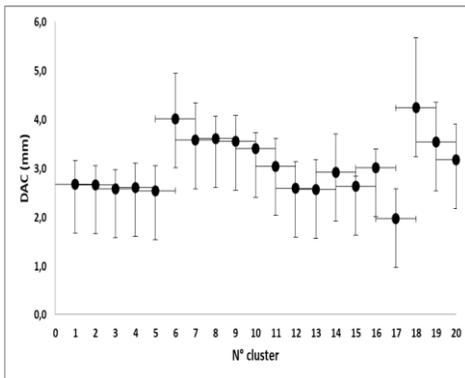
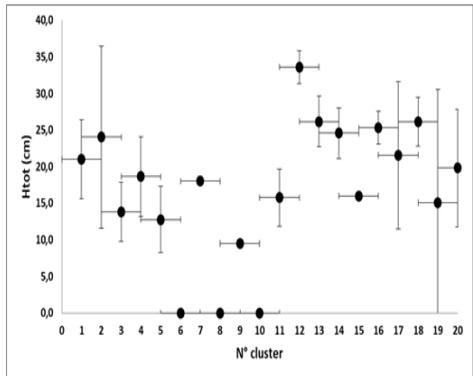
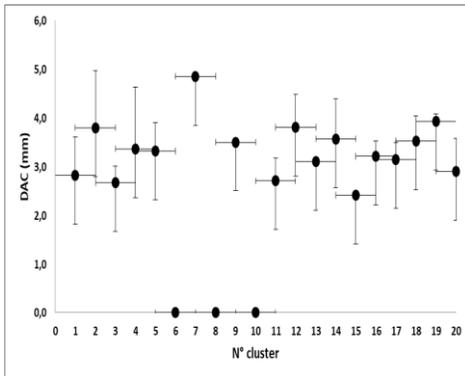
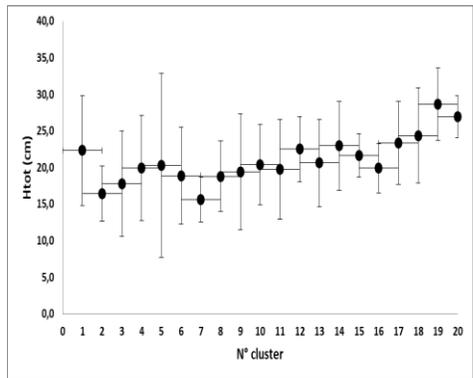
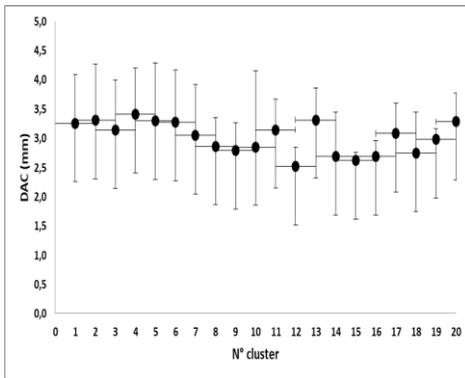


Figura N° 19
DIÁMETRO DE CUELLO (DAC) Y ALTIMA TOTAL (HTOT) PLANTAS
PRADERA NATURALIZADA Y SIN CONTROL MALEZA

CONCLUSIONES

El sitio de ensayo fue caracterizado en cuanto a clima y suelos, también se caracterizó el bosque en los tratamientos que lo incluyen, se estableció el ensayo en 2018 según programado y se efectuó una primera evaluación de las plantas en cada tratamiento como línea base para mediciones posteriores de crecimiento.

El ensayo será evaluado anualmente desde 2019 en cuanto a supervivencia y crecimiento de las plantas por tratamiento y con la información a reunir se espera formular una propuesta de plantación suplementaria apropiada para bosques alterados de ñirre.

REFERENCIAS

Armesto, J. J.; Casassa, I. and Dollenz, O., 1992. Age structure and dynamics of Patagonian Beech forests in Torres del Paine National Park, Chile. *Vegetation* 98, 13 - 22.

Donoso, C., 1974. Manual de identificación de especies leñosas del bosque húmedo de Chile, CONAF, Santiago, 168 p.

Donoso, C., 1987. Variación natural en especies de *Nothofagus* en Chile. *Bosque*: 8 (2), 85 - 97.

Donoso, C., 2006. Las Especies arbóreas de los Bosques Templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cúneo Ediciones, Valdivia, Chile. 678 p.

Hoffmann, A., 1997. Flora silvestre de Chile, Zona Araucana: Árboles, arbustos y enredaderas leñosas. Ediciones Fundación Claudio Gay, Santiago, Chile. 258 pp.

IREN - CORFO. 1979. Perspectivas de desarrollo de los recursos de la Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo: diagnóstico del conocimiento de geología y minería. Coyhaique, 67 pág.

Ivancich, H. S., 2013. Tesis doctoral: Relaciones entre la estructura forestal y el crecimiento del bosque de *Nothofagus antarctica* en gradientes de edad y calidad de sitio. Director: G. Martínez Pastur, Codirectora: M.V. Lencinas.

Navarro Cerrillo, R.; Rosenfeld, M.; Pérez-Aranda, J.; Padrón, E.; Guzmán, J.; Hernández, R.; y González, C., 2008. Evaluación de la mortalidad de bosques de ñirre (*Nothofagus antarctica*) en la Patagonia chilena mediante imágenes Landsat TM y ETM+. *Bosque* 29(1), 65 - 73.

Premoli, A., 1991. Morfología y capacidad germinativa en poblaciones de *Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst del noroeste andino patagónico. *Bosque* 12(2): 53-59.

Ramírez, C.; Correa, M.; Figueroa, H. y San Martín, J., 1985. Variación del hábito y hábitats de *Nothofagus antarctica* en el centro-sur de Chile. *Bosque* 6: 55-73.

Rodríguez, R.; Mathei, O. y Quezada, M., 1983. Flora Arbórea de Chile. Editorial Universitaria. Concepción, Chile. 408 pp.

Salinas, J.; Acuña, B.; Uribe, A. y Koch, L., 2015. Estudio de regeneración natural en bosques de *Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst. (ñirre) bajo pastoreo doméstico en la Región de Aysén. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura. Coyhaique, Chile. 50 p.

Salinas, J.; Ivancich, H.; Acuña, B. y Solís, L., 2016. Caracterización y clasificación de los bosques de ñirre (*Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst.) de la comuna de Coyhaique, como herramienta para la toma de decisiones en el manejo silvícola. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura. Coyhaique, Chile. 51 p.

Salinas, J., 2016. Experiencia de manejo silvopastoral en dos renovales coetáneos de *Nothofagus antarctica* (G.Forst.) Oerst. (Ñirre) en la Región de Aysén, Chile. *Revista Ciencia e Investigación Forestal, CIFOR*, Vol. 22 N° 1, Pág.: 37-50.

Salinas, J., Peri, P., Hepp, C. y Acuña, B. 2017. Sistemas silvopastorales en bosques de ñirre (*Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst.) en la Región de Aysén. Instituto Forestal. Coyhaique, Chile. 58 p.

Veblen, T.; Donoso, C.; Kitzberger, T. and Rebertus, A., 1996. Ecology of southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forests. Pages 293-353 in: T.T. Veblen, R.S. Hill, and J. Read (eds.), Ecology and Biogeography of *Nothofagus* Forests. Yale University Press.

Vidal, R. y Premoli, A., 2004. Variación en *Nothofagus antarctica* (Forster) Oerst. (Ñirre o Ñire) En: Donoso C., L. Gallo, A. Premoli & R. Ipinza (Eds.) Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Santiago: Editorial Universitaria.

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE CHAPAS FOLIADAS DE CEREZO, NOGAL Y ALISOS PROCEDENTE DE TROZAS DE RALEO DE PLANTACIONES JÓVENES

Loewe, Verónica³; Fuchslocher, Francisco⁴; Delard, Claudia⁵ y del Río, Rodrigo⁶

RESUMEN

Plantaciones jóvenes destinadas a la producción de madera de alto valor fueron raleadas y parte del producto del raleo, trozas con diámetros mayores a 20 cm, fue procesada a fin de determinar la factibilidad de valorizar esta madera mediante el uso máspreciado, chapas decorativas obtenidas mediante foliado.

Las mayores limitantes para la obtención de chapas de calidad fueron los reducidos diámetros de las trozas y la presencia de nudos, lo que indica que este material debe orientarse a otros usos, así como la necesidad de aplicar un manejo adecuado y oportuno para reducir la presencia de defectos. Además, ante su inexistencia, se propone una escala de clasificación de calidad de chapas decorativas foliadas.

El foliado de maderas de las especies analizadas se justifica con trozas de calidad y de mayores diámetros, las que pueden obtenerse mediante técnicas como la arboricultura, a fin de maximizar el valor del material producido.

Se recomienda continuar realizando evaluaciones de foliado con trozas de mayores diámetros de raleos posteriores, así como evaluar otros usos para material de raleos intermedios a fin de identificar aplicaciones que permitan su valorización.

Palabras clave: Madera de alto valor, Chapas foliadas

SUMMARY

Young planted forests oriented to high value timber production were thinned and part of the obtained product, logs with a diameter over 20 cm, were processed to determine the feasibility of obtaining the most valued product, veneers derived from slicing.

Main limiting factors to obtain high quality veneers were the reduced log diameters and the knots presence, indicating that this material should be oriented to other uses, as well as the need of an appropriated and opportune management to reduce defects presence. Furthermore, given the inexistence of a quality veneer classification, a standard is proposed.

Slicing of the studied species timber is justified when processing high quality and high diameter logs, which can be obtained through techniques such as arboriculture, in order to maximize the produced material value.

Further log slicing evaluations are recommended with superior diameter logs from future commercial thinning, as well as to identify other uses for small diameter logs utilization.

Keywords: High value timber, Slicing veneers

³ Ingeniero Forestal, Jefe de Proyectos, Instituto Forestal, Chile. vloewe@infor.cl

⁴ Ingeniero Forestal, Gerente General de Foliadora de Maderas Gorbea (FOLIMAG).

⁵ Ingeniero Forestal, Investigador, Instituto Forestal, Chile.

⁶ Ingeniero Agrónomo, Investigador, Instituto Forestal, Chile.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas en Europa se ha verificado un aumento del interés por el establecimiento de plantaciones de latifoliadas de alto valor (Kerr y Evans, 1993; Gabriel *et al.*, 2005) debido a la disponibilidad de terrenos, a las limitaciones para importar maderas valiosas tropicales y a su elevado precio de mercado. Es por ello que cobró relevancia la arboricultura de calidad (Regione Piemonte, 2001; Minotta, 2003), que busca obtener el máximo volumen de madera de la mejor calidad posible de cada árbol en particular.

Para ello se han propuesto numerosas especies, entre las cuales se encuentran nogal común (*Juglans regia* L.) y cerezo común (*Prunus avium* L.) como especies principales, y alisos (*Alnus glutinosa*, *A. cordata*) (Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta, 1990; Montero *et al.*, 2003; Loewe *et al.*, 2013), que también se han empleado como especies acompañantes que favorecen el desarrollo de las primeras (Binkley, 2003; Buresti y Frattegiani, 1994).

La calidad de la madera se define como la aptitud del material para satisfacer determinadas exigencias o usos específicos (Borghini y Massafra, 2002), con sus propias reglas y clasificaciones en cada caso, y por ello no se la puede definir en términos absolutos sin considerar el uso y las técnicas de transformación.

Los parámetros considerados en la evaluación de la calidad de la madera incluyen aspectos dimensionales y cualitativos. Los primeros corresponden a las dimensiones de la troza (diámetro y largo). Entre los cualitativos están todos los atributos y defectos presentes en la madera a raíz de su origen biológico, incluyendo forma, coloraciones anómalas (como por ejemplo el veteado verde en cerezo común) o alternancia de colores marcada (Figura N° 1), fibra torcida, madera de tensión/reacción, pudriciones, nudos (diámetro, ubicación y cantidad) y tipo (sano, no sano, muerto, con pudrición, con corteza incluida), heridas, entre otros. Cabe señalar que los nudos sanos generan mellas en los cuchillos y pérdidas de material foliado, por lo que, afectan el rendimiento (de m² de chapa por m³ de troza).

Obviamente, mientras mayor sea la calidad de las trozas y por consiguiente con un uso potencial máspreciado, mayor es el precio de las mismas, 1,5 a 6 veces entre trozas foliables y aserrables, y de hasta 9 veces en el caso de nogal (Wiedenbeck *et al.*, 2004), lo que constituye un incentivo para aplicar un manejo que promueva un mayor rendimiento de trozas foliables. El precio de ellas no solo depende de la calidad, sino que también de la especie, del mercado y de la estrategia de abastecimiento y distribución de la empresa elaboradora.

En particular, se consideran de calidad para foliado, que es el uso máspreciado existente, trozas de dimensiones superiores a 3 m de largo y a 30 cm de diámetro, rectas, y *atractivas*, parámetro subjetivo que depende del color, veteado y defectos (Wiedenbeck *et al.*, 2004). Se excluyen para este uso aquellas que presenten los siguientes defectos: pudrición, nudos vivos o muertos, grietas por heladas, orificios de insectos, separación entre anillos, madera de reacción, grietas a modo de estrella, médula excéntrica, alteración del color, ovalización, inclusión de corteza, curvaturas, acanaladuras y fibra helicoidal.

Algunos defectos permitidos con limitaciones corresponden a ahosamiento, restos de corteza e inclusión de resinas o gomas (Berti *et al.*, 2003). Idealmente las trozas deben presentar un ritmo de crecimiento anual constante, es decir, con anillos homogéneos, lo que determina su comportamiento en el tiempo, ya que permite que mantengan inalteradas sus características y no se rajen.

Existen normas para varios usos de la madera, incluyendo trozas (EN 1316-1), madera aserrada (CEN/TS 12169:2008), madera laminada (CEN/TS 13307-2:2009), embalajes (EN 12246:1999), pisos de madera (CEN/TS 13810-2:2003), tableros (EN 14915:2013+A1:2017), y otros. No obstante, en el caso de las chapas foliadas, el uso más valioso que se da a la madera, dadas las particularidades de las maderas de diferentes especies y la dificultad de hacer una evaluación objetiva de la calidad (se trata siempre de una evaluación subjetiva que suele ser controvertida), no existen normas que describan la calidad de chapas foliadas (Berti, 2017, com. personal).

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar color, textura y apariencia, y la factibilidad de foliado de trozas procedentes de raleos de plantaciones jóvenes (16 a 21 años de edad), manejadas según principios de la arboricultura, orientadas a la producción de madera de calidad, a fin de determinar posibles usos que permitan valorizar el material producido durante la rotación.

MATERIAL Y METODO

Material

Durante los meses de junio y julio del año 2017 se efectuaron raleos en tres plantaciones experimentales. Algunas de las trozas obtenidas se seleccionaron para su posterior foliado ejecutado en Folimag (www.folimag.cl), empresa especializada en la elaboración de chapas decorativas (foliadas). Fueron procesadas en total 23 trozas; 2 de cerezo común (*Prunus avium*), 17 de alisos (*Alnus cordata*, *A. glutinosa*) y 4 de nogal común (*Juglans regia*), con un diámetro medio de 23 cm y 1,6 m de largo. El Aliso no es una especie comercial en el mercado de chapas, a diferencia del nogal y cerezo, que son requeridos constantemente, pero no obstante ello se consideró interesante evaluar su calidad y aptitud para este fin.

Las características técnicas de las trozas no cumplían con los estándares de la industria para producir chapas foliadas decorativas. En particular, para obtener chapas decorativas interesantes para el mercado de láminas decorativas se necesita cumplir con un promedio de ancho de la chapa terminada de 15 a 17 cm, lo que con trozas delgadas como las evaluadas es prácticamente imposible.

Método

La secuencia de trabajo fue la siguiente:

Foliado: Dados los diámetros de las trozas solo se prepararon dos caras de foliado y este se realizó en un Foliadora Cremona TN 4.000, a un espesor de 0,58 mm.

Secado de Chapas: Se realizó en un secador Babcock a 135°C, obteniéndose chapas con un contenido de humedad del 12%.

Guillotinado.

Clasificación: Dada la inexistencia de clasificación estética de chapas foliadas, se elaboró una clasificación considerando las recomendaciones del Dr. Stefano Berti, especialista italiano de renombre mundial en maderas de alto valor, quien es Presidente del Comité Italiano de Normas de la Madera, y representante de dicho país ante la Unión Europea (CEN) en estas materias.

El trabajo con el Dr. Berti se realizó en la sede del Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (IVALSA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), ubicada en Sesto Fiorentino, Italia.

La escala propuesta para clasificar chapas foliadas considera las siguientes categorías:

Clase A: Color homogéneo, sin ningún defecto.

Clase B: Presencia de algunos defectos como color heterogéneo y nudos sanos (Figuras N° 1 y N° 2), excluyendo defectos de mayor impacto, como pudriciones, nudos muertos, etc. Se aceptan nudos pequeños (diámetro máximo de 3 cm) y brotes epicórmicos (diámetro máximo del grupo de 5 cm) (Figura N° 3), en cantidad limitada (máximo total de 15 y 10, respectivamente en cada chapa) idealmente en las secciones terminales de las chapas.

Clase C: Presencia de defectos de mayor impacto, tales como pudriciones, nudos muertos o con inclusión de corteza (Figuras N° 4 y N° 5), así como con nudos sanos que por número o dimensión exceden lo aceptable en clase B.

Clase D: Descarte por elevada cantidad de defectos graves, tales como presencia de médula, nudos muertos, pudriciones, etc., que afectan más del 60% de la superficie de la chapa.

Esta escala de clasificación se aplicó a cada paquete de chapas recibido de la empresa foliadora. Remanentes del proceso se presentan en la Figura N° 6. La empresa, por su parte, también aplicó la clasificación que emplea a nivel industrial para las chapas que produce.



Figura N° 1
COLOR HETEROGÉNEO CONTRASTANTE



Figura N° 2
NUDOS SANOS



Figura N° 3
BROTOS EPICÓRMICOS



Figura N° 4
NUDOS NO SANOS, CON INCLUSIÓN DE CORTEZA (IZQ.) Y DECOLORACIÓN (DER.)

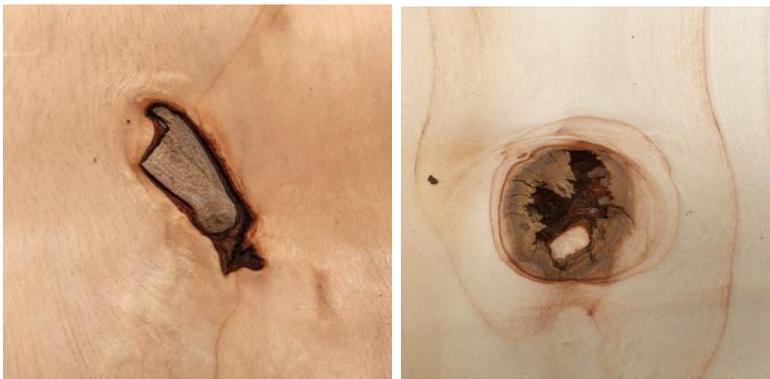


Figura 5
NUDOS MUERTOS



Figura N° 6
REMANENTES DE TROZAS DEL PROCESO DE FOLIADO

RESULTADOS

Rendimientos

Los rendimientos obtenidos en el proceso de foliado de acuerdo al diámetro y largo de las trozas se presentan en el Cuadro N° 1.

La especie que presentó un mejor promedio de rendimiento fue el aliso ($321,42 \text{ m}^2/\text{m}^3$), seguido por nogal ($260,62 \text{ m}^2/\text{m}^3$) y por cerezo ($140,11 \text{ m}^2/\text{m}^3$).

Los valores presentan una alta variabilidad en las tres especies ensayadas.

Es importante aclarar que para que sea rentable el negocio de la chapa foliada el rendimiento mínimo debe ser de $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$, independiente del valor de venta, mientras que el porcentaje de residual debería oscilar entre un 20 y 30%.

Cuadro N° 1
CARACTERIZACIÓN DE TROZAS Y RENDIMIENTO EN CHAPA FOLIADA

Especie	Diámetro (cm)	Largo (m)	Volumen (m³)	Chapa (m²)	Volumen Residual		Rendimiento (m²/m³)
					(m³)	(%)	
Aliso	22	1,6	0,077	37,2	0,018	22,73	480,37
Aliso	26	1,6	0,108	20,2	0,050	46,15	186,76
Aliso	22	1,6	0,077	10,2	0,063	81,82	131,71
Aliso	22	1,6	0,077	31,2	0,028	36,36	402,89
Aliso	28	1,6	0,125	62,1	0,040	32,14	495,06
Aliso	20	1,6	0,064	32,5	0,019	30,00	507,81
Aliso	22	1,6	0,077	31,2	0,011	13,64	402,89
Aliso	20	1,6	0,064	26,7	0,019	30,00	417,19
Aliso	26	1,6	0,108	31,2	0,042	38,46	288,46
Aliso	30	1,6	0,144	50,1	0,058	40,00	347,92
Aliso	20	1,6	0,064	21,5	0,035	55,00	335,94
Aliso	24	1,6	0,092	25,4	0,035	37,50	275,61
Aliso	26	1,6	0,108	42,6	0,021	19,23	393,86
Aliso	26	1,6	0,108	27,2	0,029	26,92	251,48
Aliso	18	1,6	0,052	0,0	0,014	27,78	0,00
Aliso	22	1,6	0,077	42,3	0,014	18,18	546,23
Aliso	18	1,6	0,052	0,0	0,035	66,67	0,00
Cerezo	18	1,6	0,052	0,0	0,012	22,22	0,00
Cerezo	22	1,6	0,077	21,7	0,018	22,73	280,22
Nogal	28	1,6	0,125	27,0	0,045	35,71	215,24
Nogal	22	1,7	0,082	3,4	0,049	59,09	41,32
Nogal	28	1,6	0,125	31,8	0,040	32,14	253,51
Nogal	27	1,6	0,117	62,1	0,030	25,93	532,41

Evaluación de Calidad

Los resultados obtenidos de la aplicación de la clasificación propuesta en este trabajo se presentan en Cuadro N° 2. Cabe señalar que de una troza se obtuvo más de un paquete de chapas.

La calidad observada de las chapas es media a baja, con una preponderancia de las categorías C. para aliso italiano, y B, para aliso negro (dadas sus características, podría servir para elaborar muebles y marcos de cuadros y fotografías), B para cerezo común y nogal común (Figuras N° 7 y N° 8).

No obstante, un 75% de las chapas producidas no alcanza las dimensiones, en particular el ancho, requerido por el mercado de chapas (15 cm mínimo). Esto destaca la no aptitud de este material tan joven para el mercado de chapas, tanto por aspectos dimensionales como cualitativos (Figura N° 9).

La aplicación de la clasificación empleada por la empresa resultó en que, por las características físicas de las trozas, no se obtienen chapas que alcancen la catalogación de calidad "A" o "AB", ya que, por sus defectos, principalmente nudos, solo se obtuvo calidad "C".

Cuadro N° 2
CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CHAPAS FOLIADAS OBTENIDAS

Especie	Troza (N°)	Paquete (N°)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Hojas		Calidad
					(N°)	(m³)	
<i>Alnus cordata</i>	16974	46	140	12	32	5,4	C
<i>Alnus cordata</i>	16974	47	140	12	32	5,4	C
<i>Alnus cordata</i>	16974	48	140	13	32	5,8	C
<i>Alnus cordata</i>	16974	49	150	19	32	9,1	C
<i>Alnus cordata</i>	17120	76	140	13	32	5,8	C
<i>Alnus cordata</i>	17120	77	140	13	32	5,8	C
<i>Alnus cordata</i>	20222	38	155	15	32	7,4	C
<i>Alnus cordata</i>	20222	39	150	15	32	7,2	C
<i>Alnus cordata</i>	20222	40	155	12	32	6,6	C
<i>Alnus cordata</i>	20222	41	155	13	32	6,4	C
<i>Alnus cordata</i>	20222	42	110	11	32	3,9	C
<i>Alnus cordata</i>	20225	60	180	13	32	7,5	C
<i>Alnus cordata</i>	20225	61	190	13	32	7,9	C
<i>Alnus cordata</i>	20225	62	185	15	32	8,9	C
<i>Alnus cordata</i>	20225	64	190	12	32	7,3	C
<i>Alnus cordata</i>	20225	65	130	13	20	3,4	C
<i>Alnus cordata</i>	20226	66	130	12	32	5	C
<i>Alnus cordata</i>	20226	67	135	12	32	5,2	B
<i>Alnus cordata</i>	20226	68	140	15	32	6,7	C
<i>Alnus cordata</i>	20226	69	130	13	32	5,4	C
<i>Alnus cordata</i>	20226	70	140	10	42	5,9	B
<i>Alnus cordata</i>	20229	29	130	13	32	5,4	C
<i>Alnus cordata</i>	20229	30	150	12	32	5,8	B
<i>Alnus cordata</i>	20229	31	150	13	32	6,2	C
<i>Alnus cordata</i>	20229	32	150	14	32	6,7	C
<i>Alnus cordata</i>	20229	33	100	14	25	3,5	B
<i>Alnus cordata</i>	20229	34	150	15	32	7,2	C

<i>Alnus cordata</i>	23335	35	135	12	32	5,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23335	36	140	13	32	5,8	C
<i>Alnus cordata</i>	23335	37	120	13	32	5	C
<i>Alnus cordata</i>	23339	57	145	10	32	4,6	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	1	100	11	28	3,1	B
<i>Alnus cordata</i>	23571	2	110	10	18	2	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	3	150	19	29	8,3	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	4	150	13	31	6	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	5	150	10	41	6,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	6	150	12	32	5,8	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	7	140	13	32	5,8	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	8	150	13	32	6,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	9	150	14	32	6,7	C
<i>Alnus cordata</i>	23571	10	150	13	32	6,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23572	71	210	17	32	11,4	C
<i>Alnus cordata</i>	23572	72	210	16	32	10,8	C
<i>Alnus cordata</i>	23572	73	210	12	35	8,8	C
<i>Alnus cordata</i>	23572	74	220	18	32	12,7	C
<i>Alnus cordata</i>	23574	43	150	13	32	6,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23574	44	155	12	32	6	C
<i>Alnus cordata</i>	23574	45	150	12	32	5,8	C
<i>Alnus cordata</i>	23575	18	140	15	32	6,7	C
<i>Alnus cordata</i>	23575	19	140	10	30	4,2	B
<i>Alnus cordata</i>	23575	20	140	10	32	4,5	B
<i>Alnus cordata</i>	23575	21	135	11	32	4,8	C
<i>Alnus cordata</i>	23575	22	140	12	32	5,4	C
<i>Alnus cordata</i>	23575	23	145	13	32	6	C
<i>Alnus cordata</i>	23575	24	140	14	30	5,9	C
<i>Alnus cordata</i>	23576	25	140	12	32	5,4	C
<i>Alnus cordata</i>	23576	26	140	13	32	5,8	C
<i>Alnus cordata</i>	23576	27	140	14	32	6,3	B
<i>Alnus cordata</i>	23576	28	130	12	32	5	C
<i>Alnus cordata</i>	23577	11	150	15	32	7,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23577	12	150	10	26	3,9	B
<i>Alnus cordata</i>	23577	13	150	13	32	6,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23577	14	150	14	32	6,7	C
<i>Alnus cordata</i>	23577	15	140	12	32	5,4	C
<i>Alnus cordata</i>	23577	16	150	17	32	8,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23577	17	150	17	32	8,2	C

<i>Alnus cordata</i>	23579	50	150	17	32	8,2	C
<i>Alnus cordata</i>	23579	51	150	20	32	9,6	C
<i>Alnus cordata</i>	23579	52	150	12	32	4	B
<i>Alnus cordata</i>	23579	53	150	20	32	9,6	C
<i>Alnus cordata</i>	23579	54	150	14	32	6,7	C
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	89	150	12	22	4	B
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	90	150	15	32	7,2	B
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	91	155	15	32	7,4	A
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	92	145	12	32	5,6	A
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	93	150	13	32	6,2	B
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	94	145	10	32	4,6	B
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	95	145	14	32	6,5	A
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	96	150	14	32	6,7	B
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	97	150	14	32	6,7	B
<i>Alnus glutinosa</i>	23332	98	130	13	26	4,4	A
<i>Juglans regia</i>	23344	78	155	15	26	6	B
<i>Juglans regia</i>	23344	79	155	12	16	3	B
<i>Juglans regia</i>	23344	80	155	12	18	3,3	B
<i>Juglans regia</i>	23344	81	170	17	32	9,2	B
<i>Juglans regia</i>	23344	82	135	15	32	6,5	B
<i>Juglans regia</i>	23344	83	165	13	16	3,4	B
<i>Juglans regia</i>	23344	84	160	14	18	4	B
<i>Juglans regia</i>	23344	85	165	15	32	7,9	B
<i>Juglans regia</i>	23344	86	155	17	32	8,4	A
<i>Juglans regia</i>	23344	87	160	14	32	7,2	B
<i>Juglans regia</i>	23344	88	140	12	30	5	A
<i>Prunus avium</i>	23331	99	145	13	32	6	B
<i>Prunus avium</i>	23331	100	135	10	38	5,1	B
<i>Prunus avium</i>	23331	101	140	12	32	5,4	C
<i>Prunus avium</i>	23331	102	135	12	32	5,2	B

Los resultados obtenidos se corresponden con la calidad de las trozas evaluadas, que no son de calidad foliable debido a su forma, diámetro y presencia de nudos vivos.

De hecho, la empresa foliadora normalmente habría rechazado el material, ya que el mercado de la chapa, incluyendo el nacional, requiere chapas homogéneas y sin defectos.



Figura N° 7
CHAPAS DE CEREZO COMÚN (IZQ.) Y ALISO ITALIANO (DER.)



Figura N° 8
CHAPAS DE ALISO NEGRO (IZQ.) Y DE NOGAL COMÚN (DER.)



Figura N° 9
ASPECTO GENERAL DE CHAPAS DE MALA CALIDAD

CONCLUSIONES

La evaluación de las chapas foliadas realizada a partir de madera de raleo, aplicando la clasificación propuesta, permite concluir que la calidad general de las chapas foliadas es media a baja.

Las mayores limitantes para la obtención de chapas de calidad fueron los pequeños diámetros de las trozas y la presencia de nudos, lo que indica que este material debiera orientarse a otros usos, y enfatiza la necesidad de aplicar un manejo oportuno para usos de mayor valor.

No se observaron defectos asociados a la homogeneidad del color salvo en una troza de aliso italiano. Se obtuvieron chapas tanto de nogal como de aliso en categoría A, aunque de anchos que no cumplen con el mínimo para su comercialización.

Si bien con los alisos se obtuvo el mayor rendimiento, no sería una especie comercializable en el mercado tradicional de chapas; es por ello que en este sentido podría realizarse promoción y difusión, ya que presenta características que la haría apta para la elaboración de muebles; particularmente aliso negro podría servir para elaborar también marcos de cuadros y de fotografías.

El foliado de maderas de las especies analizadas, se justificaría con trozas de calidad y de mayores diámetros, las que pueden obtenerse mediante técnicas como la arboricultura de calidad o la silvicultura, maximizando su valor en la comercialización. A ello se suma una tendencia de uso de chapas nudosas, denominadas como *rústicas*, por lo que desde ese punto de vista podría revalorizarse el producto obtenido en esta evaluación.

Se recomienda continuar realizando evaluaciones de foliado con trozas de mayores diámetros en raleos posteriores o cosecha final, así como evaluar otros usos, como

chapas rústicas, para material de las características evaluadas en esta oportunidad, a fin de identificar aplicaciones que permitan su valorización.

REFERENCIAS

- Berti, S.; Brunetti, M. y Rescic, L., 2003.** Manuale sulla valutazione della qualità degli assortimenti legnosi ritraibili dalle specie legnose pregiate. Regione Lombardia – CNR IVALSÀ – ERSAF. Milán, Italia. 48 p.
- Binkley, D., 2003.** Seven decades of stand development in mixed and pure stands of conifers and N-fixing Red Alder. *Canadian Journal of Forest Research* 33 (2003), pp. 2274-2279.
- Borghini, G. y Massafra, M. G., 2002.** Legna da Ebanisteria. Ministero per i Beni e le Attività Culturali. De Luca Editori D'Arte. Roma, Italia, 406 p.
- Buresti, E. y Frattegiani, M., 1994.** Impianti misti in arboricoltura da legno. Primi risultati in un impianto di farnia (*Quercus robur* L.) e ontano napoletano (*Alnus cordata* Loisel). *Ann. Ist. Sper. Selv.*: 183-199 XXIII.
- Ente Nazionale per la Cellulosa e per la Carta, 1990.** Principali latifoglie da legno. 80 p.
- Gabriel, K.; Blair, I. F. and Mason, W. L., 2005.** Growing broadleaves trees on the North York Moors, results after nearly 50 years. *Quarterly Journal of Forestry* 99:21-30.
- Kerr, G. and Evans, J., 1993.** Growing broadleaves for timber, Handbook 9, Forestry Commission. 95 p.
- Loewe, M. V.; González, O. M. and Balzarini, M., 2013.** Wild Cherry tree (*Prunus avium* L.) growth in pure and mixed plantations in South America. *Forest Ecology and Management*, pp. 31-41. DOI 10.1016/j.foreco.2013.06.015.
- Minotta, G., 2003.** L'Arboricoltura da legno: Un'attività produttiva al servizio dell'ambiente. Ed. Avenue Media. Bologna, Italia, 246 p.
- Montero, G.; Cisneros, O. y Cañellas, I., 2003.** Manual de selvicultura para plantaciones de especies productoras de madera de calidad. Ed. Mundi-Prensa. 284 p.
- Regione Piemonte, 2001.** Guida alla realizzazione e alla gestione degli impianti, Arboricoltura da legno. 111 p.
- Wiedenbeck, J.; Wiemann, M.; Alderman, D.; Baumgras, J. and Luppold, W., 2004.** Defining hardwood veneer log quality attributes. USDA, general Technical Report NE-313.

RESUMEN

La migración asistida es una de las principales técnicas operacionales que permite la adaptación de las especies forestales nativas al cambio climático. Un modelo de migración asistida normalmente pretende salvaguardar el potencial adaptativo de las especies repoblando nuevas áreas, tanto dentro como fuera de la distribución natural de la especie. En este sentido la migración asistida permite recuperar el acoplamiento perdido entre el hábitat de la especie y su clima a raíz del cambio climático.

Para un buen entendimiento de la migración asistida se realiza una breve revisión de la variación genética adaptativa, principal motor de la adaptación de las especies, se revisa un modelo de actuación y las modalidades de migración asistida.

Se discuten también en extenso los mitos que retardan las aplicaciones de distintas opciones de migración asistida.

Por último, para el éxito de este nuevo paradigma de la conservación se requiere disponer de información cuantitativa para determinar la mejor estrategia de adaptación, por esto se recomienda disponer idealmente de información genética adaptativa obtenida de ensayos de progenie y procedencia.

Palabras clave: Migración asistida, Conservación recursos genéticos forestales, Cambio climático.

SUMMARY

Assisted migration is one of the mean operational techniques to the native forest species adaptation to climate change. An assisted migration model is usually oriented to safeguard the species adaptative potential by planting new areas, not only within the species natural distribution area but also out of it. That way, the assisted migration allows to recover the lost connection between the species habitat and its climate because of the climate change.

To understand the assisted migration technique, a brief review on the adaptative genetic variation, mean species adaptation way, on an action model and on the assisted migration modalities. There are also discussed the main myths delaying the different assisted migration options to apply.

The success of this new conservation paradigm depends on quantitative information availability to determine the better adaptative strategy and this is the reason why it is recommended ideally to get adaptative genetic from provenance-progeny trials.

Keywords: Assisted migration, Forest genetic resources conservation, Climate change.

INTRODUCCIÓN

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas, en el artículo 1, define el cambio climático como “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. La CMCC diferencia así entre el cambio climático atribuible a fenómenos naturales y el que es alterado por las actividades humanas (IPCC, 2007).

De acuerdo a Fernández-Manjarrés y Benito-Garzón (2015), el aspecto más preocupante del cambio climático está dado por sus características intrínsecas y su velocidad. En menos de 100 años se esperan cambios que sobrepasan la variabilidad climática actual e incluso estos autores indican que puede sobrepasar la variabilidad geológica con respecto a eventos relativamente cercanos, como el máximo térmico que se produjo en el Holoceno Medio.

Los mencionados autores señalan también que los árboles, con su largo ciclo de vida y su capacidad de dispersión más o menos limitada, están sujetos a presiones inmediatas del cambio climático que sobrepasan sus capacidades normales de dispersión en el orden de 1 km por año.

Sáenz-Romero *et al.*, (2016) mencionan que el cambio climático representa desafíos importantes para los responsables del manejo de bosques en cuanto a la práctica de actividades de manejo eficaces, ya sea para fines comerciales o de conservación.

Desde el punto de vista de la conservación de recursos genéticos forestales, el objetivo principal 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.

Esto es coincidente con la estrategia de conservación y mejoramiento genético bosquejada por el Instituto Forestal (MINAGRI-MMA, 2013) en base al establecimiento de poblaciones de mejoramiento, tanto de especies nativas como exóticas.

En estas poblaciones se identifica la progenie y la procedencia, en distintos sitios, los cuales son seleccionados como representativos de situaciones extremas que se darán en el futuro de acuerdo a proyecciones de escenarios de la IPCC.

Este sistema de conservación *ex situ* permite monitorear los efectos del cambio climático, salvaguardando el potencial de adaptación de las poblaciones mediante el proceso de selección natural. En este contexto la selección es transformada en una fuerza primaria para adaptarse al cambio climático. En el caso de bosques, esto depende en forma directa de la variabilidad genética, la que puede ser medida en forma indirecta mediante dos estrategias no excluyentes:

- La plasticidad fenotípica, que es la capacidad que un determinado genotipo posee para expresar distintos fenotipos bajo diferentes condiciones ambientales.
- La capacidad de adaptación de la especie, que es su capacidad para diferenciarse en distintos genotipos, procedencias y ecotipos adecuados a las condiciones ambientales locales.

Luego, el presente trabajo busca proporcionar a los silvicultores y las personas que trabajan en manejo y conservación de recursos genéticos un marco de conocimientos básicos sobre los efectos actuales y potenciales del cambio climático sobre estos y sobre cómo la Migración Asistida (MA) y sus variantes surge como un instrumento conceptual y operativo para mantener ecosistemas con árboles sanos para el futuro.

PRESIÓN DE SELECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Un exhaustivo análisis del impacto del cambio climático en Chile se puede encontrar en Ipinza y Barros (2011), donde se abordan aspectos de mitigación⁷ y adaptación⁸, y en especial cómo la silvicultura moderna puede enfrentar esta nueva presión de selección que están sufriendo los bosques chilenos.

El cambio climático es un fenómeno que está en curso y ya ha generado olas de calor, sequías y eventos de precipitaciones de intensidad y frecuencia sin precedentes (Hansen, *et al.*, 2012).

Los efectos negativos atribuidos al “cambio climático global”, dentro de los que están desde ya las hambrunas, cuantiosas pérdidas económicas que incluyen infraestructura estratégica y hasta muertes, son un tema de actualidad que viene para quedarse.

El hábitat climático apropiado para especies y poblaciones de árboles forestales se está desplazando rápidamente y probablemente causará un estrés integrado (temperatura máxima del mes de julio, temperatura mínima del mes de julio y estrés hídrico) sobre las poblaciones naturales de árboles, provocando una mortalidad directa o actuando como un factor de predisposición para el ataque de plagas y enfermedades forestales (Santibáñez y Santibáñez, 2018; Manion, 1981).

Debido a los límites físicos de la migración natural, las poblaciones de árboles forestales serán incapaces de mantenerse acopladas al blanco móvil en el que se convertirá su hábitat climático apropiado.

El consiguiente desacoplamiento entre las poblaciones naturales y el clima para el cual están adaptadas provocará probablemente un gran declive forestal (Sáenz-Romero, *et al.*, 2016), como ya está sucediendo por ejemplo en el caso de la *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (SIMEF-INFOR, 2017) y otras especies alrededor del mundo.

Para el caso de los componentes del estrés integrado de la *Araucaria araucana*, Santibáñez y Santibáñez (2018) presentan tres pares de mapas abarcando la distribución geográfica de la especie.

En la Figura N° 1 se muestra la temperatura máxima del mes de enero en el escenario actual y en el escenario al año 2050. Se espera un alza de algo más de 1°C en zonas costeras y cercanas a los 2°C en zonas interiores. Los cambios proyectados en climas de altura son algo más pronunciados que en climas de baja altura. Un cambio muy significativo se espera en las temperaturas del valle central, especialmente detrás de la cordillera de Nahuelbuta, donde el efecto Föhn⁹ puede verse intensificado, trayendo con ello episodios de altas temperaturas asociados a la presencia de altas presiones en la costa.

En la Figura N° 2, para ambos escenarios se exhibe la temperatura mínima del mes de julio, donde se puede esperar cambios en la temperatura invernal, que son más significativos que la temperatura estival que tiene un mayor significado biológico. Un alza cercana o ligeramente superior a los 2°C se espera en casi toda la región.

Finalmente, en la Figura N° 3, se presentan los mapas del déficit hídrico anual, para ambos escenarios. Los escenarios futuros son consistentes en marcar una declinación en la pluviometría, fenómeno más acentuado en el litoral, pero podría hacerse sentir en toda la región.

⁷ Mitigación: Reducción de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. La mitigación no puede evitar los impactos del cambio climático actual ni ahora ni en las próximas décadas, lo que hace de la adaptación una herramienta esencial.

⁸ Adaptación: Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y sus efectos.

⁹ Se trata de un fenómeno que tiene lugar cuando una masa de aire caliente y húmedo se ve obligado a ascender una montaña. Cuando el aire desciende de la misma, lo hace con menos humedad y con más temperatura.

La declinación pluviométrica se potencia con los aumentos de la evaporación. La cordillera de Nahuelbuta podría verse fuertemente afectada por el aumento del déficit hídrico.

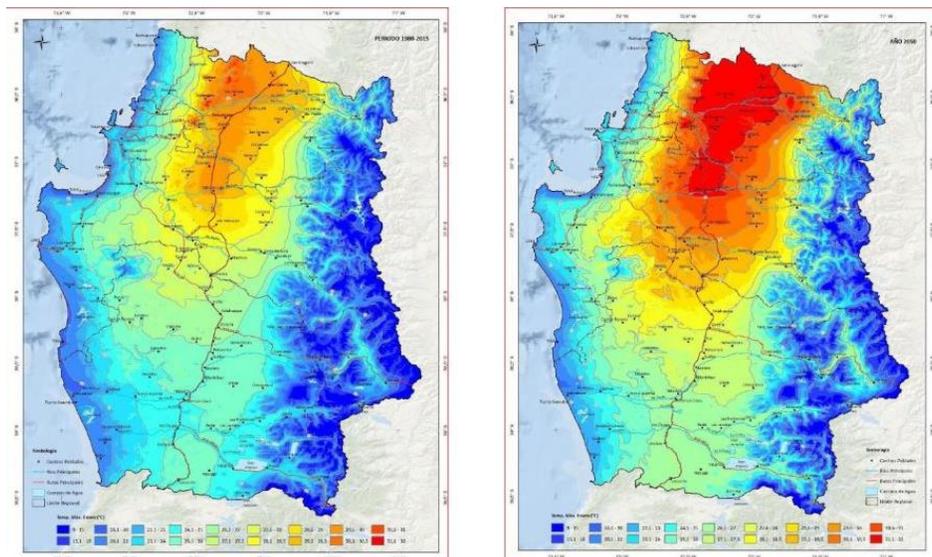
A nivel global, la evidencia científica señala que en los últimos años la temperatura se ha incrementado exponencialmente, sobre todo a partir de la década de los 90. Por esta razón, Lewis (2006) hace referencia a un “cambio climático abrupto”, ya que en ninguna otra década de la historia geológica de la tierra se ha presenciado un cambio tan drástico.

Es previsible que durante los próximos cien años se observen cambios similares a las fluctuaciones climáticas que han ocurrido en los últimos miles de años, especialmente de temperatura.

Existe la preocupación de que programas de migración asistida (MA) se diseñen a base de predicciones erróneas del cambio climático, dadas las deficiencias de la modelización o la incertidumbre en cuanto a la cantidad de gases de efecto invernadero que se liberarán en el futuro (Mc Lachlan, *et al.*, 2007).

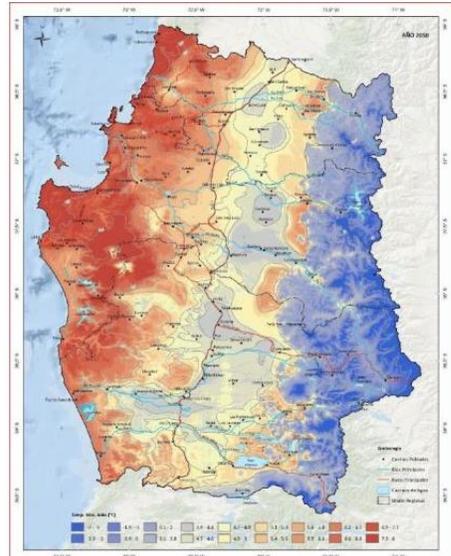
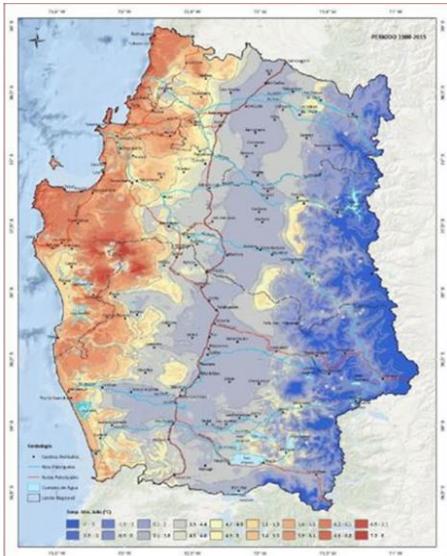
Sin embargo, el cambio climático no solo se expresa por la mortalidad o pérdida de crecimiento, sino que actúa también como un factor de predisposición para el ataque de otros organismos.

En resumen, el cambio climático está ejerciendo una inusitada presión de selección sobre las poblaciones de árboles, tanto nativos como exóticos (Sáenz-Romero, *et al.*, 2016), por lo tanto, está comprometida su supervivencia y desarrollo, ya que está forzando a que las poblaciones de árboles expresen la variación adaptativa, es decir se adapten en esos hábitats específicos, o migren o simplemente mueran.



(Fuente: Santibáñez y Santibáñez, 2018)

Figura N° 1
TEMPERATURA MÁXIMA DE ENERO °C (MEDIA 1980 – 2015) (IZQUIERDA)
Y TEMPERATURA MÁXIMA DE ENERO °C (ESCENARIO HACIA 2050) (DERECHA)



(Fuente: Santibáñez y Santibáñez, 2018)

Figura N° 2
TEMPERATURA MÍNIMA DE JULIO, °C (MEDIA 1980 – 2015) (IZQUIERDA) Y TEMPERATURA MÍNIMA DE JULIO, °C (HACIA 2050) (DERECHA)



(Fuente: Santibáñez y Santibáñez, 2018)

Figura N° 3
DÉFICIT HÍDRICO ANUAL (mm) (PERIODO 1980 – 2015) (IZQUIERDA) Y DÉFICIT HÍDRICO ANUAL (mm) (HACIA 2050) (DERECHA)

IMPORTANCIA DE LA MIGRACIÓN ASISTIDA

El cambio climático está desacoplando el clima con el hábitat de las poblaciones de árboles forestales al cual están adaptadas. En otras palabras, el clima en el cual los árboles han evolucionado ocurrirá en el futuro en un lugar diferente o incluso podría desaparecer por completo (Rehfeldt *et al.*, 2012).

Especies y poblaciones de árboles forestales han evolucionado para adaptarse al entorno en el cual crecen (Rehfeldt, 1988). Esta evolución se produjo tanto a nivel de especie como de población. Por lo general, las poblaciones de especies de árboles forestales ampliamente distribuidas se diferencian genéticamente con el fin de adaptarse al clima (Rehfeldt *et al.*, 2002), las condiciones del suelo y los factores de perturbación (incendios, plagas y enfermedades) que prevalecen en donde crecen (Alfaro *et al.*, 2014). La diferenciación genética significa que las poblaciones de la misma especie pueden diferir entre sí en uno o más rasgos o caracteres que les permiten sobrevivir, crecer, competir y reproducirse en un entorno determinado. Ejemplos de tales rasgos adaptativos son la supervivencia, la tasa de crecimiento, la resistencia al daño por heladas o al estrés por sequía, y el momento de formación y dispersión de semillas (distancia y tiempo).

Es por esto que la migración asistida es una importante opción de manejo para realinear físicamente las poblaciones naturales con el clima para el cual están ya adaptadas, mediante la reforestación de los sitios donde se proyecta que el clima propicio ocurrirá en el futuro. Lo anterior se considera una opción de manejo forestal activo para mantener los ecosistemas con árboles sanos en el futuro.

Bruno Fady, del Instituto Nacional de Investigación Agrícola de Francia (INRA, 2011), confirmando lo anterior, explica que los principales impactos del cambio climático sobre los recursos genéticos forestales surgirán de la modificación y el cambio de la localización de los bioclimas adecuados. También describe tres estrategias de adaptación para los árboles: la capacidad de los fenotipos para enfrentar un amplio rango de condiciones climáticas (plasticidad fenotípica¹⁰); la adaptación genética; y la migración.

VARIACIÓN GENÉTICA ADAPTATIVA

De acuerdo a lo anterior, el factor genético más importante que afecta el éxito de la migración de la población es la "Variación Genética Adaptativa". Los árboles que poseen alelos adecuados para un régimen de temperatura particular pueden estar bien adaptados a las condiciones bióticas y abióticas locales asociadas con un sitio nuevo (Aitken *et al.*, 2008; O'Neill *et al.*, 2008). Sin embargo, aunque son capaces potencialmente de sobrevivir, el crecimiento normal podría verse impedido o alterado hasta tal punto que la productividad se vea afectada y el árbol se considere "mal adaptado" para el sitio (O'Neill *et al.*, 2008), por esta razón es muy importante entender el significado de la variación genética adaptativa en relación a la eficacia biológica. Dentro de la variación genética se distinguen dos tipos de variación: la diversidad neutral (ADN no codificante), es decir aquellos rasgos no determinados por fuerzas selectivas, y la variación adaptativa (ADN codificante), constituida por los caracteres con valor adaptativo. La variación genética adaptativa es el principal mecanismo que tienen las plantas para adaptarse al cambio climático, por ello se profundizará en este concepto.

Holderegger *et al.* (2006), señalan que el término adaptativo o selectivo se refiere a genes que tienen un efecto sobre la eficacia biológica. Dichos autores asumen que, si se tienen dos alelos que ocurren en un gen dado, denominados *a* y *b*, esto genera tres diferentes genotipos, los homocigotos *aa* y *bb* y el heterocigoto *ab*. Sin embargo, es importante para un individuo determinado saber cuál de los tres genotipos lleva en sus cromosomas, ya que son selectivamente no equivalentes. Por ejemplo, el genotipo *bb* podría tener una eficacia biológica más alta que los genotipos *aa* o *ab*. Por lo tanto, la selección natural actuará directamente sobre los genotipos de

¹⁰ Plasticidad Fenotípica: Es la capacidad que muestran algunos genotipos de alterar en forma significativa su expresión en respuesta a determinados factores ambientales, produciendo una serie de fenotipos diferentes.

menor eficacia biológica, favoreciendo al genotipo *bb*. Los genes seleccionados tienen una tendencia a ser de un solo tipo (monomórficos) dentro de las poblaciones porque la selección eliminó previamente todas las variantes no aptas. Luego, los genotipos son de importancia adaptativa o selectiva. La variación genética adaptativa es la variación genética que se estima en dichos genes adaptativos.

Holderegger et al. (2006) sugieren que la variación en los rasgos que tienen un valor de adaptación potencial, como la supervivencia, crecimiento en volumen, resistencia a las heladas en las plantas, entre otros, debe estudiarse en experimentos genéticos cuantitativos, como son los ensayos de progenie o de progenie y procedencia. Conner y Hartl (2004) establecen que la mayoría de los rasgos cuantitativos no están determinados por un solo gen, sino por varios a muchos genes. Por lo tanto, los alelos pueden ser aditivos en sus efectos a través de muchos genes.

Holderegger et al. (2006) establecen que para evaluar la variación genética en rasgos que se encuentran bajo selección natural en experimentos genéticos cuantitativos, los individuos con una relación genética conocida se deben desarrollar bajo condiciones ambientales constantes. Por ejemplo, una muestra de semillas de varias familias o madre o de polinización abierta, es decir semillas de medio hermano, se hacen germinar en un invernadero, posteriormente se plantan y se colocan en forma aleatoria en un ensayo de progenie y luego se monitorea la supervivencia y el crecimiento a lo largo de ciclo de vida del experimento. El razonamiento que hay detrás de esta configuración es primero que las diferencias de los individuos que crecen en el mismo entorno se deben a diferencias genéticas y segundo que los miembros de la familia comparten alelos y, por lo tanto, son más similares entre sí, que a los miembros de otras familias. Por lo tanto, cuanto mayor es el grado de similitud de los miembros de la familia, mayor es el componente genético en la variación fenotípica total. Es evidente que los experimentos genéticos cuantitativos son intensivos en trabajo, tiempo y costo.

Se presenta en la Figura N° 4 un modelo conceptual de migración asistida que busca estimar la variación genética adaptativa para la araucaria (*Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch), que considera como elemento central ensayos genéticos del tipo ensayos de progenie y procedencia. Se busca así salvaguardar el potencial adaptativo de la especie y repoblar nuevas áreas tanto dentro como fuera de la distribución natural de la especie.

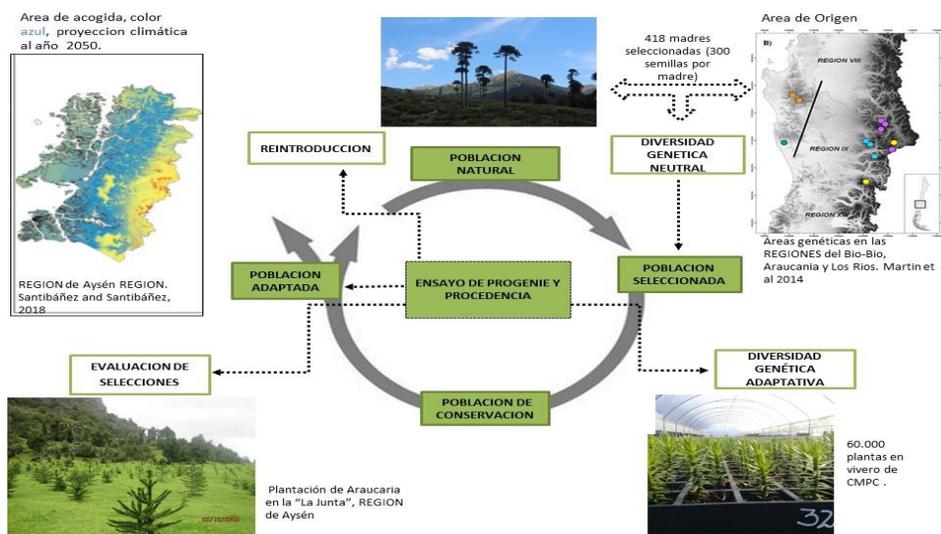


Figura N° 4
MODELO DE MIGRACIÓN ASISTIDA PARA *Araucaria araucana*

Para determinar la diferenciación de la población en los genes adaptativos se debe estimar el valor QST, esto se puede escribir como (Savolainen *et al.*, 2004):

$$QST = VG / (VG + 2VA)$$

Donde: QST: Grado de diferenciación en caracteres cuantitativos fenotípicos
VG: Componente de varianza entre poblaciones
VA: Varianza genética aditiva promedio dentro de las poblaciones (Latta, 2003).

La variación genética adaptativa es el principal mecanismo que tienen las plantas para adaptarse al cambio climático. La adaptación es un proceso que conduce a una mayor eficacia biológica en un ambiente específico y se define y calcula como se explica a continuación.

Eficacia biológica (EB) o fitness: Es la capacidad de un individuo para transferir sus genes a la(s) generación(es) siguiente(s) y será función de algunas variables independientes, como, por ejemplo:

$$EB = \text{Supervivencia} + \text{crecimiento} + \text{fecundidad} + \text{longevidad} + \text{tiempo}$$

Los estudios de variación adaptativa revelan si se trata de una especie homogénea o si las distintas poblaciones están muy diferenciadas respecto a su adaptación al hábitat. Luego, proporcionan información sobre el comportamiento fuera del sitio y las posibilidades de traslado (Boshier y Young, 2000).

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.

MODALIDADES DE LA MIGRACIÓN ASISTIDA

A la Migración Asistida también se le conoce como "migración facilitada" (Aitken, *et al.*, 2008; Hewitt *et al.*, 2011; Pedlar *et al.*, 2012; Rehfeldt *et al.*, 2002).

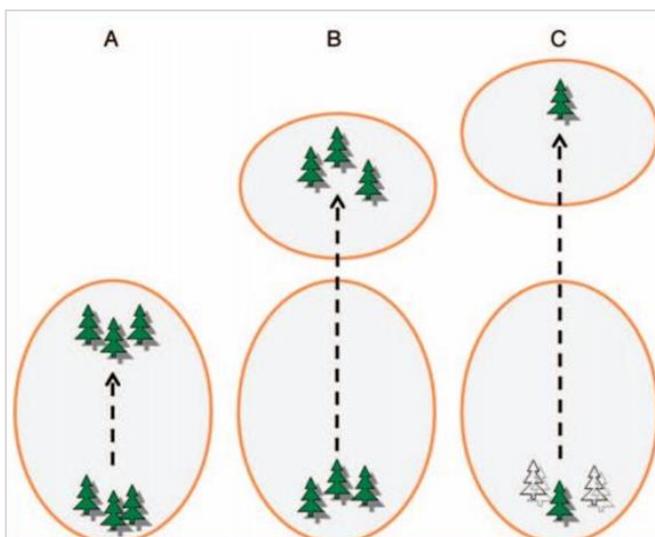
Es ineludible que para un gran número de especies de árboles forestales será necesaria la intervención humana para hacer coincidir o realinear las poblaciones con el medio ambiente al que estaban adaptadas. Este realineamiento asistido por humanos ha sido llamado migración asistida (MA), colonización asistida, reforzamiento, reubicación, entre otros.

La MA debe considerarse como un término genérico que incluye el traslado de semillas, propágulos, juveniles o adultos, tanto dentro de la distribución geográfica de la especie como en el margen de esta distribución e incluso fuera de su distribución histórica (Fernández-Manjarrés y Benito-Garzón, 2015). Este último caso es comúnmente llamado colonización asistida y es el que presenta mayores controversias, sobre todo, pero no exclusivamente, cuando se trata de especies amenazadas porque la probabilidad de supervivencia en el nuevo ambiente puede ser muy baja. En el caso de traslados de poblaciones dentro de su área de distribución, la MA es equivalente al reforzamiento de poblaciones (*population reinforcement*) con individuos de la misma especie, pero originarios de otras localidades. Se verá en los puntos siguientes que este tipo de migración asistida tiene gran importancia en la restauración ecológica con base genética (Ipinza y Gutiérrez, 2014).

De la misma forma, Williams y Dumroese (2013) afirman que la MA puede ocurrir en una variedad de formas para cumplir diversos objetivos. La tendencia actual es considerar como objetivo de los programas de conservación el mantenimiento del potencial adaptativo de la especie, protegiendo los procesos ecológicos y evolutivos que han actuado hasta el momento.

Williams y Dumroese (2013) conceptualizan su clasificación como se muestra en la Figura N° 5 e indican que para especies nativas y para evitar pérdidas económicas en la industria de la madera, las fuentes de semillas y las poblaciones de genotipos de árboles comerciales podrían moverse: (A) dentro de su rango actual, lo que coincide con el reforzamiento de poblaciones; (B) desde su rango actual a áreas adecuadas, en el límite o justo fuera de este para mantener el ritmo de las condiciones cambiantes; (C) el movimiento a lugares más alejados de la distribución actual es una opción para prevenir la extinción de especies y es lo que se ha definido como colonización asistida.

Los riesgos pueden variar ampliamente en las formas de migración asistida, pero probablemente aumentarán con la distancia de migración (Mueller y Hellmann, 2008; Vitt *et al.*, 2010; Pedlar *et al.*, 2012). Por ejemplo, la MA a áreas muy lejos de su rango actual (C) conllevaría mayores responsabilidades financieras y riesgos ecológicos (Winder *et al.*, 2011).



(Fuente: Williams y Dumroese, 2013)

A. Movimiento dentro de la distribución actual de la especie. B. Movimiento fuera del rango de distribución actual de la especie, pero cercano a su límite. C. Movimiento de la especie fuera del rango de distribución actual, pero lejano a su límite.

Figura N° 5
MODALIDADES DE LA MIGRACIÓN ASISTIDA

ELEMENTOS QUE RETARDAN LA APLICACIÓN DE OPCIONES DE ADAPTABILIDAD

La Naturaleza Tiende a la Perfección

Hay una creencia común entre el público en general sobre que la naturaleza permite que las especies evolucionen y que las poblaciones se adapten a cambios ambientales (como las glaciaciones) y que, por tanto, esto debería ocurrir una vez más en respuesta al cambio climático (Hansen, 2009).

Esta creencia es en su mayoría errónea, al menos para las poblaciones de árboles. El problema es la velocidad del cambio climático actual inducido por el hombre (Hansen, 2009).

Lo Mejor es no Hacer Nada o Poner un Candado al Bosque

Ipinza (2000) plantea que existe una tendencia bastante razonable entre los silvicultores, medioambientalistas y conservacionistas, entre otros, a creer que la evolución a través de regeneración natural de las especies forestales siempre maximiza la eficacia biológica y que la menor intervención hecha por el hombre es la mejor estrategia de conservación.

Sin embargo, el autor mencionado indica que el resultado de la selección natural refleja los efectos de las condiciones previas y, por lo tanto, no es solo la fuerza de la evolución la que da forma al recurso genético forestal. Debido a que los principales efectos de la selección natural operan al nivel del organismo individual, los efectos de la selección natural sobre rasgos específicos serán dependientes de cómo un rasgo está relacionado con otros rasgos que constituyen la eficacia biológica total. De este modo, los rasgos algunas veces están negativamente correlacionados, lo que implica que el progreso en uno conducirá al deterioro en otro.

La plasticidad fenotípica también permite que algunos individuos sobrevivan, incluso si ellos no maximizan su eficacia biológica en un ambiente específico. Además, algunos genes y rasgos de poca importancia para la eficacia biológica son cambiados simplemente por una acción accidental. Aún más, los genes individuales usualmente afectan a varios rasgos pleiotrópicamente y, por lo tanto, no es cierto que cualquier rasgo puede estar en un nivel óptimo. El continuo cambio ambiental, con o sin cambios climáticos globales, fuerza a la selección natural a actuar en una infinidad de direcciones, por lo que la máxima eficacia biológica nunca será obtenida.

Para que los bosques naturales tengan alguna posibilidad de supervivencia, Ipinza (2000) sugiere que el hombre está obligado a intervenir, en forma positiva sobre los bosques, en especial si este ha jugado un papel en el deterioro de los recursos genéticos, a través de la selección disgénica o "floreo", la fragmentación, la deforestación y la degradación.

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

Las intervenciones tienen que ser activas y van desde promoción de la regeneración natural en todos los bosques chilenos, incluso en áreas determinadas de Parques Nacionales, hasta la migración asistida. Las acciones de adaptación tienen que tomarse en el menor plazo posible, ya que la presión de selección del cambio climático es muy rápida y el actual estado de degradación y fragmentación de los bosques nativos ha reducido la capacidad de las especies y ecosistemas para la adaptación. La actual cantidad de variación genética es clave para enfrentar los cambios ambientales.

La presión de selección del cambio climático a nivel local puede ser muy importante, en especial cuando se producen incendios forestales o aparecen enfermedades y plagas forestales, como las que están sufriendo los ecosistemas forestales chilenos. Se deben realizar acciones a nivel económico-social para prevenirlos. En el corto plazo, la presión de selección del cambio climático a nivel del paisaje/nación puede ser más lenta y aquí habrá que identificar especies y procesos ecológicos que son esenciales para la provisión de servicios ecosistémicos.

La Semilla Local es la Mejor Fuente Semillera

En general, se tiende a abordar la restauración o rehabilitación de ecosistemas y la recuperación de bosques nativos a través de plantaciones usando material de propagación local (Breed *et al.*, 2013), asumiendo, a veces erradamente, que el germoplasma forestal local ha experimentado la selección natural para convertirse en el mejor adaptado a las condiciones locales (Kettenring *et al.*, 2014). Sin embargo, se pasa por alto que la adaptación local puede verse obstaculizada por el flujo de genes, deriva genética, y/o la falta de variación genética, provocada por la fragmentación, degradación y floreo de los bosques. Se debe tener en cuenta que cualquier introducción de germoplasma "no local", en especial de especies nativas, en que comúnmente no

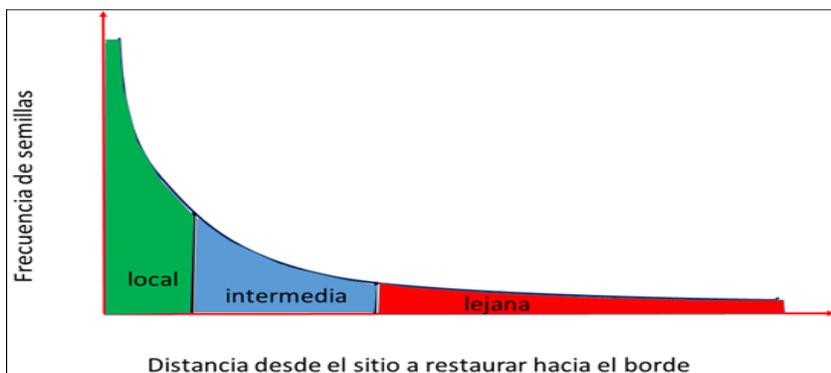
se dispone de información genética de la interacción genotipo ambiente (G x A) obtenida a partir de ensayos de progenie o de progenie y procedencia, tiene sus riesgos.

Si el germoplasma forestal no local corresponde a la misma especie, o está estrechamente relacionado con las especies remanentes en el sitio a recuperar, pero de fuentes genéticamente distintas, existe el riesgo de contaminación genética de las poblaciones locales (Millar *et al.*, 2012). Dentro de una misma especie, el flujo de genes entre las poblaciones locales y plantas introducidas no locales podría conducir a una depresión por exogamia, la que ocurre cuando el cruzamiento entre las fuentes locales y no locales producen una progenie híbrida que tiene menor eficacia biológica que la progenie local (Lowe *et al.*, 2005).

Breed *et al.* (2013) recomiendan el uso de semillas de fuentes mixtas para anticipar el impacto potencial del cambio climático. Si para una especie de interés se esperan cambios menores en el clima y en la interacción genotipo ambiente (G x A), una mezcla de semillas obtenida de poblaciones locales, pero genéticamente diversas, puede ser suficiente. En el caso que no se conozca el impacto del cambio en el clima, ni en la interacción G x A, entonces una mezcla de procedencias puede ser la estrategia más adecuada para aumentar el potencial de adaptación del germoplasma forestal (Broadhurst *et al.*, 2008; Sgró *et al.*, 2011; Breed *et al.*, 2013). Esta mezcla debería estar compuesta de: (i) una alta proporción de semillas de origen local de madres no emparentadas; (ii) una proporción procedente de distancias intermedias, pero de la misma procedencia o zona ecológica; y (iii) una baja proporción de semillas de poblaciones distantes y que sean ecológicamente diversas o distintas procedencias.

En la Figura N° 6 se muestra la lógica recomendada por Lowe (2010), donde sugiere que se debe coleccionar una proporción mayor de semilla y/o madres en las denominadas poblaciones locales (60%), luego en las poblaciones intermedias (30%) y finalmente en las lejanas (10%). Para la colecta de semillas se debe seguir la prescripción de Ipinza *et al.* (2016), es decir usar rutas semilleras. Para una especie se seleccionan 10 a 15 individuos no emparentados, como mínimo, distanciados entre ellos a 30 a 50 m, también como mínimo. Esto viene a conformar un lote de semillas multifamiliar de una población dada y el número de árboles semilleros a coleccionar depende de la cantidad y superficie a reforestar.

Estas poblaciones o procedencias mezcladas maximizan la variabilidad genética de las plantaciones que se originen en el sitio a recuperar, asegurando así la identidad genética, la sustentabilidad del recurso recuperado y permitiendo que en el futuro la regeneración natural pueda perpetuar el bosque. Si no se siguen estas recomendaciones es probable que la restauración sea un fracaso, tal como ha sido señalado por Bozzano *et al.* (2014).



(Fuente: Lowe, 2010)

Figura N° 6
COMPOSICIÓN DE UN LOTE MIXTO DE SEMILLAS DE PROCEDENCIAS MEZCLADAS
EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DEL SITIO DE COLECTA AL SITIO A RESTAURAR O REHABILITAR

En general, el movimiento de semillas debe ser ascendente en altitud y hacia los polos respectivos de cada hemisferio. Esto se puede lograr mediante la recolecta de semillas de una población natural dada (rutas semilleras), usando estas para producir plantas en un vivero y establecerlas en una localización en la que se prevé un clima propicio en un futuro determinado (no en su procedencia original). Este cambio de fuentes de semillas es necesario para adoptar el cambio climático reciente, así como el esperado durante la vida del árbol plantado.

En otras palabras, los árboles sanos bien adaptados a estas condiciones deben estar presentes con el fin de producir las semillas y las plantas que puedan sobrevivir y madurar en las condiciones futuras. De hecho, es muy posible que las poblaciones necesiten ser movidas y ser movidas nuevamente si el cambio climático continúa y la tasa de migración natural es todavía demasiado pequeña.

Esta estrategia de manejo propuesta rompe un concepto fundamental de la ecología de la restauración ecológica clásica; que las fuentes locales de semillas son normalmente las mejores. Pareciera que esto ya no es cierto para muchas poblaciones de árboles (Ipinza y Gutiérrez, 2014)

MIGRACIÓN ASISTIDA: EL NUEVO PARADIGMA PARA LA CONSERVACIÓN

La planificación de la MA requiere el conocimiento de la relación entre las poblaciones contemporáneas y su clima, y solo entonces se podrá predecir dónde y cuándo estos climas ocurrirán y tomar decisiones respecto a cuándo se deberá mover, qué población y hacia dónde.

Desde una perspectiva ecológica, Winder *et al.* (2011) sostienen que la MA es una opción de manejo factible para los árboles forestales y que las restricciones y consecuencias pueden ser minimizadas mediante una aplicación cuidadosa de las herramientas y conocimientos disponible.

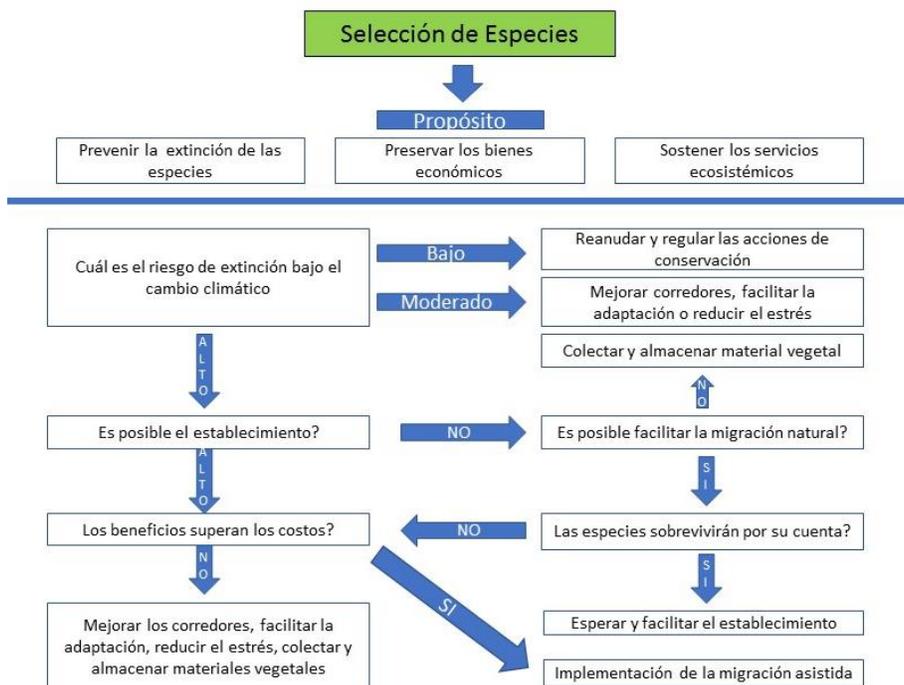
Los movimientos de población con fines de reforestación han sido un componente del manejo forestal durante siglos. La meta inicial de esta acción era, simplemente, encontrar la mejor fuente de semilla, no había reflexiones o preocupaciones acerca del cambio climático o de la necesidad de migración asistida.

Hoegh-Guldberg *et al.* (2008) han establecido un marco de decisión que ayuda a determinar las estrategias de adaptación para una especie o población de plantas que tienen valor de conservación, económico o social. La información genética, los modelos bioclimáticos, los registros históricos y los experimentos actuales pueden guiar la necesidad de la MA. La implementación de esta estrategia depende del riesgo de declinación o extinción de la especie, el establecimiento, los costos y los beneficios biológicos, económicos y sociales. Este marco de decisión se exhibe en la Figura N° 7 y lo destacable es que, para la implementación operacional de la MA, se debe establecer el nivel de riesgo de extinción, si dicha especie es capaz de sobrevivir por su cuenta y, finalmente, si los beneficios superan los costos.

Estos autores establecen como primer paso el riesgo de extinción de las especies focales o claves, diferenciando entre aquellas especies que tienen una baja, media o alta vulnerabilidad¹¹ al cambio climático continuo. Las especies con baja vulnerabilidad son mejor atendidas mediante el manejo convencional de los bosques. Las especies con vulnerabilidad moderada son probables candidatas a los esfuerzos de MA de la población, lo que puede mejorar la resiliencia¹² al cambio climático. Las especies de alta vulnerabilidad pueden beneficiarse más de la asistencia humana dentro de los límites del rango de distribución o facilitando la migración natural y el establecimiento mediante la expansión del rango de distribución de la especie.

¹¹ Vulnerabilidad: Propensión o predisposición a ser afectada negativamente por el cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad comprende la susceptibilidad o sensibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta.

¹² Resiliencia: Capacidad de un sistema social o ecológico de absorber una alteración sin perder su estructura básica o sus modos de funcionamiento, su capacidad de auto organización, ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio.



(Fuente: Hogg-Guldberg *et al.*, 2008; Williams y Dumroese, 2013)

Figura N° 7
ESTRUCTURA DE DECISIÓN PARA DETERMINAR LA ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN
PARA ESPECIE O POBLACIONES

La selección de especies a ser movidas mediante la MA se hace más complicada en ecosistemas con una amplia biodiversidad, fundamentalmente debido a la mayor cantidad de especies a proteger. También es complejo cuando un tipo o asociación forestal posee una amplia variedad de especie, como por ejemplo el Tipo Forestal Siempreverde en Chile (Navarro, *et al.*, 2014).

Es evidente que en una crisis de cambio climático no todas las especies se pueden mover. La Figura N° 7 muestra una opción para darle prioridades a las especies que están en el borde de la extinción, endémicas o en peligro de extinción, como es el caso *Pitavia punctata* Mol. (pitao o canelillo), *Gomortega keule* (Molina) Baill. (queule, keule, queuli), *Beilschmiedia berteroaana* (Gay) Kosterm. (belloto del sur), *Nothofagus alessandrii* Espinosa (ruil), *Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon (palma chilena, palma de coquitos, palma de miel), *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch (araucaria, pehuén, piñonero, pino piñonero, pino chileno, pino araucaria, pewen, guiliu), entre otras.

Con el fin de reducir los riesgos y la incertidumbre con respecto al mejor genotipo para un sitio determinado, una opción es plantar una dotación de plantas con una amplia gama de genotipos para abarcar una también amplia diversidad genética, es decir mezclando fuentes de semillas que sean locales y no locales (Lowe, 2010). Por supuesto, esto requiere plantar a densidades más altas de lo que normalmente sería el caso, con el fin de tener en cuenta la mortalidad esperada como resultado de la selección natural (Ledig y Kitzmiller, 1992).

Por otro lado, la variación genética de una especie puede afectar la diversidad de otras especies (genética de comunidades), ya que, por ejemplo, algunas especies de insectos, especies

de pájaros o micorrizas pueden asociarse preferencialmente con ciertos genotipos de árboles (Whitham *et al.*, 2003), luego existen posibilidades de migraciones más complejas, como asociaciones de especies e incluso en distintos niveles de la cadena trófica.

En un caso más concreto, el éxito de la MA, también depende de presencia y de la variación genética de las especies relacionadas, como las micorrizas, lo que puede afectar la supervivencia de las especies claves que se requiere mover, lo que tiene importantes implicaciones para la conservación, restauración, rehabilitación y manejo de ecosistemas.

En este contexto los hongos ectomicorrícicos (EM) que son simbioses de coníferas, como la *araucaria*, y de *Nothofagus spp*, entre muchas otras especies, adquieren agua y nutrientes y protegen las raíces de diversos tipos de estrés. A veces son cosmopolitas y otras veces con nichos ecológicos muy especializados, y estos hongos pueden diseminarse a través de esporas o propagarse a través del crecimiento de su micelio subterráneo. Se estima que algunos hongos EM pueden migrar 10 km/año (Pringle *et al.*, 2009) y esto puede implicar que la capacidad de migración de la mayoría de los hongos EM es aproximadamente equivalente a la de su árbol hospedante.

Existen muchas prácticas de manejo de ecosistemas forestales que se deben tener presentes para la planificación e implementación de medidas de adaptación al cambio climático, en el contexto de la MA, ya que tanto la restauración ecológica, la rehabilitación o simplemente la forestación originarán nuevos ensamblajes de especies como ecosistemas “nuevos”. Para las especies de interés forestal parece razonable que las prácticas se centren en rasgos de interés económico, pero con genotipos adecuados para los escenarios futuros.

MIGRACIÓN ASISTIDA CON INFORMACIÓN GENÉTICA

En países desarrollados, las políticas de manejo forestal fomentan la MA y los ensayos de MA. Ensayos de este tipo actualmente están en marcha en América del Norte. Los Ensayos de Adaptación a la Migración Asistida (AMAT) son un gran conjunto de experimentos de largo plazo realizados por el Ministerio de Bosques de la Columbia Británica y varios colaboradores, incluido el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los EEUU (USDAFS) y empresas madereras, que evalúan estos ensayos de MA y el calentamiento global (Marris, 2009). Es un programa que evalúa el desempeño adaptativo de 16 especies forestales, cuyas semillas se colectaron en la Columbia Británica, Washington, Oregón e Idaho y fueron plantadas en una variedad de sitios en la Columbia Británica.

Estos ensayos son de progenies y de procedencias y progenies, método clásico que permite determinar qué monto de la variación fenotípica del carácter corresponde a una variación genética y cuánto corresponde a la influencia del ambiente. La base de los ensayos es observar la respuesta de distintos genotipos creciendo en las mismas condiciones, con lo que se minimiza la influencia ambiental; a la vez, el ensayo se repite en diferentes localidades para determinar la variación de un mismo genotipo en distintos ambientes o lo que se conoce como la interacción genotipo ambiente (IGA).

El Modelo de MA, de la *Araucaria araucana*, bosquejado en la Figura N° 4, pretende ubicar 3 a 4 ensayos de progenie y procedencia en la zona de acogida y al norte de ella, para poder estimar las IGA y así poder optimizar la asignación de los genotipos en las distintas áreas de plantación.

Este tipo de ensayos se ha usado mayoritariamente en los programas de mejora genética de especies de importancia económica (Ipinza, 1998), por lo que esta información escasea en la mayoría de las especies nativas y se encuentra concentrada hacia caracteres de importancia productiva, pero de naturaleza adaptativa (crecimiento, resistencia a plagas y enfermedades, características de la madera). Los ensayos de procedencia se suelen establecer para evaluar fuentes de semilla comercial o para obtener material selecto, mientras que los ensayos de progenies proporcionan información para evaluar a progenitores o progenies y seleccionar la siguiente generación de mejora, también para obtener estimaciones de parámetros genéticos como la heredabilidad o los coeficientes de variación genética aditiva. Para obtener el máximo de

información de un ensayo, es importante que el diseño sea el más adecuado (Ipinza, 1998).

Los ensayos de progenie y procedencia dan información acerca de los patrones de variación genética cuantitativa y la extensión de la interacción genotipo-ambiente o IGA, es decir, sobre la variación en respuesta a la heterogeneidad del hábitat. Es importante destacar que los caracteres que se consideren medir deben ser rasgos relacionados con la supervivencia.

En Chile se requiere con urgencia abordar el establecimiento de una red 2.0, de ensayos de progenie y procedencia o prueba de jardín común, en especies nativas, para estimar la IGA. La primera red (Ipinza, *et al.*, 2000) se estableció el año 2000-2001, para roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst), raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst.) y coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.). Estos ensayos de campo pueden ser a pequeña o mediana escala y permitirían acumular evidencia y datos científicos sólidos para sustentar la MA como una opción valiosa de manejo forestal a largo plazo.

Mátyás (2007) 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, Lefevre (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 migración potencial de las especies forestales.

Por último, la conservación *ex situ* a través de la creación de Bancos de Semillas o Colecciones *in vivo* como son los ensayos de progenie y procedencia puede proporcionar un "seguro ecológico - genético", así como apoyo para futuras actividades de MA.

Independientemente de las opciones de manejo consideradas, el monitoreo de las especies es esencial durante y después de la implementación de cualquier enfoque de MA, y la vulnerabilidad de las especies debe evaluarse periódicamente para determinar si el enfoque elegido fue el adecuado para cumplir con las condiciones actuales y para identificar otras medidas que podrían ser implementadas como parte de una estrategia de adaptación al cambio climático.

CONCLUSIONES

El clima está cambiando a un ritmo más rápido que la migración natural de plantas, lo que se torna un gran desafío para el manejo y la conservación de los recursos genéticos forestales.

Después de varios siglos de investigación y manejo forestal se cuenta con elementos para reducir pérdidas en el crecimiento, incrementar la productividad y mejorar la conservación de los bosques mediante la implementación de estrategias, tales como migración asistida.

En Chile, a pesar de que se dispone de pautas de zonas de semillas para especies nativas (Quiroz y Gutiérrez, 2014) y programas de mejoramiento genético para las especies comerciales más importante de Chile (Ipinza, *et al.*, 2014), se carece de procedimientos operativos estandarizados para determinar cómo, cuándo y dónde implementar el movimiento de MA. Los movimientos fuera de las zonas actuales podrían estar en conflicto con algunas restricciones locales, pero facilitar la adaptación climática a través de la MA tiene el potencial de preservar la salud y la productividad de los bosques y, posteriormente, mantener los servicios de los ecosistemas, como el secuestro de carbono y la conservación del suelo y el agua, y el hábitat de vida silvestre.

¹³ Plasticidad Fenotípica: Es la capacidad que muestran algunos genotipos de alterar en forma significativa su expresión en respuesta a determinados factores ambientales, produciendo una serie de fenotipos diferentes.

Sin lugar a dudas el estudio de esta incipiente tecnología proporciona componentes a considerar en los planes de adaptación al cambio climático y seguramente se convertirá en la tecnología más apropiada para salvaguardar el potencial adaptativo de las especies nativas más vulnerables.

RECONOCIMIENTOS

Por su siempre inspirador trabajo a los colegas de INFOR Jorge González, Braulio Gutiérrez, Hernán Soto, Marcos Barrientos, María Paz Molina, Andrés Bello, Laura Koch, Patricia Rojas, Dante Corti y Richard Velásquez. También a los colegas de CMPC Juan Andrés Celhay, Verónica Emhart, Jean Pierre Lasserre y Eduardo Hernández, y por supuesto a Norma Baez. A los colegas de CONAF Aida Baldini, Patricio Parra, Julio Figueroa, Mónica González, Leonardo Araya, a los Guarda Parques de los Parques Nacionales de Bio Bio, Araucanía y Los Ríos, y un reconocimiento especial a Sabine Muller-Using y Fernando Santibáñez.

REFERENCIAS

Aitken, S.; Yeaman, S.; Holliday, J.; Wang, T. and Curtis-McLane, S., 2008. Adaptation, migration or extirpation: Climate change outcome for tree population. *Evolutionary Applications* 1:95-111.

Alfaro, R. I.; Fady, B.; Vendramin, G. G.; Dawson, I. K.; Fleming, R. A.; Saenz-Romero, C.; Lindig-Cisneros, R. A.; Murdock, T.; Vinceti, B.; Navarro, C. M.; Skroppa, T.; Baldinelli, G.; El-Kassaby, Y. A. and Loo, J., 2014. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management*, 333(1), 76–87. doi:10.1016/j.foreco.2014.04.06.

IDDs, 2011. Síntesis del Seminario Informativo Especial sobre Cambio Climático y Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación: Estado del Conocimiento, de los Riesgos y Oportunidades. Publicado por el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IIDS). Boletín CRGAA. En: <http://www.ilsd.ca/blodlv/cgrfa13/> vol. 168, no. 2, julio de 2011. 3 p.

Boshier, D. H. and Young, A.G., 2000. Forest conservation genetics: Limitations and future directions. En: Young, A.; Bohier, D. and Boyle, T. (Eds.). *Forest conservation genetics: Principles and practice*. CSIROCABI, 289-297.

Bozzano, M.; Jalonen, R.; Thomas, E.; Boshier, D.; Gallo, L.; Cavers, S.; Bordács, S.; Smith, P. and Loo, J., (Eds.), 2014. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *State of the World's Forest Genetic Resources –Thematic Study*. Rome, FAO and Bioversity International. 281 p.

Breed, M. F.; Stead, M. G.; Ottewell, K. M.; Gardner, M. G. and Lowe, A.J., 2013. Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conserv. Genet.* 14, 1–10.

Broadhurst, L. M.; Lowe, A.; Coates, D.J.; Cunningham, S. A.; Mc Donald, M.; Vesk, P.A. and Yates, C., 2008. Seed supply for broad-scale restoration: Maximizing evolutionary potential. *Evol. Appl.* 1, 587–597.

Conner, J. K. and Hartl, D. L., 2004. *A Primer to Ecological Genetics*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.

Eriksson, G., 2000. Red Europea de Conservación de Recursos Genéticos de Frondosas Nobles. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.: Fuera de Serie* N° 2-2000. p. 59-69.

Fernández-Manjarrés, J. F. y Benito-Garzón, M., 2015. El debate de la migración asistida en los bosques de la Europa Occidental. Capítulo 41 en Herrero, A. & Zavala, M. A. (Eds). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Magrama. pp 463-468.

Hansen, J., 2009. *Storms of my grandchildren*. New York, NY, USA: Bloomsbury Press.

Hansen, J.; Sato, M. and Ruedy, R., 2012. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), 2415–2423. doi: 10.1073/pnas.1205276109.

Hewitt, N.; Klenk, N.; Smith, A. L.; Bazely, D. R.; Yan, N.; Wood, S. and Henriques, I., 2011. Taking stock of the assisted migration debate. *Biological Conservation*, 144, 2560–2572. doi: 10.1016/j.biocon.2011.04.031

- Hoegh-Guldberg, O.; Hughes, L.; McIntyre, S.; Lindenmayer, D. B.; Parmesan, C.; Possingham, H. P. and Thomas, C.D., 2008.** Assisted colonization and rapid climate change. *Science* 321:345–346.
- Holderegger, R.; Kamm, Urs and Gugerli, Felix, 2006.** Adaptive vs. neutral genetic diversity: Implications for landscape genetics. *Landscape Ecology* (2006) 21:797–807.
- IPCC, 2007.** Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III para el cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Ipinza, R., 1998.** Diseños de Ensayos Genéticos. En: Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V. (Eds). Curso Mejora Genética Forestal Operativa. 16-21 noviembre de 1998. Universidad Austral de Chile, Instituto Forestal, Corporación Nacional Forestal. Chile. pp. 249-299.
- Ipinza, R., 2000.** Modelo Básico de Mejora Genética. En: Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V. (Eds). Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Universidad Austral / Instituto Forestal. pp. 197-213.
- Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V., 2000.** Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Universidad Austral / Instituto Forestal. 468 p.
- Ipinza, R. y Barros, S.(Eds), 2011.** El Cambio Climático. Los Bosques y La Silvicultura. Instituto Forestal. 139 p.
- Ipinza, R. y Gutiérrez, B., 2014.** Consideraciones Genéticas para la Restauración Ecológica. En: Ciencia e Investigación Forestal INFOR Chile. Volumen 20 N° 2 agosto. pp. 51-72.
- Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Molina, M., 2014.** Mejoramiento genético de eucaliptos, historia, avances y tendencias. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B. y Borralho, N. (Eds). Mejoramiento Genético de Eucalipto en Chile. Instituto Forestal. pp. 17-34.
- Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Molina, M., 2016.** Una pauta sencilla para la restauración del bosque nativo chileno. *Boletín de APROBOSQUE*. Julio 2016. pp. 14-14. DOI: 10.13140/RG.2.1.3026.0727
- Kettenring, K. M.; Mercer, K. L.; Reinhardt, A. and Hines, J., 2014.** Application of genetic diversity-ecosystem function research to ecological restoration. *J. Appl. Ecol.* 51 (2), 339–348.
- Kremer, A., 2007.** How well can existing forests withstand climate change? In: Koskela, J.; Buck, A. and Teissier du Cros, E. (Eds). *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Biodiversity International, Rome, Italy. pp. 3–17.
- Latta R. G., 2003.** Gene flow, adaptive population divergence and comparative population structure across loci. *New Phytol.* 161: 51–58.
- Ledig, F. T. and Kitzmiller, J. H., 1992.** Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change. *For. Ecol. Manage.* 50:153–169.
- 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. (Eds). *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Biodiversity International, Rome, Italy. pp. 95–101
- Lewis, S., 2006.** Review: Tropical forests and the changing earth system. *Philosophical Transactions* 361, 195-210.
- Lowe, A J., 2010.** Composite provenancing of seed for restoration: Progressing the 'local is best' paradigm for seed sourcing. *The State of Australia's Birds 2009: Restoring woodland habitats for birds*. Compiled by David Paton and James O'Conner. Supplement to *Wingspan* 20(1) March.
- Lowe, A. J.; Boshier, D.; Ward, M.; Bacles, C. F. E. and Navarro, C., 2005.** Genetic resource impacts of habitat loss and degradation; reconciling empirical evidence and predicted theory for neotropical trees. *Heredity* 95, 255–273.
- Manion, P., 1981.** *Tree Disease Concepts*. Upper Sadle River. Prentice Hall, NKJ, USA. 324-339.
- Marris, E., 2009.** Planting the forest for the future. *Nature* 459:906-908.
- Mátyás, C., 2007.** What do held trials tell about the future use of forest reproductive material? In: Koskela, J.; Buck, A. and Teissier du Cros, E. (Eds). *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable*

forest management in Europe. Biodiversity International, Rome, Italy. pp. 53–69.

Mc Lachlan, J.; Hellmann, J. J. and Schwartz, M. W., 2007. A framework for debate of assisted migration in an era of climate change. *Conservation Biology*, 21(2), 297–302. doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00676.x

Millar, M. A.; Byrne, M.; Nuberg, I. K. and Sedgley, M., 2012. High levels of genetic contamination in remnant populations of *Acacia saligna* from a genetically divergent planted stand. *Restor. Ecol.* 20, 260–267.

MINAGRI-MMA, 2013. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario. Propuesta Ministerial Elaborada en el Marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012. Ministerio de Agricultura - Ministerio del Medio Ambiente. 64 p.

Mueller, J. M. and Hellmann, J. J., 2008. An assessment of invasion risk from assisted migration. *Conserv. Biol.* 22:562–567.

Navarro, C.; Huaunstein, E.; Pinares, J.; Esse, C. y Cabello, J., 2014. Guía de reconocimiento de Estaciones Forestales de la Región de la Araucanía. Proyecto Innova 11BPC-10164. Implementación de una metodología de tipificación de bosque nativo para la aplicación de la Ley 20.283 sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal. CORFO, Universidad Católica de Temuco, CONAF. 89 p.

O'Neill, G.; Hamann, A. and Wang T., 2008. Accounting for population variation improves estimates of the impact of climate change on species growth and distribution. *Journal of Applied Ecology* 45: 1040-1049.

Pedlar, J.; Mckenny, D. W.; Aubin, I.; Beardmore, T.; Beaulieu, J.; Iverson, L. R.; O'Neill, G. A.; Winder, R. S. and Ste-Marie, C., 2012. Placing forestry in the assisted migration debate. *BioScience* 62:835–842.

Pringle, A., Adams, R.; Cross, H. and Bruns, T., 2009. The ectomycorrhizal fungus *Amanita phalloides* was introduced and is expanding its range on the west coast of North America. *Molecular Ecology* 18: 817-833.

Quiroz, I. y Gutiérrez, B., 2014. Propuesta de reglamento para semillas y plantas forestales. INFOR-SAG-INNOVA CORFO. Concepción. 74 p.

Rehfeldt, G. E. 1988. Ecological genetics of *Pinus contorta* from the Rocky Mountains (USA): a synthesis. *Silvae Genetica* 37(3-4):131-135.

Rehfeldt, G. E.; Tchebakova, N. M.; Parfenova, Y. I.; Wykoff, W. R.; Kuzmina, N. A. and Milyutin, L. I., 2002. Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology*, 8, 912–929. doi: 10.1046/j.1365-2486.2002.00516.x

Rehfeldt, G. E.; Crookston, N. L.; Sáenz-Romero, C. and Campbell, E., 2012. North American vegetation model for land use planning in a changing climate: A statistical solution to large classification problems. *Ecological Applications*, 22(1), 119–141. doi: 10.1890/11-0495.1

Sáenz-Romero, Cuauhtémoc; Lindig-Cisneros, Roberto A.; Joyce, Dennis G.; Beaulieu, Jean; Clair, J.; Bradley St. and Jaquish, Barry C., 2016. Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente [en línea]* 2016, XXII (septiembre-diciembre). Pp. 303-323

Savolainen, O.; Bokma, F.; Garcia-Gil, R.; Komulainen, P. and Repo, T., 2004. Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes. *For. Ecol. Manage.* 197: 79–89.

Santibañez, F. y Santibañez, P., 2018. Evaluación de las forzantes bioclimáticas en la sustentabilidad de las comunidades de araucarias en Chile. Hacia una estrategia de conservación del patrimonio natural frente a la amenaza del cambio climático. INFODEP. Santiago, Agosto de 2018.

Sgrò, C. M.; Lowe, A. J. and Hoffmann, A. A., 2011. Building evolutionary resilience for conserving biodiversity under climate change. *Evol. Appl.* 4, 326–337.

SIMEF-INFOR, 2017. Migración Asistida. Una Opción para la Conservación de la Araucaria. *Conservación ex situ*. Reunión Internacional Daño Foliar de *Araucaria araucana* 7 - 9 de noviembre de 2017. Villarrica, Chile. 18 p.

Vitt, P.; Havens, K.; Kramer, A.T.; Sollenberger, D. and Yates, E., 2010. Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biol. Conserv.* 143:18 –27.

Whitham, T.; Young, W.; Martinsen, G.; Gehring, C.; Schweitzer, J.; Shuster, S.; Wimp, G.; Fischer, D.; Bailey, J.; Lindroth, R.; Woolbright, S. and Kuske, C., 2003. Community and ecosystem genetics: A

consequence of the extended phenotype. *Ecology*, 84:559-573.

Williams, M. and Kasten Dumroese, R., 2013. Preparing for Climate Change: Forestry and Assisted Migration. *J. For.* 111(4):287–297.

Winder, R. S.; Nelson, E. A. and Beardmore, T., 2011. Ecological implications for assisted migration in Canadian forests. 2011. *The Forestry chronicle* 87(6): 731-744.

Winder, R.; Nelson, E. A. and Beardmore, T., 2011. Ecological implications for assisted migration in Canadian forests. *For. Chron.* 87: 731–744.

RESUMEN

La cubierta forestal de Chile es a 2017 de 16,9 MMha, lo que representa el 22,4 % de la superficie del país. De esta superficie boscosa, 14,6 MMha corresponden a bosques nativos y 2,3 MMha a plantaciones forestales de especies exóticas de rápido crecimiento entre las que dominan *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, las que en conjunto conforman el 93,3% de la superficie plantada y el resto corresponde a otras especies de los mismos géneros y de otros, como *Acacia*, *Pseudotsuga*, *Populus* y otros.

El desarrollo de las plantaciones forestales en el país se inicia a principios del siglo XX, empezando los años 70 había unas 450 Mha, fundamentalmente de pino radiata, en 1983 se supera ya el millón de hectáreas y en 2001 los dos millones de hectáreas (INFOR, 2018), y a fines de 2017 hay 2,3 MMha, superficie de la cual el 42,2% corresponde a otras especies.

Factor decisivo en esta importante expansión de las plantaciones forestales fue la política de fomento a la forestación, aplicada a través de la promulgación de una ley de fomento para estos efectos con incentivos estatales a la forestación y al manejo de las nuevas plantaciones. Este cuerpo legal tuvo como resultado que por casi 40 años la tasa anual de plantación se mantuviera cercana a la 100 Mha y un fuerte desarrollo industrial basado en este recurso.

Desde 1975 la superficie de plantaciones se incrementó de 0,45 a 2,29 MMha; el consumo anual de madera de la industria forestal creció de 4,0 a 45,8 MMm³ y las exportaciones forestales de pulpa química, madera aserrada, tableros y otros productos subieron de 126 a 6.838 MMUS\$.

La tasa de forestación corresponde a la forestación más la reforestación (reposición de superficies cosechadas, que es obligatoria según la ley de fomento). La tasa de forestación anual era inicialmente mucho mayor que la de reforestación, después la tasa de reforestación se hace creciente dado el aumento del consumo. A partir de 2010 la tasa de forestación se reduce substancialmente y desde 2013, año en que lamentablemente expira la ley de fomento y ya no hay incentivos estatales, cae a cifras despreciables comparadas con aquellas de la década anterior, solo 1,7 Mha en 2017, en comparación con la media de 50 Mha para 2001 a 2010.

Usando como base la actualización de plantaciones forestales a diciembre de 2016 el Instituto Forestal (INFOR) efectúa un estudio de proyección de la disponibilidad de madera de plantaciones de pino radiata y eucaliptos para los próximos 30 años, estudio que arroja importantes déficits de madera, que indican que el sector forestal ve detenido el permanente crecimiento que los ha caracterizado desde los años 70 y que el nivel de consumo de madera de 45,8 MM m³ registrado en 2017 no podrá ser recuperado en más de 20 años (2041). La casi ausencia de forestación y la pérdida de casi 200 Mha de plantaciones a causa de los grandes incendios forestales del año 2017 han conducido a la situación descrita y, si se espera retomar el crecimiento sectorial en el año 2041, es indispensable incrementar desde ahora la tasa anual de plantación.

Existen en el país más de 3 MMha hectáreas de suelos forestales, desarbolados y en severos procesos de degradación, potencialmente disponibles para forestación y muy mayoritariamente en manos de pequeños y medianos propietarios, segmento de propietarios que hoy está imposibilitado de forestar sin incentivos estatales y tampoco puede recuperar unas 100 Mha perdidas en los incendios porque quedaron descapitalizados.

Palabras clave: Plantaciones forestales, Forestación, Reforestación

SUMMARY

The Chilean forest cover up to 2017 is 16.9 MMha, representing 22,4% of the national total area. Native forests cover 14,6 MMha and planted forests 2,3 MMha of introduced fast growing species plantations, within them *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*, which together represent 93,3% of the planted area. The rest of the planted area corresponds to several other species of the same genus and others like *Acacia*, *Pseudotsuga*, *Populus* and others.

Planted forests development in the country begins by the first years of the XX century, by the 1970 there were some 0,45 MMha, mainly Radiata Pine, in 1983 more than 1 MMha, in 2001 more than 2 MMha and in 2017 2,3 MMha, area of which 42,2% correspond to other species.

Key factor in these important planted forests expansion was the State afforestation promotion through a foment law giving State incentives to planted forests establishment and management. This law had as results an annual plantation rate close to 100 Mha by almost 40 years and also a strong industrial development based on this resource. Since 1975 planted area expands from 0,45 to 2,3 MMha; forest industry annual round wood consumption from 4,0 to 45,8 MMm³ and forest exports from 126 to 6.838 MMUS\$.

Annual plantation rate corresponds to reforestation (harvested areas recovering, obligatory according to the foment law) and afforestation. The afforestation annual rate was much larger than the reforestation one by many years, afterwards the reforestation rate growths because of the increasing wood consumption. Since 2010 the afforestation rate decreases substantially and by 2013, year in which unfortunately the foment law expire and the state incentives come to an end, falls to marginal figures, only 1,7 Mha in 2017 compared to the average of 50 Mha registered during the 2001 to 2010 period.

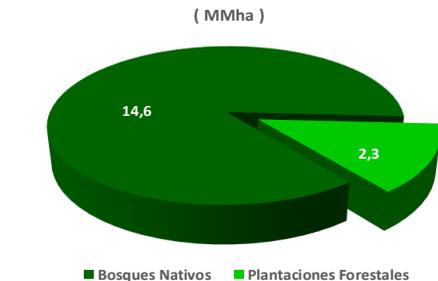
Using as a basis the 2016 planted forest area the Forestry Institute (INFOR) carry out a study on the wood availability from the Radiata Pine and Eucalypts plantations for the next 30 years and the results shows important wood deficits, which indicate that the forestry sector stop its usual growth since the 70s and that the 45,8 MMm³ wood consumption registered in 2017 can not be recovered bay more than 20 years (2041). The afforestation absence and the planted forest loos of almost 200 Mha because of great forest fires during 2017 are the main drivers to the described situation and, if the goal is to recover the sectorial growth by 2041, increase the annual plantation rate from now on is a must.

The country has more than 3 MMha of forest soils without forest cover and under strong degradation processes, potentially available to afforestation and mainly belonging to small and medium owners who can not face afforestation programs without the state incentives, also they can not recover about some 100 Mha of planted forests loos because of the 2017 forest fires due to their capital loos.

Keywords: Planted forests, Afforestation, Reforestation

INTRODUCCIÓN

La superficie territorial continental de Chile es de 75,6 MMha¹⁴ y la cubierta forestal nacional es a diciembre de 2017 de 16,9 MMha, lo que representa el 22,4 % de la superficie del país. De esta superficie boscosa, 14,6 MMha corresponden a bosques nativos y 2,3 MMha a plantaciones forestales (INFOR, 2018; 2018a) (Figura N° 1).



(Fuente: INFOR, 2018; 2018a)

Figura N° 1
CUBIERTA FORESTAL NACIONAL

Los bosques nativos, como su nombre lo indica, están compuestos por especies nativas del país, muchas de ellas endémicas, y las plantaciones forestales, en casi su totalidad, corresponden a especies exóticas o introducidas de rápido crecimiento.

Las especies exóticas son aquellas cuyas áreas o regiones de ocurrencia o distribución natural se encuentran fuera de los límites territoriales de un país y que en algún momento han sido introducidas casual o intencionalmente. Contrariamente, las especies nativas son aquellas cuya ocurrencia geográfica natural se ubica dentro del territorio de un país, y son endémicas si ocurren en forma natural exclusivamente dentro de este. Como ejemplos, pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) y eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) son especies originarias de California y del SE de Australia, respectivamente, y fueron introducidas al país en los últimos años del siglo XIX y los inicios del siglo XX; la araucaria chilena (*Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch) es una especie nativa de las regiones de Bio Bio, La Araucanía y Los Ríos en Chile, pero en similar latitud también ocurre naturalmente en sectores precordilleranos de Argentina; y la palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baill.) en tanto, es una especie endémica y tiene su distribución natural entre las regiones de Coquimbo y Maule.

Desde la época de la Conquista por los españoles (siglo XVI) los bosques nativos han sido fuertemente alterados como producto de la habilitación de suelos para uso agrícola y ganadero, práctica que se hace más intensa durante las épocas de la Colonia (siglos XVII y XVIII) y de la Independencia (siglo XIX en adelante) con el creciente poblamiento del territorio.

Escasas y aisladas iniciativas se registran para detener la destrucción y degradación de los bosques nativos, hasta que a principios del siglo XX (DL. 656 de 1925; DFL 265 de 1931 y DS 4363 de 1931) se publican las primeras normativas con este fin, aunque de escaso efecto, dado que su componente de fomento era mínima.

Hasta mediados del siglo XX los bosques aún eran objeto de grandes incendios, para despejar terrenos para la actividad agrícola y ganadera, o eran sobreexplotados mediante cortas selectivas que buscaban los mejores ejemplares de las especies más valiosas ("floreo").

¹⁴ MM: Millones
M: Miles

A fines de los años 60, especies milenarias como araucaria y alerce (*Fitzroya cupressoides* (Molina) I. M. Johnst.) aún eran cortadas indiscriminadamente en áreas como Lonquimay y Contao, respectivamente, hasta que ambas especies son declaradas monumento natural, haciéndolas legalmente intocables.

En 1974 se promulga un cuerpo legal de Fomento Forestal (DL 701 de 1974) que, aunque orientado principalmente a incentivar las plantaciones forestales, regula la utilización de todo tipo de bosques. Esta normativa tiene un decisivo efecto sobre el incremento de la superficie de plantaciones en el país y el desarrollo de una fuerte industria forestal derivada de ellas.

Sin embargo, no hay un efecto semejante en materia de bosques nativos al no contemplarse en la ley el fomento el manejo de estos. Solo recientemente (Ley 20.283 de 2008) se promulga un cuerpo legal expresamente enfocado al manejo y recuperación de los bosques nativos, el cual está en sus primeros años de aplicación, aunque con escasos resultados aún.

Como resultado, hoy los bosques nativos distan mucho de aquellos que encontraron los españoles hace cinco siglos, su superficie se ha reducido, prácticamente no participan en la producción forestal y se encuentran mayoritariamente degradados, fraccionados y empobrecidos en su composición de especies.

Las plantaciones forestales en tanto, han experimentado desde mediados del siglo pasado, y en especial desde los años 70 de aquél, una fuerte expansión acompañada de un equivalente desarrollo industrial basado en ellas.

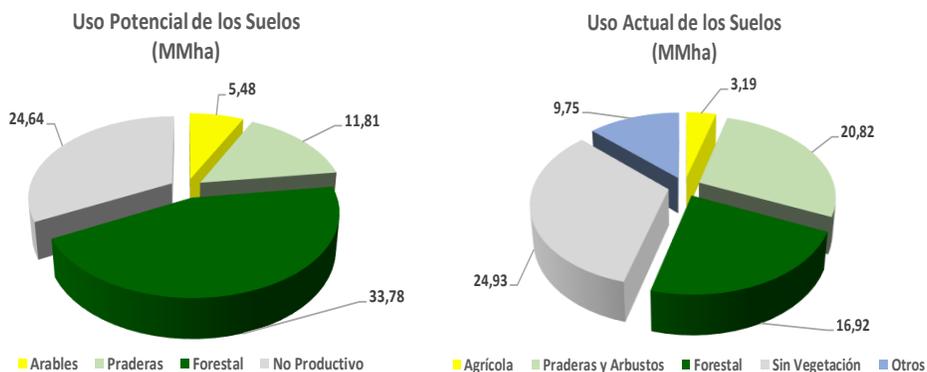
Las especies nativas en tanto prácticamente no participan en las plantaciones, dado que por su lento crecimiento tendrían períodos de rotación que duplican, triplican o más aquellos de las especies exóticas de rápido crecimiento mayoritariamente empleadas en estas, como pinos y eucaliptos, que actualmente son manejados en rotaciones de 22 a 24 años con rendimientos de unos 400 m³/ha y más, los primeros, y en rotaciones de 12 a 14 años con rendimientos de 250 a 400 m³/ha y más, los segundos, situación que no hace atractiva para inversionistas la plantación con nativas.

Actualmente, en el país no existe deforestación y tampoco sustitución de bosques nativos por plantaciones, el uso de los bosques está regulado por ley y la reforestación es obligatoria. Chile es uno de los pocos países en el mundo cuya cubierta forestal ha aumentado en las últimas décadas, como producto de las plantaciones forestales y de la recuperación natural de diferentes formaciones nativas que habían casi desaparecido debido a las malas prácticas del pasado.

En la zona central y sur del país existen extensas superficies de suelos desarbolados y erosionados, susceptibles de ser plantados, cuya superficie se estima en varios millones de hectáreas, muy especialmente en las regiones australes, en donde grandes incendios forestales ocurridos durante procesos de colonización del pasado eliminaron los bosques en extensas superficies, los cuales no se recuperaron debido a la pérdida de suelos por erosión, a las rigurosas condiciones climáticas dominantes y a las cargas ganaderas a que fueron sometidos los terrenos.

Un estudio realizado por la Corporación Nacional Forestal (Beltran, 2013), identificando suelos forestales desprovistos de vegetación arbórea, concluye que entre las regiones de O'Higgins y Aysén habrían 2,63 MMha de suelos potencialmente forestales. Si este estudio hubiese incluido también las Regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana, por el norte, y la Región de Magallanes, por el sur, esta cifra excedería con mucho los 3 MMha.

Si se comparan las cifras de superficies de uso potencial y de uso actual de los suelos en el país, es posible apreciar fácilmente la magnitud de pérdida de bosques nativos desde la Colonia hasta mediados del siglo XX y visualizar también la existencia de grandes extensiones de suelos forestales actualmente desarbolados (Figura N° 2). Las cifras permiten inferir que en la época prehispánica la superficie cubierta por bosques nativos era al menos el doble que la actual.



(Fuente: Elaboración propia en base a SAG – ODEPA, 1968 e INFOR, 2018)

Figura N° 2
USO POTENCIAL Y USO ACTUAL DE LOS SUELOS EN CHILE

Respecto de los más de 14 MMha de bosques nativos, unos 4 MMha se encuentran bajo régimen de conservación dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), en Parques Nacionales y Reservas Forestales administrados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF); unos 3 MMha son bosques de protección en pendientes fuertes y en laderas de cursos de agua o están compuestos por especies amenazadas o son el hábitat de especies amenazadas de fauna; y los 7 MMha restantes son bosque considerados comerciales.

En cuanto a la tenencia de los recursos forestales, en Chile los bosques son fundamentalmente privados, el Estado es dueño, como se indicó, de unos 4 millones de hectáreas de bosques nativos que están dentro del SNASPE, alrededor de 1 millón de hectáreas más fuera de este, principalmente en zonas alejadas o insulares de limitada accesibilidad en la zona sur, y de una muy reducida superficie de plantaciones existente en reservas forestales en distintas zonas del país.

En consecuencia, hay cerca de 9 MMha de bosques nativos en manos privadas, muy mayoritariamente pequeños y medianos propietarios, y la casi totalidad de las plantaciones. De estas últimas, unos 0,8 MMha pertenecen a pequeños y medianos propietarios y 1,5 MMha son parte del patrimonio de las grandes empresas forestales del país.

Es así como los más importantes desafíos actuales para el sector forestal son el incremento de las plantaciones, cuya superficie se estima podría duplicarse o más, y la recuperación, manejo e incorporación a la producción de 7 MMha de bosques nativos considerados comerciales, con todos los beneficios económicos, sociales y ambientales que esto involucraría.

La consolidación de las plantaciones forestales no ha representado una amenaza para los bosques nativos, por el contrario, con estas se han recuperado grandes extensiones de terrenos desprovistos de cubierta forestal y bajo severos procesos de erosión de sus suelos, y se ha creado un importante recurso renovable que abastece a una industria forestal de gran desarrollo.

Un estudio del Instituto Forestal (INFOR, 1995. no publicado), que confrontó imágenes aéreas de diferentes épocas, determinó una superficie sustituida cercana a 0,12 MMha después de 20 años de aplicación de la Ley de Fomento a la Forestación (DL. 701). Sin embargo, un muy alto porcentaje de esta superficie correspondía a suelos cuyos bosques fueron eliminados para habilitarlos para uso agrícola o ganadero y que, posteriormente, degradados y abandonados por estas actividades, fueron plantados, principalmente con pino radiata.

Hasta los años 60 del siglo pasado los bosques nativos aún eran la base de la actividad forestal en el país y el principal producto era la madera aserrada, con una producción cercana a los 0,5 MMm³/año. En el año 1966 la producción de madera aserrada procedente de las plantaciones de pino radiata supera ya a aquella proveniente de los bosques nativos y en adelante sigue un crecimiento sostenido. Hoy se producen casi 8 MMm³/año de madera aserrada de pino radiata, en tanto que la generada desde los bosques nativos alcanza solo a unos 0,1 MMm³/año (1,25%) (INFOR, 2018).

La corta total anual de madera en trozas de los bosques para fines industriales (pulpa y papel, madera aserrada, tableros y chapas, y otros productos) es en 2017 de 45,8 MMm³ y de los bosques nativos provienen 0,28 MMm³, lo que representa solo el 0,6% (INFOR, 2018). No obstante, de los bosques nativos se extraen anualmente importantes volúmenes de madera para leña, extracción que, debidamente fiscalizada y bajo adecuado manejo, no afecta la superficie de estos y mejora su calidad.

PLANTACIONES FORESTALES

Superficie de Plantaciones

El desarrollo de las plantaciones tiene sus inicios en los trabajos de los técnicos alemanes Federico Albert¹⁵ y Conrad Peters¹⁶ a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX y ya a mediados del siglo XX el desarrollo continúa con las plantaciones de la empresa Forestal Colcura, en la zona de Lota y principalmente con eucaliptos; las plantaciones de pino radiata de la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC) en la región del Bio Bio y las plantaciones del Estado con pino radiata en las regiones del O'Higgins, Maule y Bio Bio, a fines de los años 60 e inicios de los 70, en preparación de lo que después sería Celulosa Arauco y Constitución.

El Estado mantiene una fuerte actividad en materia de plantaciones, a través la Corporación de Reforestación (COREF) y su sucesora, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), hasta 1976, y posteriormente este esfuerzo se concentra en el sector privado, a través de CMPC, Celulosa Arauco y Constitución, y varias otras empresas, como MASISA (Maderas y Sintéticos SA), Forestal Millalemu, Forestal Tornagaleones, Cholguán SA y otras, la mayoría de las cuales fueron años después compradas por las dos primeras.

Todo este desarrollo es potenciado por los resultados que ya desde mediados de los años 60 entregaba el Instituto Forestal (INFOR) de sus investigaciones sobre manejo de pino radiata, introducción de especies forestales, técnicas de viverización de plantas y prácticas intensivas de establecimiento de plantaciones para distintas especies, lo que después se complementa con los programas de mejoramiento genético, sobre propiedades físicas y mecánicas de la madera de las principales especies.

En los inicios de los años 70 existían ya unas 450 Mha de plantaciones, de las cuales unas 400 Mha eran de pino radiata y unas 50 Mha eran de otras especies, principalmente eucalipto. En 1983 ya se supera el millón de hectáreas y en 2001 los dos millones de hectáreas (INFOR, 2018) (Figura N° 3).

Como se comentó, la promulgación del DL. 701 de 1974, de fomento a la forestación¹⁷,

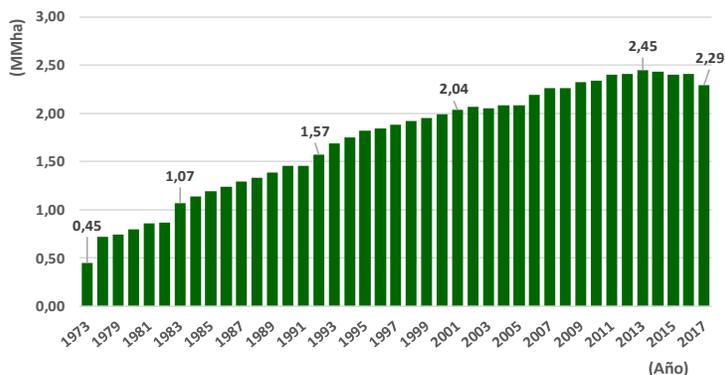
¹⁵ Contratado por el Gobierno de Chile a fines del siglo XIX, introduce y prueba numerosas especies de diferentes lugares del mundo y concentra su trabajo en la contención del extenso campo de dunas litorales de la zona de Chanco.

¹⁶ Contratado por la Cia. Carbonífera de Lota, en los primeros años del siglo XX, desarrolla un trabajo similar al de Albert, pero con el fin de producir madera adecuada para los postes utilizados en las galerías subterráneas de las minas de carbón.

¹⁷ De acuerdo al DL. 701 de 1974, forestación es la plantación en suelos forestales que con posterioridad a 1974 no han tenido una cubierta forestal con valor comercial, en tanto que reforestación es la plantación en suelos que la han tenido y es obligatoria según lo establece el mencionado DL.

es el impulso definitivo y la tasa de plantación anual se eleva a un promedio cercano a las 100 Mha por casi 40 años, hasta el año 2012 en el cual expira la vigencia del DL. 701 en lo que a bonificación a la forestación respecta.

En los años siguientes la tasa de plantación se mantiene en niveles altos debido a la reforestación, que es la reposición de plantaciones cosechadas, pero la forestación cae drásticamente, registra niveles marginales y la superficie plantada en el país empieza a reducirse, situación que se ve agravada por los grandes incendios forestales del año 2017 que provocaron la pérdida de unas 200 Mha de plantaciones.

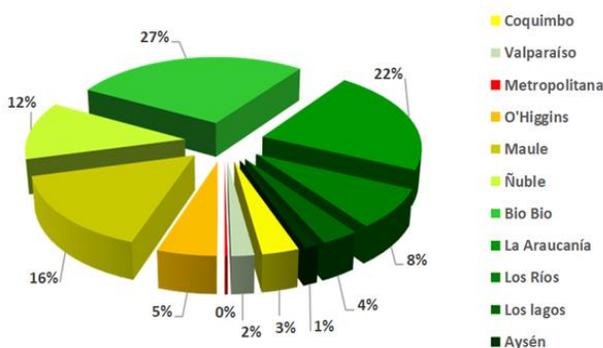


(Fuente: Elaboración propia en base a INFOR, 2018; 2018a y estadísticas de INFOR desde 1980)

Figura N° 3
EVOLUCION DE LA SUPERFICIE DE PLANTACIONES FORESTALES

Especies en las Plantaciones

Las plantaciones están concentradas principalmente en la zona centro-sur del país. Las regiones de Maule a La Araucanía reúnen el 76,6% de la superficie plantada (Figura N° 4 y Cuadro N° 1).



(Fuente. INFOR, 2018)

Figura N° 4
SUPERFICIE DE PLANTACIONES FORESTALES POR REGIÓN

La especie principal en las plantaciones forestales del país es pino radiata, la que a principios de los años 70 constituía el 90% de la superficie plantada, sin embargo, los incentivos estatales a la forestación, los resultados de las investigaciones de INFOR y el desarrollo de la industria de celulosa de fibra corta propiciaron una progresiva diversificación y hoy el 44,2% de esta corresponde a otras especies, destacando entre ellas *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden, que en conjunto alcanzan ya a 856 Mha, superficie que representa el 37,4% del total (Cuadro N° 1 y Figura N° 5).

Las tres especies mencionadas constituyen actualmente el 93,3% de la superficie plantada en el país. Se caracterizan por un rápido crecimiento y una gran plasticidad ecológica que les permite prosperar bajo una variedad de condiciones ambientales; pino radiata está presente entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos, *Eucalyptus globulus* entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos y *Eucalyptus nitens* entre las regiones de O'Higgins y Aysén.

Cuadro N° 1
ESPECIES EN LAS PLANTACIONES FORESTALES
(A diciembre 2017)

Región	Especie							Total
	<i>Atriplex spp</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Eucalyptus nitens</i>	<i>Pinus ponderosa</i>	<i>Pinus radiata</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Otras	
	(ha)							
Coquimbo	54.659	2.732			0		17.582	74.973
Valparaíso		37.956			7.046		1.244	46.247
Metropolitana		5.619			13		440	6.072
O'Higgins		49.750	14		68.263		1.730	119.756
Maule		47.256	2.615		305.956	237	4.004	360.068
Ñuble		72.105	15.917		180.093	48	4.983	273.146
Bío Bío		169.699	90.355	400	351.404	202	10.442	622.502
Araucanía		158.942	65.738	2.511	255.539	8.022	6.337	497.089
Los Ríos		20.472	60.942	3	93.624	3.816	5.063	183.920
Los Lagos		24.013	34.489	237	15.141	758	1.142	75.780
Aysén			7	18.680		3.484	7.800	29.972
Total	54.659	588.543	270.076	21.831	1.277.081	16.567	60.768	2.289.525

(Fuente: INFOR, 2018a)

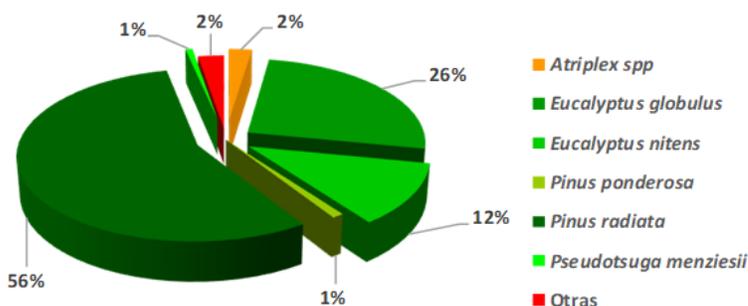


Figura N° 5
ESPECIES EN LAS PLANTACIONES FORESTALES

En la parte norte de la distribución de las plantaciones en el país se encuentran especies que se adaptan a restricciones hídricas y destacan en la región de Coquimbo aquellas del género *Atriplex*, principalmente *A. repanda* Phil. y *A. nummularia* Lindl., arbustos de valor forrajero, la primera nativa y endémica de la zona, y la segunda originaria de Australia.

Hacia el sur, desde la región de La Araucanía aparecen plantaciones de especies más resistentes a frío, como pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson) y pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), originarias de Norteamérica.

Bajo la categoría Otras (Cuadro N° 1) hay una cantidad de especies en superficies menores, pero varias de ellas son ya de cierta importancia en diferentes regiones del país.

Distintas especies del género *Eucalyptus*, como *E. camaldulensis* Dehnh. y *E. cladocalyx* F. Muell., por el norte; *E. regnans* F. muell., *E. delegatensis* R. T. Baker, *E. viminalis* Labill., *E. smithii* F. Muell. ex R. T. Baker y otras, por el sur, todas ellas de origen australiano, tienen ya una incipiente participación en las plantaciones forestales.

Especies del género *Acacia*, como *A. saligna* (Labill.) H. L. Wendl., de importancia en la región de Coquimbo donde hay unas 14 Mha plantadas, y *A. dealbata* Link, *A. melanoxylon* R. Br. y *A. mearnsii* De Wild., principalmente en la región del Bio Bio, todas ellas originarias de Australia, tienen también ya cierta participación en las plantaciones forestales.

Especies y cultivares de álamo (*Populus* spp.) son de importancia, con unas 6 Mha, en las regiones de O'Higgins y Maule y sustentan la producción de madera y chapas de Agrícola y Forestal Copihue.

Otras especies del género *Pinus*, como *P. contorta* Douglas, *P. sylvestris* L., *P. pinaster* Aiton, *P. muricata* D. Don., *P. pinea* L. y otras, aparecen también en las plantaciones forestales hacia el sur, principalmente las dos primeras que en conjunto representan un recurso de unas 7,3 Mha en la región de Aysén.

Las especies nativas, como se indicó, no tienen mayor participación en las plantaciones forestales, no obstante, existen ciertas plantaciones de algunas de ellas, como algarrobos (*Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz) y *Prosopis alba* Griseb.), quillay (*Quillaja saponaria* Molina), espino (*Acacia caven* (Molina) Molina), tara (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze), pimienta (*Schinus molle* L.) y el antes mencionado atriplex (*Atriplex repanda* Phil.) por el norte, especialmente en la región de Coquimbo.

Desde la región del Bio Bio al sur en tanto, se encuentran algunas plantaciones de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.), raulí (*Nothofagus alpina* Poepp. & Endl), coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.) y lenga (*Nothofagus pumilio* Poepp. & Endl.).

Hacia el extremo norte del país, en las regiones de Tarapacá y Antofagasta, principalmente en la primera, existen también algunas plantaciones de especies nativas, como tamarugo (*Prosopis tamarugo* Phil.) y algarrobo (*Prosopis alba* Griseb.), que no figuran en el Cuadro N° 1.

Forestación y Reforestación

Con los trabajos de Albert y Peters a principios del siglo XX se inicia un cierto desarrollo de las plantaciones forestales en el país, desarrollo que se incrementa con las plantaciones establecidas por CMPC desde mediados del siglo y por COREF y CONAF en los años 60 e inicios de los años 70.

En 1974 se promulga el DL N° 701 que da el impulso definitivo a las plantaciones forestales en el país al establecer incentivos estatales a la forestación y al manejo de los recursos creados. Este cuerpo legal inicialmente tendría una vigencia de 10 años, pero diversas modificaciones y extensiones lo mantienen en vigor hasta el año 2012 en el que expira el sistema de incentivos.

DL N° 701 de 1974. Fija régimen legal de los terrenos forestales o preferentemente aptos para la forestación y establece normas de fomento sobre la materia.

Artículo 2°. Para los efectos de este decreto ley, se estará a las siguientes definiciones:

- Terrenos forestales o de aptitud preferentemente forestal: Todos aquellos terrenos que técnicamente no sean arables, estén cubiertos o no de vegetación, excluyéndose los que sin sufrir degradación puedan ser utilizados en agricultura, fruticultura o ganadería intensiva.

- Forestación: Es la acción de poblar con especies arbóreas o arbustivas terrenos que carezcan de ella o que, estando cubiertos de vegetación, esta no sea susceptible de explotación económica, ni mejoramiento mediante manejo.

- Reforestación: La acción de repoblar con especies arbóreas o arbustivas mediante plantación, regeneración manejada o siembra, un terreno que haya sido objeto de explotación extractiva en un período inmediatamente anterior.

- Ordenación o manejo: Es la utilización racional de los recursos naturales de un terreno determinado, con el fin de obtener el máximo beneficio de ellos, asegurando al mismo tiempo la conservación, complemento y acrecentamiento de dichos recursos.

Artículo 21°. Durante el plazo de 10 años, el Estado bonificará en un 75% de su valor la forestación y su manejo que realicen a partir de la fecha del presente decreto ley, tanto las personas naturales como las personas jurídicas.

Artículo 22°. Para los efectos de hacer efectivas las bonificaciones mencionadas en el artículo 21 la Corporación Nacional Forestal fijará, en el mes de julio de cada año, el valor de los costos de plantación y manejo por hectárea para la temporada del año siguiente, según las diversas categorías de suelos, regiones, especies arbóreas o arbustivas y demás elementos que configuren dichos costos.

(Fuente: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=6294>)

Cuerpo Legal que nace el año 1974 con el objetivo de impulsar el desarrollo forestal de Chile; para este efecto se establecen incentivos a la actividad forestal:

- Bonificación para la forestación o estabilización de dunas en suelos de aptitud preferentemente forestal.

- Bonificación y beneficios tributarios para realizar actividades de administración y manejo de bosques plantados en terrenos de aptitud preferentemente forestal.

En el año 1998 se dicta la ley N° 19.561, que modifica el D.L. N° 701, a través del cual se incentiva la forestación de pequeños propietarios y de suelos frágiles y degradados y las prácticas de recuperación de suelos. Esta modificación legal incorpora dos tipos de incentivos:

- Bonificación a pequeños propietarios para realizar actividades de forestación y manejo de bosques plantados en suelos de aptitud preferentemente forestal.

- Bonificación para realizar actividades de forestación, recuperación de suelos y/o estabilización de dunas en suelos frágiles, ñadis o en proceso de desertificación, en suelos degradados, o en suelos degradados con pendientes superiores al 100%.

Con fecha 31 de diciembre de 2012 expiró la vigencia del sistema de incentivos, razón por la cual las forestaciones y otras actividades que se realicen a partir del 1° de enero de 2013 no serán susceptibles de bonificación.

Fuente: <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales/dl-701-y-sus-reglamentos/>

Entre los años 1975 y 2012 se plantan en el país 3.635.332 ha, a una tasa anual media de 95.667/ha/año, lo que explica que, descontadas las superficies cosechadas anualmente para el abastecimiento industrial, las plantaciones se incrementen en el período de unos 0,5 MMha a los 2,3 MMha actuales (Figura N° 6 y Apéndice N° 1).

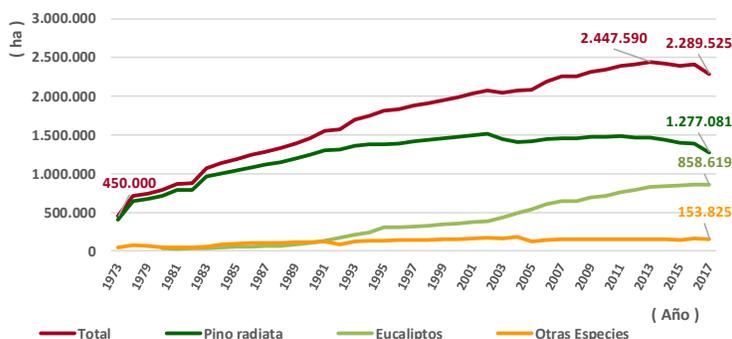


Figura N° 6
SUPERFICIE DE PLANTACIONES A DICIEMBRE DE CADA AÑO

Durante el período mencionado la tasa de plantación anual fue bastante variable siguiendo oscilaciones económicas internacionales, como la crisis de fines de los 70 e inicios de los 80, la crisis asiática de fines de los 90 y la crisis *subprime* (2006), que deprimieron los mercados de los productos forestales. Otras variaciones de importancia se produjeron por las expectativas de vigencia de la legislación de fomento (DL N° 701) cada vez que esta fue extendida.

Así, se observan *peaks* altos, primero en 1976, que fue el último año en que el Estado participó significativamente en las plantaciones (CONAF), con 108 Mha, nivel que solo se recuperó a principios de los 90 con un segundo *peak* en 1992 de 130 Mha y un tercer *peak* en 2005 de 134 Mha (Figura N° 7 y Apéndice N° 2).

En los años posteriores la crisis *subprime* impulsó la tasa de plantación a la baja y, finalmente, desde 2013, la expiración de los incentivos estatales a la forestación lleva esta tasa a 83 Mha en 2017.

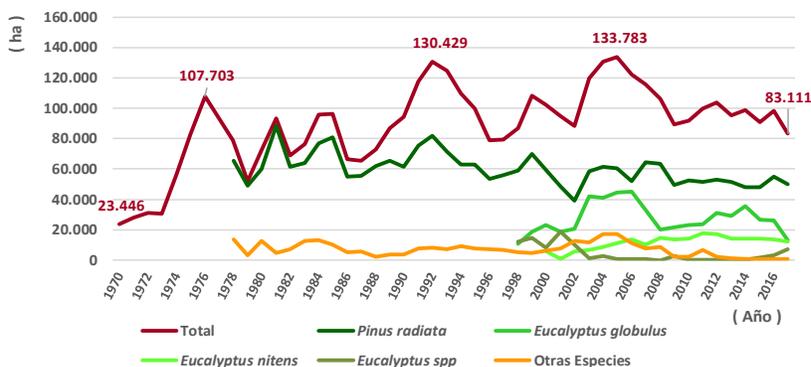


Figura N° 7
TASA DE PLANTACIÓN ANUAL POR ESPECIES

Respecto de las especies en las plantaciones, hasta mitad de los años 80 la especie ampliamente predominante es pino radiata, pero hacia fines de los 80 ya han adquirido una creciente importancia los eucaliptos y en los años 1992 y 1993 alcanzan niveles de plantación por sobre 40 Mha/año.

Desde el año 1998 INFOR dispone ya de estadísticas separadas para especies del género *Eucalyptus* y se aprecia la importancia que han adquirido *E. globulus* y *E. nitens* (Figuras N° 6 y N° 7 y Apéndice N° 2).

La tasa anual de plantación es la suma de la forestación y la reforestación, y a partir de 1995 se dispone de estadísticas que segregan estas dos componentes (Figura N° 8 y Apéndice N° 3).

El fuerte incremento de la superficie de plantaciones en el país desde 1975 se debe a que la tasa de forestación era muy alta en comparación con la de reforestación, que aproximadamente representa el consumo anual de madera para fines industriales.

Como ejemplos, en 1976 se plantan 108 Mha cuando el consumo era cercano a 10 Mha y en 1992 se plantan 130 Mha cuando el consumo era cercano a 40 Mha. Hasta mitad de los años 90 la participación porcentual de la forestación en la tasa de plantación era muy elevada, posteriormente hasta fines de la primera década de este siglo la forestación mantiene una participación cercana al 50%.

Esto indica que cada año se incorporaban nuevas plantaciones a total plantado en el país, en el caso de los ejemplos unas 100 Mha en 1976 y unas 90 Mha en 1992, y fue así como se llegó a un *peak* de 2,5 MMha plantadas en el país en el año 2013.

La tasa de reforestación en tanto es creciente dado el aumento del consumo industrial, que desde 1990 se incrementa en unos 10 MMm³ cada década, y esto permite que se mantenga una tasa de plantación alta, aunque muy por debajo de las de los años anteriores. A partir de 2010 la tasa de forestación se reduce substancialmente y desde 2013, año en que ya no hay incentivos estatales, cae a cifras despreciables comparadas con aquellas de la década anterior, solo 1.736 ha en 2017 en comparación con la media de 50 Mha para 2001 a 2010 (Figura N° 8 y Apéndice N° 3).

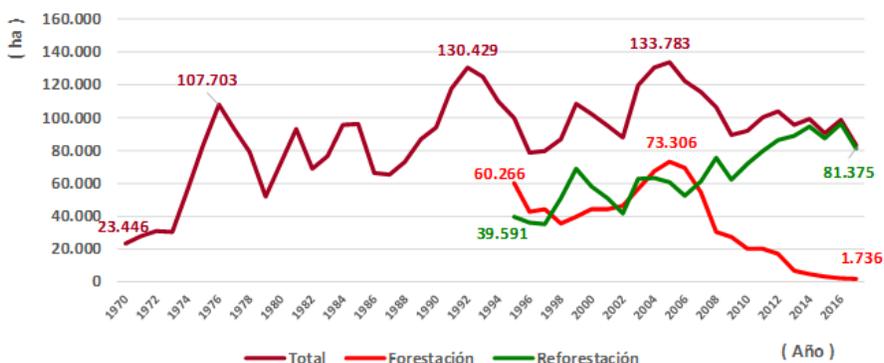


Figura N° 8
TASA DE PLANTACIÓN ANUAL FORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN

En el caso de pino radiata, en 2017 se plantan 49.925 ha de las cuales solo 621 ha corresponden a forestación, en el caso de los eucaliptos se plantan 32.316 ha de las cuales 567 son forestación y en el caso del conjunto de otras especies se plantan 869 ha y 547 ha son forestación (Figuras N° 9, N° 10 y N° 11 y Apéndice N° 3) (INFOR, 2018; 2018a).

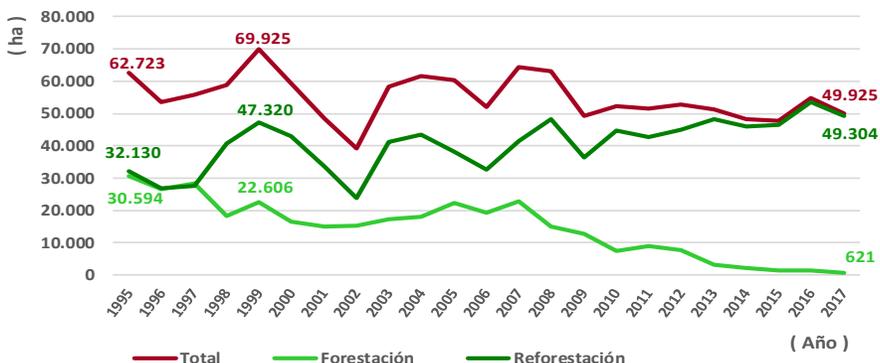


Figura N° 9
TASA DE PLANTACIÓN ANUAL PINO RADIATA FORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN

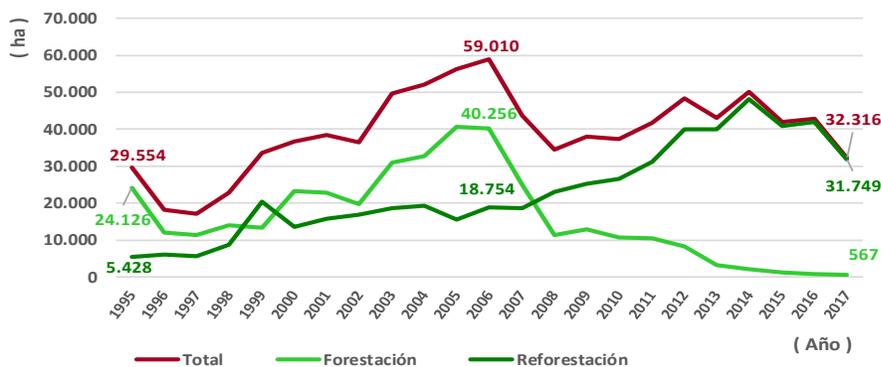


Figura N° 10
TASA DE PLANTACIÓN ANUAL EUCALIPTOS FORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN

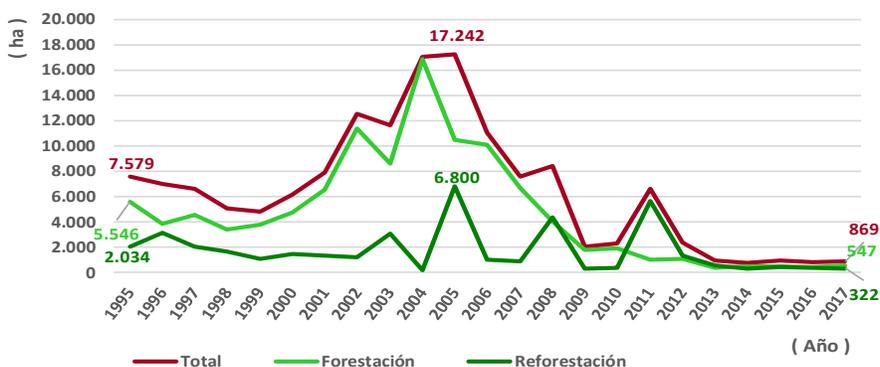


Figura N° 11
TASA DE PLANTACIÓN ANUAL OTRAS ESPECIES FORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN

DESARROLLO FORESTAL

Sobre la base de las plantaciones forestales el sector ha experimentado un muy importante desarrollo en algo más de 40 años.

Desde 1975 la superficie de plantaciones se incrementó de 0,45 a 2,29 MMha; el consumo anual de madera de la industria forestal creció de 4,0 a 45,8 MMm³, las exportaciones forestales subieron de 126 a 6.838 MMUS\$ y la tasa de plantación anual, que en 1970 era de 24 Mha, se incrementó fuertemente a partir de 1975 para alcanzar una media cercana a las 100 Mha durante el período (Figuras N° 12, N° 13, N° 14, N° 15 y Cuadro N° 2) (INFOR, 2018; 2018a).

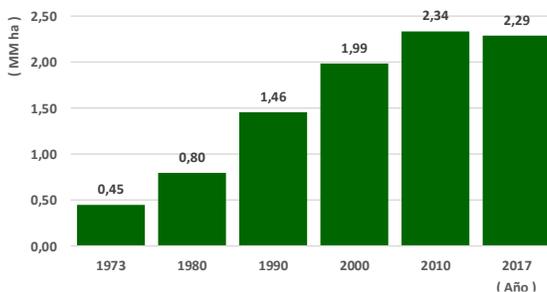


Figura N° 12
SUPERFICIE DE PLANTACIONES

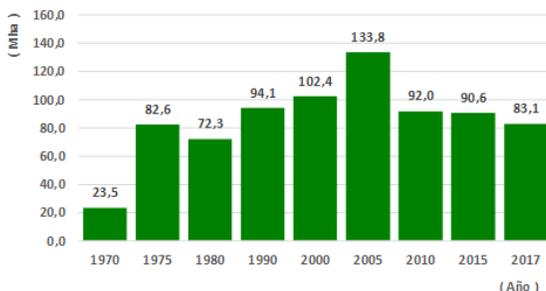


Figura N° 13
TASA DE PLANTACIÓN ANUAL

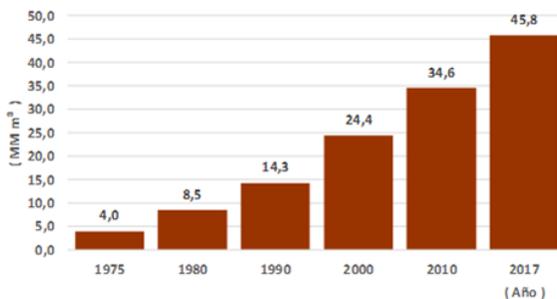


Figura N° 14
CONSUMO MADERA INDUSTRIA FORESTAL

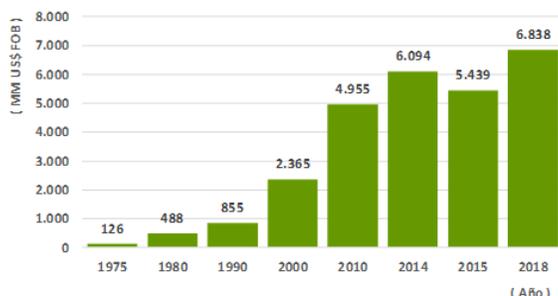


Figura N° 15
EXPORTACIONES FORESTALES

Cuadro N° 2
EVOLUCIÓN DEL DESARROLLO SECTORIAL

	1975	1980	1990	2000	2005	2010	2017	2018
Plantaciones (MMha)	0,45	0,80	1,46	1,99	2,08	2,34	2,29	*
Consumo Industrial (MMm ³)	4,0	8,5	14,3	24,4	32,7	34,6	45,8	*
Exportaciones (MMUS\$)	126	488	855	2.365	3.495	4.955	5.376	6.838
Tasa Plantación (Mha)	82,6	72,3	94,1	102,4	133,8	92,0	83,1	*

(Fuente: INFOR, 2018; 2018a y diversas estadísticas de INFOR desde 1980).

*Cifras no disponibles aún.

FUTURO DE LAS PLANTACIONES FORESTALES

Resultaría un evidente despropósito frenar un desarrollo como el resumido en cifras en el Cuadro N° 2. El recién terminado estudio de INFOR de disponibilidad de madera de plantaciones para los próximos 30 años (INFOR, 2018b) ya señala un importante déficit de disponibilidad de madera frente al consumo que se proyectaba, el cual se debe al decrecimiento de la tasa de plantación registrado desde el año 2006 y en especial desde 2012, y a la pérdida de 200 Mha de plantaciones de distintas edades y especies durante los grandes incendios forestales del año 2017.

De mantenerse la situación actual, en que la tasa de plantación anual no se incrementa y corresponde solo a la reforestación, que es la reposición de las superficies cosechadas, y en que la forestación prácticamente desaparece, la superficie total plantada en el país quedará estancada por debajo de los 2,5 MMha. En los años 2018 y 2019 muy probablemente habrá cierto repunte, dado que las grandes empresas están haciendo esfuerzos adicionales de reforestación para recuperar las superficies quemadas en 2017 (105 Mha), aunque no se dará igual situación con los pequeños y medianos propietarios, que quedaron descapitalizados, y sin incentivos estatales no podrán recuperar las superficies perdidas (99 Mha) (Raga *et al.*, 2018).

La demanda por fibra y madera en el mundo puede pasar por variaciones dadas por situaciones económicas coyunturales, como la crisis asiática, la *subprime* u otras, pero tiene una tendencia siempre creciente¹⁸, de modo que si la superficie de plantaciones se estabiliza en las cifras actuales y no se incrementa el sector forestal chileno empezará a perder oportunidades de negocios y crecimiento, y puede ver reducida su competitividad en los mercados internacionales.

¹⁸ FAO (2010) estima que el consumo de trozas industriales en el mundo crecerá para el año 2030 en un 60% respecto de 2010, en tanto que WWF (2012) estima que el volumen de demanda se triplicará para el año 2050.

En el país el 46% de los suelos están bajo diversos grados de erosión, desde severa a muy severa, cifra que sube a 66% en Bio Bio; a 76% en la Araucanía y a 66% en Los Lagos (CIREN, 1979). Las plantaciones forestales ya han recuperado y protegen 2,3 MMha de suelos, además generan oxígeno y capturan y retienen grandes cantidades de carbono, elemento que permanece retenido posteriormente en la madera en uso. Sin embargo, aún existen en el país más de 3 MMha de suelos forestales desarbolados entre las regiones de Coquimbo y Magallanes, potencialmente forestables, que se encuentran bajo procesos de degradación y muy mayoritariamente pertenecen a pequeños y medianos propietarios.

Desde los inicios de esta década diversas iniciativas han planteado la extensión del fomento a las plantaciones forestales, más aún, se ha propuesto la elaboración y promulgación de una nueva ley de fomento forestal, sin embargo, estas iniciativas no han prosperado debido a diversas objeciones carentes de toda lógica y base técnica.

Existe ya un cúmulo de posverdades originadas en el ambientalismo extremo y ciertos actores del ámbito político, evidentemente acogidas y magnificadas por la mala prensa. Se sostiene que “con el fomento a la forestación las únicas beneficiadas son las grandes empresas forestales”, que las plantaciones “deterioran los suelos”, que “se queman y son un peligro en materia de incendios forestales”, que “consumen mucha agua”, que “sustituyen a los bosques nativos” y han aparecido también algunas otras aseveraciones tan desafortunadas como que “las especies empleadas en las plantaciones son pirogénicas”(?) o, peor aún, que “los pinos entran en combustión en forma espontánea”.

Respecto de estas posverdades propagadas por los detractores de las plantaciones forestales, existe abundante información estadística y técnica que indica lo contrario frente a cada una de ellas y que debiera facilitar comprender que las plantaciones representan un recurso forestal de indiscutible valor económico, ambiental y social, que no representan una amenaza para los bosques nativos y que, por el contrario, se ha transformado en su mejor protección dado que prácticamente la totalidad del consumo de madera para fines industriales proviene de este.

Beneficiarios de la Legislación de Fomento a la Forestación

En cuanto a quiénes se han beneficiado con los incentivos estatales a la forestación que permanecieron vigentes por casi 40 años, es conveniente en primer lugar no olvidar que algo más de un tercio de la actual superficie de plantaciones en el país es propiedad de pequeños y medianos propietarios, más de 800 Mha.

Efectivamente las grandes empresas se beneficiaron en los primeros años, sin embargo, se cumplían así los objetivos de esta política de fomento de conformar una masa crítica de plantaciones que condujera a un importante desarrollo forestal y que protegiera e incorporara a la economía del país grandes extensiones de suelos que permanecían improductivos.

En 20 años las grandes empresas y el Estado inicialmente, con la forestación y la reforestación generaron un recurso de plantaciones capaz sustentar el acelerado desarrollo de las industrias de celulosa, madera aserrada y tableros y chapas, y otros productos. Posteriormente las grandes empresas no volvieron a acogerse a los incentivos estatales a la forestación.

En casi 40 años la inversión del Estado en el fomento a la forestación llegó a MMUS\$ 717 y esta inversión estatal alcanzo en un 30% a pequeños propietarios (<12 ha de riego básico de acuerdo a INDAP); en un 49% a otros propietarios, incluidos medianos propietarios, otros pequeños propietarios y medianas empresas, y en un 21% a las dos principales empresas forestales del país, CMPC y Arauco (Figura N° 16) (CORMA, 2017).

Es preciso tener presente también que esta inversión del Estado es recuperada a través de los diferentes impuestos que se generan a lo largo de la rotación de las plantaciones, su cosecha, su proceso y su comercialización (Raga *et al.*, 2018)

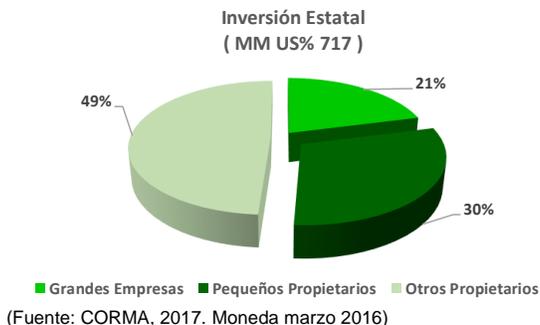


Figura N° 16
BENEFICIARIOS DEL FOMENTO A LA FORESTACIÓN 1976 - 2013

Efectos sobre los Suelos

Las plantaciones forestales han recuperado extensas áreas en las que los suelos estaban destruidos y bajo severos procesos erosivos, en muchos casos muy severos con presencia de frecuentes cárcavas profundas, como herencia de las inapropiadas prácticas agropecuarias y de los grandes incendios del pasado. Estos suelos hoy se encuentran estabilizados, con sus regímenes hídricos regulados y bajo el permanente aporte de materia orgánica que entregan las plantaciones.

Las plantaciones en general prosperan bien en los suelos forestales del país aun cuando estos suelen presentar deficiencias de nutrientes, principalmente de macroelementos, como nitrógeno en la zona central y de fósforo en suelos volcánicos hacia el sur, o en casos más puntuales de microelementos, como boro y otros, deficiencias para las cuales la silvicultura tiene sus respuestas a través de fertilizaciones correctivas locales. Esto sumado al permanente aporte de materia orgánica de las plantaciones permite que se mantenga la productividad de los sitios, lo que se refleja en que no decaen los rendimientos en sucesivas rotaciones. De hecho, hay ya suelos con terceras y hasta cuartas rotaciones.

A menudo se señala que las plantaciones acidifican los suelos. Al respecto cabe indicar que la acidez en suelos bajo plantaciones y bajo cultivos agrícolas es similar. El pH de suelos forestales varía entre 5,6 y 6,2, de acuerdo a la profundidad (Unda y Ravera, 1994), en tanto que un estudio de INIA (Sierra, 1982) en distintos tipos de suelos bajo uso agrícola en la región de Los Lagos muestra la mayor frecuencia con pH entre 5,1 y 5,5 y una alta proporción con pH entre 5,6 y 6,0.

En el estudio de INFOR (Unda y Ravera, 1994) se señala que los suelos forestales en Chile son ácidos y que, salvo excepciones, la acidez de los suelos bajo plantaciones de pino radiata no aparece diferente a la que se observa en suelos bajo distintos tipos de bosque nativo. Comentan también que los tipos forestales nativos con conífera, como alerce o cipreses, muestran suelos con reacción igual o más baja que aquellos bajo pino radiata. Respecto de suelos bajo plantaciones de eucaliptos, indican que la descomposición de las hojas de eucaliptos no produce acidificación de los suelos y que incluso puede aumentar su pH hasta valores cercanos a neutro.

El pH de los suelos forestales, salvo en valores extremos, no afecta el crecimiento de los bosques y ciertos niveles de acidez favorecen el crecimiento de los árboles. Es importante señalar también que la silvicultura tiene medios, en caso necesario, de modificar la acidez mediante una enmienda de bajo costo consistente en la adición de cal (óxido de calcio).

Resulta de toda lógica pensar que no existen especies vegetales, árboles o arbustos, exóticas o nativas, que destruyan o dañen el suelo en el cual se desarrollan, dado que en caso

contrario se habrían extinguido o estarían en permanente migración natural. Contrariamente, protegen y mejoran el suelo en sus propiedades físicas y lo mejoran también en sus propiedades químicas con la permanente adición de materia orgánica, más aún, algunas especies leguminosas, como las acacias, son claras mejoradoras de suelos por su capacidad de fijar en ellos nitrógeno atmosférico.

Finalmente, es necesario mencionar que la ausencia de vegetación menor o sotobosque bajo las plantaciones no se debe a problemas de suelos, sino a falta de luz bajo el dosel del bosque, situación que se revierte con los raleos o cuando se quita la cubierta arbórea. Esto queda claramente demostrado en la práctica de sistemas silvopastorales, en los cuales raleos intensos permiten el resurgimiento de la pradera para el manejo de ganado en conjunto con el bosque.

Incendios Forestales

Dadas las condiciones climáticas favorables para la ocurrencia y propagación de incendios forestales toda vegetación será susceptible a los daños provocados por estos y bastará el descuido de irresponsables o la acción de delincuentes para que incendios accidentales o provocados se propaguen rápidamente.

La presencia de combustible seco tras prolongados períodos de sequía, una baja humedad relativa del aire, una alta temperatura ambiente y la ocurrencia de viento son factores que harán casi estériles los esfuerzos para controlar incendios declarados, sean estos de pastizales, arbustos, bosques nativos o plantaciones. Plantaciones de cierta edad, manejadas con podas y raleos, y con escaso material combustible en la superficie del suelo podrán ser menos susceptibles y un incendio puede pasar bajo estas sin mayores daños a los árboles.

Las claves para enfrentar este serio problema que, con mayor o menor intensidad, se presenta cada verano se encuentran en la prevención. En esto la silvicultura dispone de herramientas que necesariamente debe emplear, como la disposición y mantención de fajas cortafuegos perimetrales e interiores, la extracción de todo residuo de faenas de podas y raleos del interior del bosque, y la adecuada mantención de caminos de acceso. A esos se debe agregar una permanente vigilancia de los predios plantados, sea esto con recursos aéreos o con torres de vigilancia con personal adiestrado equipado con teléfonos, equipos de radio o ambos.

Anualmente el Estado y las empresas destinan importantes recursos y medios para la temporada de incendios forestales, que frecuentemente abarca no solo el verano sino también fines de primavera e inicios de otoño. Como resultado, múltiples medios aéreos y terrestres, de CONAF y las empresas, se despliegan en la zona central y sur del país, y una alerta temprana siempre será clave para permitir el oportuno control de un incendio.

La situación de incendios forestales se ve extremadamente agravada en ocasiones por la presencia de zonas pobladas aledañas a los bosques, sin embargo esto se debe a falta de prevención y fiscalización; no existen las indispensables fajas cortafuegos o no han sido debidamente mantenidas; ocupaciones ilegales se han establecido a orillas de los bosques; grandes cantidades de basura se han acumulado en quebradas o sectores aledaños a estas ocupaciones y a los bosques, inutilizando así las fajas cortafuegos o áreas de aislación dejadas entre los bosques y zonas pobladas; y quemadas agrícolas autorizadas o no autorizadas, que son las causantes de gran parte de los incendios anualmente y que incomprensiblemente aún se autorizan.

Las mencionadas son las causas más frecuentes de que los incendios a menudo se tornen incontrolables, pese a los esfuerzos del sector público y el sector privado, y en general no tienen relación con que el incendio esté afectando pastizales, plantaciones o bosques nativos.

Quienes afirman que las plantaciones son un peligro en materia de incendios forestales con toda seguridad jamás han presenciado un incendio desbocado en bosques nativos. Las grandes pérdidas de bosques nativos del pasado fueron mayoritariamente incendios provocados para despejar terrenos para agricultura o ganadería que se hacían incontrolables y quemaban superficies muchas veces mayores que las que se quería despejar. Solo un ejemplo reciente, el gran incendio de la Reserva Forestal China Muerta, aledaña al Parque Nacional Conguillío,

respecto del cual cabría preguntarse si las araucarias son “pirogénicas” o “arden en forma espontánea”.

Según ha informado CONAF recientemente, más del 30% de los incendios forestales están siendo provocados intencionalmente, con múltiples focos simultáneos, esto se debe a odio a las empresas, odio a las plantaciones, odio al Gobierno, ignorancia, maldad, alguna suerte de locura anarquista, todas las anteriores? Obviamente la penalidad a estos delincuentes debe ser elevada a niveles que sean claramente ejemplificadores.

Afirmaciones tan descabelladas como que las especies de las plantaciones son pirogénicas o que los pinos arden en forma espontánea evidentemente no merecen comentario alguno.

Consumo de Agua

Toda vegetación a partir de la luz solar, el anhídrido carbónico del aire y el agua y nutrientes disponibles en el suelo genera los tejidos para su crecimiento, sin embargo, los bosques, sean estos nativos o plantados, lo hacen empleando solo el agua provista por las precipitaciones, no requieren ni reciben riego.

Las múltiples especies que conforman los bosques nativos tienen una larga adaptación a las condiciones climáticas en donde prosperan y en las plantaciones forestales se emplean especies apropiadas para dichas condiciones y largamente probadas antes de su uso masivo. Este es el caso de pino radiata, eucalipto y muchas otras especies de iguales o distintos géneros que paulatinamente se están incorporando a las plantaciones a lo largo del país.

En el caso de la producción agrícola y pecuaria la situación es distinta, además de las precipitaciones requieren de riego permanente que se obtiene de captaciones de agua desde ríos y otras fuentes de otros lugares o en algunos casos de extracción de agua desde napas profundas.

Es así como la huella de agua de la gran mayoría de los productos agrícolas, como cereales, frutos, hortalizas y otros (Cuadro N° 3), y de productos pecuarios, como la leche y la carne, es mucho mayor que la de la madera.

Cuadro N° 3
CONSUMO AGUA POR UNIDAD DE BIOMASA TOTAL

Cultivo	(L/kg)
Algodón - Café - Plátano	3.200
Girasol	2.400
Legumbre	2.000
Arroz	2.000
Poroto	1.714
Soja	1.430
Papa	1.000
Sorgo	1.000
Eucalipto	785
Pino radiata	480 - 992

(Fuente: Dvorak, 2012. Cit. por Prado, 2015)

El consumo de agua de los bosques depende de una cantidad de variables. En términos generales, los bosques reciben la lluvia sobre sus copas, estas la interceptan, lo cual depende de la densidad del bosque, de la especie (tipo de hoja) y de la intensidad y duración de la lluvia. Desde el follaje se produce evaporación, la cual depende a su vez de la temperatura, los vientos y el tipo

de hoja, y es devuelta a la atmósfera. Se produce también escurrimiento por ramas y troncos, el cual puede llegar al suelo. Hay evaporación desde el suelo y desde la vegetación menor (sotobosque en bosques nativos). En el suelo se produce escurrimiento superficial e infiltración, procesos que dependen del tipo de suelos, de su estado de humedad y de la pendiente del terreno. Dependiendo de la densidad del bosque la precipitación podrá llegar también directo al suelo o goteando desde el follaje y ramas.

En consecuencia, los bosques absorberán a través de sus raíces una parte de la precipitación recibida, que a su vez es parte de aquella que infiltra en el suelo y hasta cierta profundidad, dado que otra parte infiltra hacia niveles más profundos de este. Finalmente, una parte del agua absorbida por los árboles y empleada en sus procesos internos es devuelta a la atmósfera a través de la transpiración.

Existe bastante información, especialmente del exterior, de países como Australia, Sudáfrica, EEUU y otros, de investigaciones sobre el consumo de agua de los bosques nativos y plantados, sin embargo, los resultados son muy dispares, debido a distintas especies, edades, manejos, condiciones climáticas y otros factores. No obstante, se puede deducir que el consumo de agua de diferentes plantaciones forestales se ubicaría en un rango de 200 a 400 m³ de agua por cada m³ de madera producido.

La información proporcionada en el Cuadro N° 3 sugiere consumos del orden de 550 m³ y 368 m³ de agua por m³ de madera producido para eucalipto y pino, respectivamente (suponiendo 700 y 500 kg/m³, respectivamente). Estos valores son superiores a los dados por CORMA (2017) y a los que se pueden desprender de Jofré *et al.* (2013), que estarían en el orden de 300 m³ de agua por m³ de madera producida.

Es necesario tener presente que las plantaciones forestales en el país se ubican muy mayoritariamente en regiones con precipitaciones medias anuales de 1.000 mm y más, y que se trata de regiones con superávit en sus balances hídricos (O'Higgins al sur) en las que las grandes cuencas vierten sus aguas en el Océano Pacífico, el 87% de las aguas llegan al océano (CORMA, 2017. citando a DGA, 2007).

El establecimiento de plantaciones forestales en el país se inició en la primera mitad del siglo pasado y se hicieron más masivas hace ya unos 50 años. En el país se está sufriendo un prolongado período de sequía en relación con los niveles considerados normales de precipitaciones anuales, especialmente en la zona central del país, aunque estos déficits relativos se han extendido también a regiones del sur. El fenómeno del cambio climático se está haciendo notar; como ejemplo desde 1960 las precipitaciones anuales de La Serena se han reducido de más de 100 mm a 80 mm y menos, y en el caso de Concepción la reducción ha sido de más de 1.300 mm a 1.100 mm y menos.

Estas reducciones de las precipitaciones están generando en la ciudadanía, y en especial en las zonas rurales, la preocupación por el uso y disponibilidad de agua, y se piensa que las plantaciones forestales, que están presentes hace ya un siglo, son la que consumen el agua y no se comprende que la menor disponibilidad se debe a razones climáticas.

La bibliografía en general señala que las plantaciones forestales no tienen un efecto en materia de agua en grandes cuencas, pero efectivamente pueden tenerlo en microcuencas, aun cuando esta situación se está produciendo fundamentalmente por las menores precipitaciones que se están experimentando. Es posible que en pequeñas cuencas críticas en materia de agua para cultivos o sectores poblados aguas abajo no se deban establecer plantaciones y con esto pueda aumentar el rendimiento hídrico de la cuenca. En estos casos críticos tampoco podría haber bosque nativo. Sin embargo, al quedar los suelos desnudos este mayor rendimiento puede ocurrir, pero en forma de lodo y material de arrastre, con el consecuente deterioro de los suelos y los inconvenientes de una mala calidad de agua y de una acumulación de materiales de arrastre en la parte baja de la cuenca, incluso con grandes escurrimientos que pueden resultar catastróficos en esta última.

La silvicultura tiene herramientas para reducir el consumo de agua de las plantaciones y

poder así tener una cubierta forestal que evite el deterioro de los suelos y el arrastre de material por las lluvias. Es posible reducir la densidad de las plantaciones con menores espaciamientos iniciales entre plantas, raleos y podas posteriores producirán un efecto semejante, se puede también regular la proporción de la superficie de la cuenca cubierta por plantaciones, es posible igualmente disponer la plantación de modo tal que se vea favorecida la infiltración de las lluvias, y también se puede combinar rodales de plantación de distintas edades.

No obstante, de acuerdo con DGA (2007, cit. por CORMA, 2017) las regiones del país donde las plantaciones prosperan bien solo con las lluvias son zonas en las que existe superávit hídrico, las cuencas están entregando agua al océano incluso en el período seco. En consecuencia, la gran falencia está en la distribución de aguas y no en la falta de ella. Obras civiles que mejoren la conducción de aguas para riego y consumo humano tendrán que ser la solución en el futuro próximo.

Sustitución de Bosques Nativos por Plantaciones

Resulta evidente que en la época prehispánica la superficie de bosques nativos en el territorio que hoy es Chile era al menos el doble que la actual y que los 2,3 MMha que actualmente ocupan las plantaciones forestales estaban originalmente cubiertas por bosques nativos. Sin embargo, habilitaciones de terrenos para uso agrícola y ganadero y grandes incendios forestales, desde el siglo XVI hasta mediados del siglo XX, destruyeron millones de hectáreas de bosques nativos a lo largo del país.

Las habilitaciones de terreno para agricultura y ganadería fueron necesarias, indudablemente se requería desarrollar estas actividades en la medida que la población del país aumentaba y hoy son sectores de gran importancia en la economía. Lo que obviamente no se justifica es la escala en que este proceso ocurrió. Normalmente se recurría al fuego para eliminar los bosques y los incendios se hacían incontrolables destruyendo bosques en superficies mucho más allá que las requeridas y frecuentemente en suelos forestales sin utilidad alguna para agricultura o ganadería.

Grandes extensiones de terrenos con suelos no aptos para la agricultura fueron cultivadas y los resultados años después se tradujeron en suelos destruidos, con sus horizontes superiores perdidos debido a la erosión, que aportaron grandes cantidades de material de arrastre que embancaron los ríos, haciéndolos innavegables, y constituyeron grandes dunas litorales a lo largo de la costa de todo el país.

El posterior desarrollo de las plantaciones, principalmente desde mediados del siglo XX, ocupó suelos forestales y en algunos casos suelos agrícolas o ganaderos agotados para estos usos, recuperándolos, haciéndolos productivos y protegiéndolos de la erosión.

La sustitución, entendida como la eliminación de bosques nativos para establecer plantaciones forestales, desde los años 70 del siglo pasado, cuando se inició la fuerte expansión de las plantaciones, es completamente marginal en cifras, distintas fuentes la sitúan por debajo de 150 Mha y un muy alto porcentaje de esta superficie corresponde a suelos que en algún momento fueron habilitados para agricultura o ganadería y después, abandonados por estas actividades y muy deteriorados, fueron plantados. Hoy la sustitución no existe, solo reducidas y localizadas superficies de bosque esclerófilo están siendo afectadas por el creciente cultivo de paltos y otros frutales, que no son plantaciones forestales.

Necesidad de una Nueva Ley de Fomento a la Forestación

La política de fomento a la forestación fue decisiva para que en casi 40 años la superficie de plantaciones forestales en el país se casi sextuplicara, para llegar a los 2,3 MMha de la actualidad. Este fuerte incremento del recurso se ha traducido en recuperación y protección de suelos improductivos, en generación de empleo, en protección de cuencas y aguas, en generación de oxígeno, en captura y retención de grandes cantidades de carbono atmosférico, y ha transformado al país en un importante productor forestal en madera aserrada, celulosa, tableros y otros productos.

Sin embargo, debido a decrecimiento de las tasas anuales de plantación desde hace ya unos 10 años, que se han limitado prácticamente solo a la reforestación de las superficies cosechadas anualmente, la superficie de plantaciones ha dejado de crecer como lo hizo por casi 40 años.

Las disponibilidades de madera a futuro se reducen, situación agravada por los grandes incendios forestales del año 2017, y el sector forestal ve detenido el crecimiento que los caracterizaba desde los años 70. En el año 2017 fueron consumidos 45 MMm³ de madera con fines industriales y las proyecciones de disponibilidad de madera indican que pasarán más de 20 años para que el sector recupere ese nivel de consumo y por ende de producción.

La industria de la celulosa, que representa una demanda rígida, dadas sus grandes inversiones en plantas productoras, deberá hacer grandes esfuerzos para obtener un abastecimiento lo más cercano posible a su capacidad instalada y deberá recurrir al empleo de madera aserrable y de astillas que hoy se exportan, con el consecuente aumento de su costo de producción. La industria de tableros y chapas también enfrentará problemas de abastecimiento, aunque en escala menor.

La industria del aserrío reducirá sus niveles de producción debido a la menor disponibilidad de materia prima y en parte a la competencia por esta con la industria de la celulosa. La pyme forestal podría verse beneficiada por mejores precios por su madera y la pyme maderera, por disponibilidad y precios de la materia prima, tendrá serios problemas de abastecimiento y muy probablemente parte de ella se verá obligada a cerrar.

Dado que las plantaciones de pino radiata requieren de al menos 20 años para entrar en producción y las de eucaliptos de al menos 12 años, esta situación de déficit de madera no es reversible en el corto plazo, no tiene una solución inmediata. Si en 20 años se logra recuperar los niveles productivos y empezar a crecer nuevamente, la superficie plantada en el país debe continuar incrementándose desde ahora, como lo había hecho desde inicios de los años 70. Si así ocurriese, en unos 12 a 15 años se tendría madera adicional por cosechas de eucaliptos y por raleos de pinos radiata.

Gran parte de los suelos en Chile se encuentran degradados por la erosión y existen grandes extensiones de suelos forestales descubiertos que continúan bajo procesos de deterioro, que son potencialmente forestables y pertenecen muy mayoritariamente a pequeños y medianos propietarios.

En consecuencia, los principales beneficiarios del fomento a la forestación son los pequeños y medianos propietarios, segmento dominante en la propiedad de suelos forestales disponibles para la forestación. Una nueva legislación de fomento tiene que poner su foco en ellos y promover además su asociatividad para los efectos de recibir asistencia técnica y transferencia tecnológica, además de facilitarles su abastecimiento de insumos y servicios, esto con el fin de cerrar brechas tecnológicas que hacen sus plantaciones menos productivas por baja calidad de plantas, escaso acceso a material genético mejorado, fallencias en el manejo de las plantaciones o falta de este, limitaciones en la comercialización de sus productos y otros factores.

Este segmento de propietarios representa el estrato no integrado del sector forestal, en el cual el negocio es solo la venta de su madera, pero disponen ya de algo más de un tercio de las plantaciones forestales (800 Mha), fundamentalmente gracias a la legislación de fomento a la forestación. Dependen en gran medida de terceros; grandes, medianas y pequeñas empresas, para la comercialización de sus productos.

La legislación de fomento facilita que sus plantaciones sean rentables y la asociatividad debiera ser el camino para mejorar sus posibilidades, para exportar a los grandes mercados del exterior de fibra y madera en forma directa, vender mejor sus productos en el mercado interno o incluso abordar proyectos para incorporar mayor valor agregado a su madera.

REFERENCIAS

Beltrán, Karen, 2013. Superficie Potencial Forestable de las Regiones de O'Higgins a Aysén. Corporación Nacional Forestal. Gerencia Forestal. P. 275.

CIREN, 1979. Fragilidad de los Ecosistemas Naturales. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN – CORFO)

CORMA, 2017. Plantaciones Forestales y Bosques Naturales, Preguntas Frecuentes. Corporación Chilena de la Madera. P. 24

FAO, 2010. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA), Informe principal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

INFOR, 2018. Anuario Forestal 2018. Boletín Estadístico N° 163. INSTITUTO Forestal, Chile. P. 177

INFOR, 2018a. Los Recursos Forestales de Chile 2017. En línea: [www.https://ifn.infor.cl/](https://ifn.infor.cl/)

INFOR, 2018b. Disponibilidad de Madera de Plantaciones de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* 2017 - 2047. Instituto Forestal, Chile. Informe Técnico N° 220. P. 138.

Jofré, Paula; Büchner, Carlos; Ipinza, Roberto; Bahamóndez, Carlos; Barros, Santiago; García, Pablo y Cabrera, Jorge, 2013. Estado del Arte, las Plantaciones Forestales y el Agua. Instituto Forestal, Chile. P. 118.

Prado, J. A., 2015. Plantaciones Forestales. Más Allá de los Árboles. Editado por Colegio de Ingenieros Forestales AG. Chile. P. 166.

Raga, Fernando; Valdebenito, Gerardo y Barros, Santiago, 2018. Reforestación de Plantaciones Forestales Quemadas Análisis de la Viabilidad de Aplicación de Incentivos Estatales y de la Rentabilidad para el Estado y Particulares. En: Barros, Santiago (Ed.) 2018. Ciencia e Investigación Forestal. Instituto Forestal, Chile. Vol. 24 N° 2. Agosto 2018.

SAG – ODEPA, 1968. Potencialidad de los Suelos en Chile. Unidades de Uso Agrícola de los Suelos en Chile entre las Provincias de Aconcagua y Chiloé. Plan de Desarrollo Agropecuario 1965 – 1990. Servicio Agrícola y Ganadero y Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Chile.

Sierra, Carlos, 1982. La Acidez y Alcalinidad de los Suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile. Boletín Técnico N° 49 (50Re). P. 12.

Unda, Alfredo y Ravera, Flavia, 1994. Efectos Provocados en el Sitio por las Plantaciones de Pino Radiata y Eucalipto. Informe Final. Instituto Forestal, Chile. P. 162.

WWF, 2012. Living Forest Report: Chapter 4 Forest and Wood Products. World Wildlife Fund.

Apéndice N° 1
SUPERFICIE DE PLANTACIONES FORESTALES
ACUMILADA A DICIEMBRE DE CADA AÑO

Año	Total	Pino radiata	Eucaliptos	Otras
	(ha)			
1973	450.000	400.000		50.000
1978	711.912	640.721		71.191
1979	739.632	671.292		68.340
1980	794.510	716.939	33.200	44.371
1981	864.361	788.211	29.500	46.650
1982	877.186	786.136	40.800	50.250
1983	1.067.688	967.719	40.419	59.550
1984	1.135.072	1.002.252	45.963	86.857
1985	1.188.635	1.040.250	51.173	97.212
1986	1.242.304	1.080.491	59.435	102.378
1987	1.285.530	1.118.088	63.847	103.595
1988	1.326.753	1.147.758	70.247	108.748
1989	1.386.444	1.192.287	81.773	112.384
1990	1.460.530	1.243.293	101.700	115.537
1991	1.555.255	1.305.325	130.915	119.015
1992	1.572.144	1.312.812	171.520	87.812
1993	1.694.104	1.360.918	206.711	126.475
1994	1.747.523	1.375.886	238.312	133.325
1995	1.818.185	1.379.746	302.248	136.191
1996	1.835.985	1.387.041	308.762	140.182
1997	1.881.925	1.420.015	317.211	144.699
1998	1.914.846	1.437.520	330.952	146.374
1999	1.952.288	1.458.320	342.415	151.553
2000	1.989.101	1.474.773	358.616	155.712
2001	2.037.403	1.497.340	376.786	163.277
2002	2.073.661	1.513.004	387.975	172.682
2003	2.046.430	1.446.414	436.706	163.310
2004	2.078.649	1.408.430	489.602	180.617
2005	2.082.502	1.419.300	539.683	123.519
2006	2.194.495	1.446.161	603.592	144.742
2007	2.255.780	1.461.212	642.525	152.042
2008	2.256.242	1.457.224	648.262	150.756
2009	2.320.346	1.478.369	690.421	151.556
2010	2.341.850	1.471.806	716.931	153.114
2011	2.394.916	1.480.803	759.374	154.739
2012	2.414.389	1.470.666	788.860	154.863
2013	2.447.590	1.469.718	824.407	153.465
2014	2.426.722	1.434.086	841.480	151.156
2015	2.396.562	1.400.259	848.869	147.434
2016	2.414.208	1.391.039	860.317	162.852
2017	2.289.525	1.277.081	858.619	153.825

(Fuente: Elaboración propia en base a INFOR, 2018 y otras estadísticas de INFOR desde 1980)

Apéndice N° 2
TASA DE PLANTACIÓN ANUAL POR ESPECIE

Año	Total	Pino radiata	Eucaliptos				Otras
			<i>E. globulus</i>	<i>E. nitens</i>	<i>E. spp</i>	Total	
(ha)							
1970	23.446						
1971	28.046						
1972	31.042						
1973	30.313						
1974	56.223						
1975	82.594						
1976	107.703						
1977	93.212						
1978	78.987	65.413					13.574
1979	52.018	48.869					3.149
1980	72.344	60.086					12.648
1981	93.214	88.529					4.685
1982	68.633	61.637					6.996
1983	76.331	63.884					12.447
1984	95.602	76.982				5.299	13.321
1985	96.278	80.630				5.345	10.303
1986	66.195	55.058				5.996	5.141
1987	65.441	55.386				4.412	5.643
1988	72.944	61.841				8.762	2.341
1989	86.705	65.587				17.595	3.523
1990	94.130	61.310				29.085	3.735
1991	117.442	75.416				34.418	7.608
1992	130.429	81.868				40.605	7.956
1993	124.704	71.411				45.994	7.300
1994	109.885	63.061				37.791	9.033
1995	99.857	62.723				29.555	7.579
1996	78.593	53.444				18.138	7.011
1997	79.484	55.869				17.042	6.573
1998	86.579	58.752	10.853		11.945	22.798	5.029
1999	108.269	69.925	18.816		14.732	33.548	4.796
2000	102.350	59.411	23.111	5.598	8.071	36.780	6.159
2001	94.855	48.432	18.797	951	18.797	38.545	7.878
2002	88.089	39.073	20.465	5.843	10.166	36.474	12.542
2003	119.496	58.214	41.784	6.519	1.349	49.652	11.631
2004	130.640	61.560	40.892	8.642	2.497	52.031	17.049
2005	133.783	60.318	44.429	10.983	810	56.222	17.243
2006	122.005	51.930	45.120	13.404	486	59.010	11.065
2007	115.513	64.316	32.938	10.225	469	43.632	7.565
2008	106.115	63.192	19.936	14.417	1	34.505	8.569
2009	89.468	49.304	21.718	13.754	2.646	38.118	2.046
2010	91.959	52.391	23.190	13.953	136	37.279	2.288
2011	99.919	51.536	23.741	17.854	120	41.764	6.669
2012	103.567	52.864	30.850	17.140	319	48.353	2.395
2013	95.340	51.391	28.864	14.035	109	43.008	941
2014	98.967	48.143	35.741	13.932	400	50.073	749
2015	90.581	47.735	26.327	14.046	1.542	41.916	929
2016	98.464	54.897	26.245	13.495	3.049	42.789	778
2017	83.111	49.925	12.986	12.052	7.285	32.316	869

(Fuente: Elaboración propia en base a INFOR, 2018 y otras estadísticas de INFOR desde 1980)

Apéndice N° 3
TASA DE PLANTACIÓN ANUAL POR ESPECIES
FORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN

Año	Total	Forestación				Reforestación			
		Subtotal	Pino Radiata	Eucaliptos	Otras	Subtotal	Pino Radiata	Eucaliptos	Otras
(ha)									
1995	99.857	60.266	30.594	24.126	5.546	39.591	32.130	5.428	2.034
1996	78.593	42.460	26.565	12.033	3.863	36.133	26.880	6.105	3.148
1997	79.484	44.337	28.376	11.444	4.516	35.148	27.493	5.598	2.057
1998	86.579	35.600	18.147	14.044	3.409	50.979	40.605	8.754	1.621
1999	108.269	39.607	22.606	13.243	3.759	68.662	47.320	20.306	1.037
2000	102.350	44.334	16.453	23.173	4.708	58.016	42.958	13.607	1.451
2001	94.855	44.176	14.884	22.739	6.553	50.679	33.548	15.806	1.325
2002	88.089	46.220	15.183	19.689	11.348	41.869	23.890	16.785	1.194
2003	119.496	56.744	17.137	31.029	8.578	62.753	41.077	18.623	3.053
2004	130.640	67.580	18.067	32.657	16.856	63.061	43.494	19.374	193
2005	133.783	73.306	22.171	40.693	10.442	60.477	38.148	15.530	6.800
2006	122.005	69.483	19.179	40.256	10.048	52.522	32.750	18.754	1.017
2007	115.513	54.548	22.922	24.927	6.699	60.965	41.394	18.703	868
2008	106.115	30.546	15.058	11.433	4.056	75.569	48.134	23.073	4.362
2009	89.468	27.426	12.783	12.895	1.748	62.043	36.521	25.222	300
2010	91.959	20.240	7.553	10.769	1.918	71.719	44.838	26.510	371
2011	99.919	20.396	8.902	10.499	996	79.523	42.634	31.265	5.624
2012	103.567	17.151	7.804	8.308	1.039	86.417	45.061	40.044	1.313
2013	95.340	6.609	3.136	3.086	388	88.731	48.255	39.922	554
2014	98.967	4.529	2.053	2.009	467	94.438	46.091	48.065	282
2015	90.581	3.011	1.366	1.151	494	87.570	46.369	40.765	435
2016	98.464	2.421	1.312	707	402	96.043	53.586	42.082	375
2017	83.111	1.736	621	567	547	81.375	49.304	31.749	322

(Fuente: INFOR, 2018)

RESUMEN

Conocidas son las aplicaciones de la tecnología nuclear con fines médicos, industriales, agrícolas y en generación de energía eléctrica y térmica. En el ámbito forestal son desconocidas, aunque la radiación ionizante podría ser una herramienta de mejoramiento muy importante para crear variabilidad genética inexistente en la naturaleza, no disponible mediante las tecnologías tradicionales que deben usar la recombinación genética mediante hibridación (polinización artificial) y otras herramientas biotecnológicas más recientes (modificación del genoma).

Las aplicaciones de tecnologías nucleares podrían tener un gran impacto en el nuevo escenario de cambio climático que está afectando la adaptabilidad de las especies nativas y exóticas en el país, lo que se manifiesta en la aparición de enfermedades y plagas, como es el caso de la mortalidad en poblaciones naturales de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch, en la significativa merma de productividad de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill., en la vulnerabilidad de especies como el ruil (*Nothofagus alessandrii* Espinosa) y otras.

La aplicación de bajas dosis de radiación gamma "hormesis", genera alteraciones metabólicas y fisiológicas, mejora la germinación en las semillas y también el crecimiento inicial de las plantas. Aunque se sabe poco sobre la naturaleza básica de este fenómeno, existe una relación entre hormesis y efectos epigenéticos que se manifiestan como respuestas adaptativas en las especies irradiadas.

En tanto, la aplicación de dosis mayores de radiación gamma produce un efecto conocido como mutagénesis, producto de alteraciones en el ADN, que puede realizarse al azar sobre cualquier secuencia, o bien de forma dirigida (mutagénesis dirigida) sobre una secuencia conocida y en la posición de interés. En estos casos las características modificadas genéticamente son heredables y se aplican a programas de mejoramiento genético vegetal aumentando la biodiversidad y la productividad. La aplicación de rayos gamma y otros agentes mutágenos físicos y químicos en el mejoramiento de cultivos agrícolas (arroz, trigo, maíz, cebada y soya entre otros) en los últimos años ha resultado en 3.275 cultivares mutantes registrados en 224 especies, generando enormes beneficios económicos y propiciando mejores niveles de vida de las variedades en todo el mundo. Sin embargo, existen pocas experiencias a nivel mundial de aplicación de estas tecnologías en especies forestales, donde se reportan entre otras a *Araucaria angustifolia*, *Pinus montezumae* y *Abies religiosa*.

En este trabajo se efectúa una revisión del estado del arte de estas tecnologías y sus posibles aplicaciones al ámbito de la conservación y el mejoramiento genético forestal de especies nativas y exóticas de rápido crecimiento en Chile.

Palabras clave: Radiación gamma, hormesis, mutagénesis, ADN, conservación, mejoramiento genético forestal

SUMMARY

Known are the applications of nuclear technology for medical, industrial and agricultural purposes, and in the generation of electrical and thermal energy. In the forestry field, they are unknown, although ionizing radiation could be a very important breeding tool to create genetic variability that does not exist in nature, not available through traditional technologies that must use genetic recombination through hybridization (artificial pollination) and other most recent biotechnological tools (modification of the genome).

The applications of nuclear technologies could have a great impact in the new scenario of climate change that is affecting the adaptability of native and exotic species in the country, which manifests itself in the appearance of diseases and pests, as is the case of the mortality in natural populations of *Araucaria araucana*, in the significant decrease in productivity of the plantations of *Eucalyptus globulus*, in the vulnerability of species such as the Ruil (*Nothofagus alessandrii*) and others.

The application of low doses of gamma radiation "hormesis", generates metabolic and physiological alterations, improves germination in the seeds and also the initial growth of the plants. Although little is known about the basic nature of this phenomenon, there is a relationship between hormesis and epigenetic effects that manifest as adaptive responses in irradiated species.

Meanwhile, the application of higher doses of gamma radiation produces an effect known as mutagenesis, product of alterations in DNA, which can be performed randomly on any sequence, or in a directed manner (directed mutagenesis) on a known sequence and on the position of interest. In these cases, the genetically modified characteristics are heritable and are applied to plant breeding programs increasing biodiversity and productivity. The application of gamma rays and other physical and chemical mutagens in the improvement of agricultural crops (rice, wheat, corn, barley and soybean, among others) in recent years has resulted in 3,275 mutant cultivars registered in 224 species, generating enormous economic benefits and promoting better living standards of varieties throughout the world. However, there are few worldwide experiences of application of these technologies in forest species, where they report, among others, *Araucaria angustifolia*, *Pinus montezumae* and *Abies religiosa*.

In this work a review of the state of the art of these technologies and their possible applications to the field of conservation and forest genetic improvement of native and exotic species of rapid growth in Chile is made.

Key words: Gamma radiation, hormesis, mutagenesis, DNA, conservation, forest genetic improvement

INTRODUCCIÓN

En Chile existen grandes desafíos relacionados con los efectos del cambio climático en la adaptabilidad y crecimiento de los bosques nativos y de las plantaciones, que se manifiestan en la aparición de pestes y enfermedades (Sturrock *et al.*, 2011), como producto de largos períodos de sequía, y que también han favorecido incendios forestales como los del año 2017. De esta forma, un factor hace que se potencie el efecto negativo del otro, lo que plantea la necesidad de iniciar la investigación y evaluación de nuevas variedades genéticas forestales que permitan lograr la protección y sustentabilidad de los recursos forestales y, por extensión, del medio ambiente relacionado.

Los programas de reforestación deben incluir diferentes especies, tanto nativas como exóticas, que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático, en particular en las regiones más impactadas por los últimos incendios que afectaron casi medio millón de hectáreas.

Sin embargo, el crecimiento de los árboles puede tomar varios años y se debe disponer de variedades forestales adaptadas, de rápido crecimiento y en cantidades que permitan su propagación operacional masiva.

Una alternativa para obtener nuevas variedades es exponer germoplasma a radiación gamma, con el fin de inducir cambios genéticos, dando origen a la selección de nuevas líneas de variedades con tolerancia a estrés abiótico o resistencia biótica que puedan incluirse en el ecosistema forestal. Utilizando estas técnicas sería posible acelerar lo que la naturaleza realiza por sí sola en millones de años.

Las posibles aplicaciones de las tecnologías nucleares tienen gran importancia en el nuevo escenario mundial de cambio climático que está afectando tanto a especies nativas como exóticas en el país, en cuanto a la sorpresiva aparición de nuevas enfermedades y plagas, como es el caso de la mortalidad en poblaciones naturales de *Araucaria araucana* y plantaciones de *Eucalyptus globulus*, o incrementando la vulnerabilidad de especies como ruil (*Nothofagus alessandrii*) y otras.

Por ello, lograr un aumento en la variabilidad genética en especies forestales mediante técnicas nucleares permitiría mejorar la eficiencia del proceso de reforestación y la recuperación especies amenazadas en su hábitat natural, recuperando ecosistemas difíciles de sustentar en la actualidad.



Figura N° 1
MORTALIDAD DE *Araucaria araucana* (IZQ.) Y DAÑOS DE INSECTOS EN *EUCALIPTO* (DER.)

En el corto plazo, la sola aplicación de tecnologías de mejoramiento genético convencional no permite soslayar los problemas asociados a la adaptabilidad de las especies nativas y exóticas, en cuanto a la generación de variabilidad genética inexistente en la naturaleza.

Las tecnologías nucleares consideran la hormesis y la mutagénesis, que pudieran ser usadas tanto en programas de conservación genética forestal (bienes públicos) aplicables en especies vulnerables o cerca de la extinción, como en programas de mejoramiento genético de especies de rápido crecimiento con fines productivos comerciales (bienes privados).

Lo anterior en relación a los problemas de adaptabilidad de las especies forestales frente del cambio climático, como dificultades de propagación por semillas (quiebre de dormancia de semillas), crecimiento inicial o variables de interés económico (como mejorar el enraizamiento de clones híbridos de eucaliptos para su propagación a escala operacional).

En Chile, la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) posee dos irradiadores experimentales que pueden ser utilizados para otorgar al material forestal seleccionado las dosis adecuadas que estimulen los procesos fisiológicos que mejoren la germinación de las semillas, el enraizamiento o crecimiento inicial de las especies en estudio mediante hormesis o induzcan cambios genéticos que a su vez incrementen la variabilidad de especies en riesgo.

OBJETIVOS

El objetivo de largo plazo de un proyecto forestal utilizando tecnología nuclear sería mejorar la eficiencia del proceso de reforestación, con genotipos superiores de especies exóticas y/o nativas obtenidas mediante el uso de radiación gamma, y la asistencia de marcadores moleculares y de herramientas biotecnológicas, que permitan la propagación de este nuevo material genético adaptado al cambio climático.

La aplicación de la mutagénesis, junto con la biotecnología disponible como la genómica y las técnicas de cultivo *in vitro*, permitirá acelerar las etapas principales de los programas de mejoramiento, desde la generación de variabilidad genética, pasando por la selección fenotípica/genética, hasta la rápida multiplicación de los genotipos superiores.

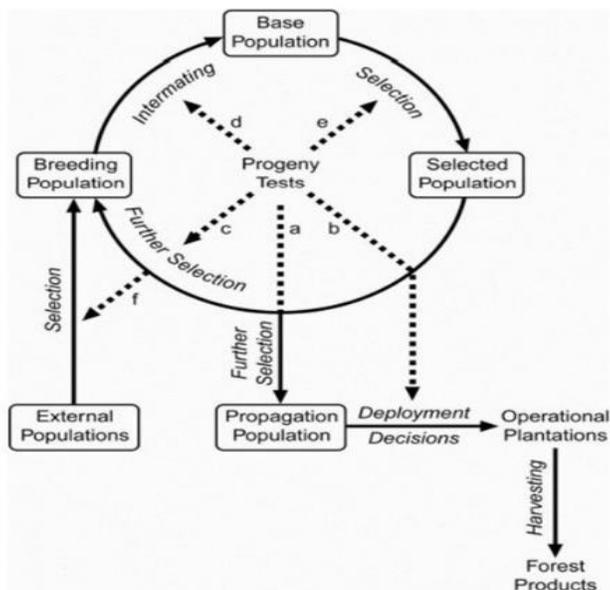
MEJORAMIENTO FORESTAL CONVENCIONAL

Una población base de primera generación se encuentra conformada por millones de individuos y una variabilidad genética que en ocasiones no se adapta al cambio ambiental para su producción, ya sea en bosques naturales o plantaciones.

Una población base de generación avanzada consiste de árboles mejorados genéticamente que crecen en los ensayos genéticos, además, a estos árboles se les conocerá el pedigrí, es decir, sus progenitores, ancestros, historia y origen geográfico.

El ciclo de mejora comienza en cada generación con la selección fenotípica de árboles plus o superiores, basado generalmente en el método de selección de comparación con árboles en el entorno.

En un programa de primera generación, la selección normalmente es de este tipo masal o fenotípica. En programas de generación avanzada los árboles superiores se seleccionan de acuerdo al desempeño individual y de sus progenitores y parientes (selección genética) (Figura N° 2).



Árboles plus Selección Masal

Familias de Polinización Abierta en Vivero

Ensayo de Progenies Año 1

Selección Genética Año 8

Figura N° 2
CICLO DE MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL Y ENSAYO DE PROGENIES

Para una generación dada, la población está compuesta por algunos ejemplares o toda la población seleccionada. La función de la población de producción es generar descendencia genéticamente mejorada para plantaciones operacionales, ya sea por semillas (sexuada) o por clones (asexuada).

Los huertos semilleros clonales y las áreas de multiplicación clonal (setos) constituyen los tipos más usados de poblaciones de producción en las empresas forestales, aunque existen otras alternativas para obtener material para plantaciones operativas.

Para una generación determinada, algunos o todos los individuos de la población seleccionada se incluyen en la población de mejora, la cual tiene por objeto crear la población base de la siguiente generación. Esto se alcanza al inducir la recombinación de genes entre genotipos superiores; la progenie resultante se establece en pruebas genéticas y una vez que la nueva población base se ha creado, comienza un nuevo ciclo de mejora, por infusión de nuevo material genético.

HORMESIS Y MUTAGÉNESIS

La radiación ionizante se puede cuantificar en términos de dosis absorbida (D), que es la cantidad de energía de radiación ionizante depositada por unidad de masa de material irradiado. La unidad para cuantificar los efectos biológicos de la radiación ionizante es el Gray (Gy)¹⁹, derivada del sistema internacional de unidades para medir la dosis absorbida de radiación ionizante para un determinado material.

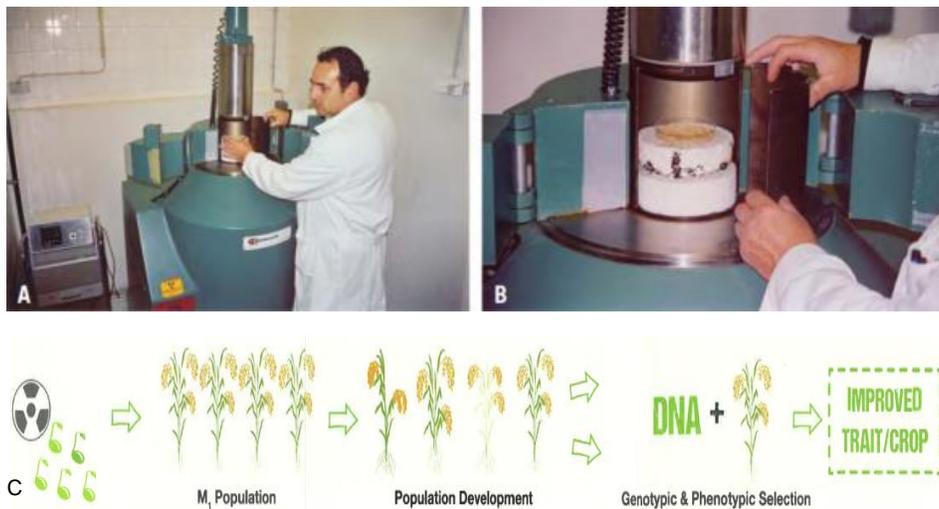


Figura N° 3
EQUIPO DE RADIACIÓN GAMMA (A), CARGA DE SEMILLAS EN REACTOR NUCLEAR (B) Y DIAGRAMA DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO VEGETAL CON RADIACIÓN GAMMA (C)

Se ha reconocido que las dosis bajas de radiación promueven en las plantas un aumento de la respiración celular, la activación de enzimas, un aumento de la producción de estructuras reproductivas, un mayor crecimiento, maduración temprana, desarrollo acelerado y resistencia a las enfermedades (Luckey, 1980; 1998).

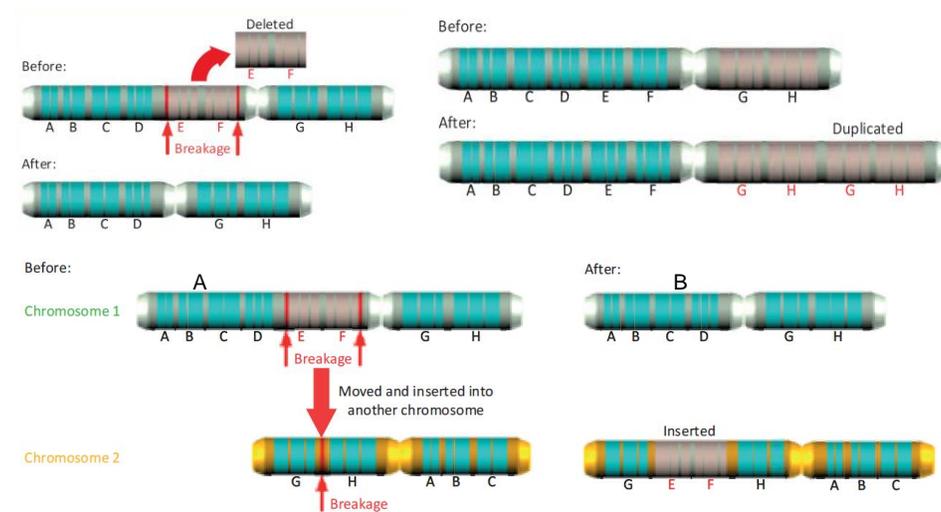
Los resultados de radioestimulación o radiohormesis revelaron incrementos (hasta un 10-40%) en los rendimientos agrícolas, un mejoramiento en la germinación de las semillas, en el contenido de carotenos y de vitamina C, y finalmente mayor resistencia a enfermedades y factores abióticos (González *et al.*, 2002; Vasilevski, 2003).

La mutagénesis producida por la radiación, es decir, el cambio hereditario en la composición genética de un individuo, da como resultado nuevos rasgos que se transmiten de padres a hijos y, por lo tanto, impulsan la evolución. En la naturaleza, las mutaciones son causadas por errores en la replicación del ácido desoxirribonucleico (ADN) y en muchas ocasiones debido a la exposición a las radiaciones naturales del entorno. Un individuo modificado resultante se conoce entonces como mutante espontáneo. La mutación es la causa subyacente de la evolución, ya que un individuo con un rasgo novedoso puede ser seleccionado de manera preferencial por su naturaleza, debido a su aptitud superior que surge de la nueva característica de adaptación (mutantes), o artificialmente por el hombre debido a la conveniencia de la novedad. Sin embargo, para fines prácticos, la expresión fenotípica es la primera descripción del mutante. Así, la

¹⁹ Un Gray es equivalente a la absorción de un Joule de energía de radiación por kilogramo de material irradiado. Las dosis de radiación se dividen en tres categorías amplias: alta (> 10 kGy), media (1 a 10 kGy) y bajo (<1 kGy).

explotación de esta nueva variedad, a menudo ocurre mucho antes de que se entienda su modificación genética.

La mutagénesis permite la generación de nuevos genotipos de árboles y con las actuales tecnologías se puede en corto plazo seleccionar material genético adecuado mediante marcadores moleculares y propagación in vitro, para su posterior amplificación operacional en programas de reforestación. En el mejoramiento genético forestal la radiación ionizante podría ser una forma muy importante de crear variabilidad genética inexistente en la naturaleza y no disponible por las tecnologías tradicionales, como la recombinación genética mediante hibridación (polinización artificial) y otras como la biotecnología (modificación del genoma). Todos los cambios ocurren en el ADN, ya sea por eliminación o deficiencia (pérdida de segmento cromosómico, Figura N° 5A), duplicación (duplicación de un segmento cromosómico, Figura N° 5B) o inversión (nuevo arreglo de un grupo de genes, Figura N° 5C).



(Adaptado de FAO/IAEA, 2018).

C

Figura N° 5

ELIMINACIÓN: UNA PARTE INTERSTICIAL DE UN CROMOSOMA SE PIERDE (A). DUPLICACIÓN: SE PRODUCE UNA COPIA ADICIONAL DE UNA REGIÓN CROMOSÓMICA (B). INVERSIÓN: DESPUÉS DE DOS ROTURAS EN UN CROMOSOMA, LA REGIÓN ENTRE LAS ROTURAS GIRA 180 GRADOS ANTES DE VOLVER A UNIRSE CON LOS DOS FRAGMENTOS FINALES (C)

IRRADIACIÓN DE MATERIAL GENÉTICO

Características del Material Biológico a Irradiar (FAO/IAEA, 2018)

- **Plantas enteras.** Las plantas de semillero o plantas pequeñas pueden ser irradiadas fácilmente por la mayoría de las máquinas de rayos X o por fuentes de rayos gamma en un invernadero o en salas blindadas. Hoy el uso de irradiación gamma en campos abiertos es extremadamente reducido considerando las restricciones asociadas con preocupaciones ambientales y de salud humana.

- **Semillas.** Las semillas son el material preferentemente usado para la inducción de mutagénesis por medio de la irradiación. Las semillas pueden ser irradiadas en muchos ambientes físicos y pueden ser desecadas, empapadas, calentadas o congeladas antes de los tratamientos. Se pueden almacenar durante largos períodos de tiempo en aire, vacío y condiciones refrigeradas.

Cuando están secas, las semillas son casi inertes biológicamente (inactivas), siendo más fáciles de manejar y transportar a grandes distancias. Sin embargo, se requieren mayores dosis de radiación para producir ciertas mutaciones genéticas comparativamente con las dosis de irradiación de otros materiales vegetales. Sin embargo, el aumento de humedad de las semillas en agua, antes de la irradiación puede favorecer la reducción del nivel de dosis requerida, pero a su vez generar otros cambios no deseados como el adelantar su germinación.

- **Granos de polen.** Una gran ventaja de la irradiación de polen en comparación con la irradiación de semillas o plantas es el hecho de que el primero raramente produce quimeras, es decir, las plantas M1 resultantes de la fertilización con polen irradiado serán totalmente homocigoto para cualquier mutación inducida. Las desventajas de la irradiación de polen incluyen la dificultad de obtener material suficiente de algunas especies y la corta viabilidad del grano de polen en muchas especies de plantas. Sin embargo, mediante el uso de técnicas adecuadas, el polen de algunas especies puede mantenerse vivo durante varios meses (o años para especies que tienen polen binucleado, por ej. palma aceitera) y se puede utilizar para conservación de germoplasma. Grandes cantidades de polen se pueden obtener naturalmente de la mayoría de las plantas de polinización cruzada, por ejemplo, una planta de maíz puede producir de 14 a 50 millones de granos de polen. Los granos de polen son generalmente considerados como los más adecuados para el tratamiento de irradiación UV.

- **Meristemas.** La irradiación de semillas es esencialmente un tratamiento de los meristemas embrionarios. Conocer la anatomía y el patrón de los meristemas embrionarios es importante para los tratamientos mutagénicos de las semillas (también como otro material vegetal) ya que determina si una célula mutada se perderá durante la diferenciación o producirá progenies celulares suficientes que se encuentran en gran parte de la planta incluidas células germinales. Para la mayoría de los cultivos de propagación vegetativa, las semillas no son consideradas y, por lo tanto, son otros tejidos de la planta el objetivo para la inducción de una mutación. La estructura de regiones meristemáticas y el desarrollo de nuevos meristemas a partir de los tejidos son particularmente importantes cuando se investiga la mutación inducida por radiación en especies con sistemas de propagación vegetativa. En la mayoría de los casos, los nuevos brotes se originan a partir de una sola célula epidérmica de un tejido y esto podría conducir directamente a plantas mutantes cuya genética debe ser investigada.

- **Células vegetales y cultivo de tejidos in vitro.** El uso de células y cultivo de tejidos vegetales ofrece aplicaciones interesantes en la mutación reproductiva. A comienzos de los años 60, los métodos *in vitro* para micro propagación de plantas se convirtieron rápidamente en una herramienta poderosa para los científicos que trabajaban en la inducción de mutaciones de plantas, especialmente en plantas de propagación vegetativa.

Dosimetría

La dosimetría de radiación trata los métodos para la determinación cuantitativa de dosis absorbida (del material objetivo) y su interpretación física. La dosis absorbida es la energía que se deposita en una masa unitaria de materia, debido a la interacción de radiación con esta.

Uno de los pocos trabajos que existen en especies de árboles se realizó con *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Kuntze (Ferreira *et al.*, 1980). El estudio mostró un efecto hormético sobre la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas a bajas dosis de radiación gamma (0,1 a 0,4 kR). Este primer estudio mostró la efectividad de la radiación ionizante para mejorar la germinación de semillas en especies forestales, siendo uno de los principales rasgos agronómicos para el manejo forestal.

En un estudio para determinar el efecto de la radiación gamma sobre la germinación de semillas en *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*, el efecto radioestimulador fue mayor en *Pinus hartwegii* ya que el tratamiento de 2 Gy produjo un alto porcentaje de germinación. La dosis de 5 Gy fue más efectiva para inducir un efecto similar en el *Abies religiosa*. Desarrollos recientes en biotecnología, especialmente en la comprensión de la estructura y función de los genomas de las plantas, confirman la inducción de mutaciones *in vitro* como una de las herramientas más eficientes y rentables para proyectos de genómica funcional, que se ocupan tanto de la investigación como

de estrategias de genética inversa (Jain and Spencer, 2010; Shu *et al.*, 2009).

El principal desafío de la obtención de mutaciones en especies forestales es identificar dosis de tratamientos de radiación gamma (dosis que produzcan un DL50) que produzcan mutaciones a frecuencias susceptibles de detección para su explotación comercial.

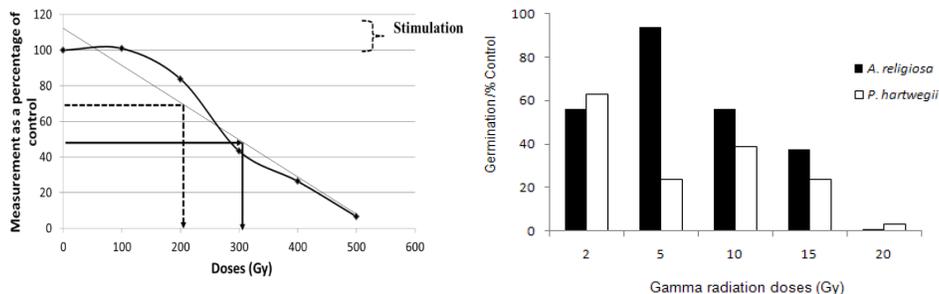


Figura N° 6
DETERMINACIÓN DOSIMETRÍA (IZQ.) Y RESPUESTA A RADIACIÓN GAMMA DE SEMILLAS DE ESPECIES FORESTALES (DER.)

Las limitantes y problemas en el mejoramiento forestal con irradiaciones gamma son las siguientes:

- **Generaciones para la selección.** Los árboles a diferencia de los cultivos anuales tienen largos ciclos de vida (entre 5 a 7 años es lo que demoran las especies de más rápido crecimiento), tiempo mínimo requerido para producir un mutante o variedad de interés comercial.
- **Espacio requerido.** Se requiere una mayor superficie para el crecimiento de poblaciones mutantes.
- **Conocimiento de la genética básica y biología reproductiva de las especies.** Es un factor importante para cumplir el objetivo de la producción comercial y su modo de propagación (semillas o clones).
- **La limitación más seria es acelerar el proceso de detección para identificar mutaciones deseables.** Aunque se pueden desarrollar algunas selecciones fenotípicas, las mayores ganancias genéticas se obtendrían mediante sistemas de detección de mutantes de ADN. Las capacidades de ADN (laboratorios de marcadores moleculares) permitirían una temprana detección de los mutantes deseables.

MARCADORES MOLECULARES DE ADN Y APLICACIONES DE LA “GENOTIPIFICACIÓN” PARA LA MUTAGÉNESIS Y EL MEJORAMIENTO FORESTAL

El valor de los marcadores genéticos como indicadores de selección indirectos en el fitomejoramiento es conocido desde hace más de 90 años. Sin embargo, es desde mediados de la década de 1980 que los marcadores moleculares están disponibles para una selección genética confiable.

Desde entonces, la selección indirecta utilizando marcadores de ADN ha aumentado significativamente la eficiencia y velocidad de fitomejoramiento con tecnologías automatizadas, como la secuenciación del ADN y el desarrollo de herramientas bioinformáticas (FAO/IAEA, 2018).

COMENTARIOS

El cambio climático en Chile está afectando la productividad y la sanidad de las plantaciones y los bosques nativos, como consecuencia de la disminución de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas. En algunos sitios ahora marginales para el cultivo de *E. globulus* la especie está siendo sustituida por híbridos entre esa especie y *E. nitens*. Es difícil sin embargo que para algunas especies nativas de larga rotación biológica estas puedan adaptarse rápidamente al cambio climático en el corto plazo.

De acuerdo a la experiencia en especies forestales se puede concluir que las dosis bajas de radiación ionizante podrían mejorar los cultivos al aumentar la producción, reducir el tiempo de germinación y acelerar el crecimiento de las plantas. Por su parte, mediante la mutagénesis con dosis más altas, se podría generar nuevas variedades de plantas.

Dependiendo del tipo de tejido que se irradia y la cantidad de humedad interior del tejido, la utilización adecuada de la radiación ionizante como herramienta proporciona la base para el mejoramiento forestal.

Las tecnologías nucleares han sido muy efectivas para la generación de variedades mutantes en cultivos agrícolas, pero esta opción no ha sido válida para las especies forestales, debido a la larga rotación biológica y comercial de las especies. Sin embargo, las tecnologías disponibles actualmente, como la genómica y el cultivo *in vitro*, permiten la selección precoz de genotipos de interés comercial, como también la multiplicación del material a escala operacional.

Las tecnologías nucleares permiten, a través de la radiación gamma, producir cambios metabólicos y fisiológicos en las especies forestales, de forma que mediante la hormesis se mejore la germinación y el crecimiento inicial de especies nativas vulnerables.

En las especies exóticas de rápido crecimiento, como los eucaliptos, será posible inducir mutaciones con dosis de radiación gamma mayores que permitan la generación de nuevos fenotipos/genotipos de interés comercial. Para este propósito será necesario en una primera etapa determinar la variable de interés comercial a mejorar, el material genético (semillas, clones) y la dosimetría a irradiar. También se deberá implementar la estrategia de selección de los fenotipos/genotipos de interés comercial, variables y establecimiento, medición de los ensayos (vivero, terreno) como también la selección genética apoyada en marcadores moleculares y fenotípicos.

REFERENCIAS

FAO/IAEA, 2018. Manual on Mutation Breeding - Third edition. Spencer-Lopes, M.M., Forster, B.P. and Jankuloski, L. (eds.), Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 301 pp.

Ferreira, C.; Do Nascimento, V.; Ferreira, M. & Vencovsky, R., 1980. Efeito de baixas doses de radiação gama na conservação do poder germinativo de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Kuntze. IPEF, 21:67-82

Jain S. and Spencer. M., 2010. Mutagenesis in crop improvement under de climate change. Romanian biotechnological letters. 15(2): 88-106.

Luckey, T., 1980. Hormesis with ionizing radiations. CRC press. Boca Raton, FLO, USA

Luckey, T., 1998. Radiation Hormesis: Biopositive effect of Radiation. Radiation Science and Health. CRC press. Boca Raton, FLO, USA.

González, L.; Ramírez, R. y Camejo, Y., 2002. Estimulación del crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate del cultivar Santa Clara a los rayos gamma del ⁶⁰Co. Alimentaria, 331: 67-70.

Shu, Q., Forster, B. P. and Namakawa, H., 2009. Turning plant mutation breeding into a new era: Molecular mutation breeding. Induced plant mutation in the genomic era. FAO, Rome: 425-427.

Sturrock, R. N.; Frankel, S. J.; Brown, A. V.; Hennon, P. E.; Kliejunas, J. T.; Lewis, K. J.; Worrall, J. J.; and Woods, A. J., 2011. Climate change and forest diseases. USDA Forest Service / UNL Faculty Publications. 143. In: <http://digitalcommons.unl.edu/usdafsfacpub/143>

Vasilevski, G., 2003. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special Issue: 179-186.

REGLAMENTO DE PUBLICACION

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL es una publicación técnica, científica, arbitrada y seriada, del Instituto Forestal de Chile, en la que se publican 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. Se acepta también trabajos que han sido presentados en forma resumida en congresos o seminarios. 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, de diversos países y de variadas especialidades, que conforma el Comité Editor. De acuerdo al tema de cada trabajo, este es enviado por el Editor a al menos dos miembros del Comité Editor para su calificación especializada. El autor o los autores no son informados sobre quienes arbitran su trabajo y los trabajos son enviados a los árbitros sin identificar al o los autores.

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 a 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 lo 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 solo 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, inglés y portugués, redactados en lenguaje universal, que pueda ser entendido no solo 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, interlineado sencillo y un espacio libre entre párrafos. Letra Arial 10. Un tab (8 espacios) al inicio de cada párrafo. No numerar páginas. Justificación ambos lados. Extensión máxima trabajos 25 carillas para artículos y 15 para Apuntes. Usar formato abierto, no formatos predefinidos de Word que dificultan la edición.

Primera página incluye título en mayúsculas, negrita, centrado, letra Arial 10, 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 10 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. Solo para Introducción usar página nueva, resto puntos principales seguidos, separando con dos espacios antes y uno 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 guion 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 referencias citadas en texto y solo 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: señalaron que... (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 Latin, 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.

Solo 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 uso.

Abreviaturas, magnitudes y unidades deben estar atenuadas a la Real Academia Española (RAE) y el Sistema Internacional de Unidades (SI). Se empleará en todo caso el sistema métrico decimal. Al respecto es conveniente recordar que las unidades se abrevian en minúsculas, sin punto, con la excepción de litro (L) y de aquellas que provienen de apellidos de personas como Watts (W), Newton (N) y otras. Algunas unidades de uso muy frecuente: metro, que debe ser abreviado **m**, metro cúbico **m³**, metro ruma **mr**; o hectáreas **ha**, toneladas **t**, metros cúbicos por hectárea **m³/ha**.

Llamados a pie de página: Cuando estos son necesarios, serán numerados en forma correlativa y deben aparecer 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 a los miembros del Comité Editor 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). 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.

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).

Respecto del peso de los archivos, tener presente que hasta 5 Mb es un 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 RTF.

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 y no hay observaciones

de fondo por parte del Comité Editor, el trabajo es aceptado como fue propuesto (Artículo o Apunte), 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 INVESTIGACIÓN FORESTAL

ARTICULOS	PÁGINAS
AJUSTE DE UN MODELO DE VOLUMEN DE ÁRBOL INDIVIDUAL DE <i>Acacia mearmsii</i> De Wild. CRECIENDO EN LA REGIÓN DEL BIO BIO. Pinilla, Juan Carlos ; Luengo, Karina; Navarrete, Mauricio y Navarrete, Felipe. Chile.	7
ESTABLECIMIENTO DE ENSAYO DE PLANTACIÓN SUPLEMENTARIA EN BOSQUES ALTERADOS DE ÑIRRE (<i>Nothofagus antártica</i> (G. Forst.) Oerst.) EN LA REGIÓN DE AYSÉN. Salinas, Jaime; Acuña, Bernardo y Uribe, Alicia. Chile.	27
EVALUACIÓN DE CALIDAD DE CHAPAS FOLIADAS DE CEREZO, NOGAL Y ALISOS PROCEDENTE DE TROZAS DE RALEO DE PLANTACIONES JÓVENES. Loewe, Verónica ; Fuchslocher, Francisco ; Delard, Claudia y del Río, Rodrigo. Chile.	55
APUNTES	
MIGRACIÓN ASISTIDA: EL NUEVO PARADIGMA DE LA CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. Ipinza, Roberto. Chile.	69
EVOLUCIÓN DE LAS PLANTACIONES FORESTALES EN CHILE. FORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN. Barros, Santiago. Chile.	89
APLICACIONES DE TECNOLOGIAS NUCLEARES EN CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL BAJO UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO. Rojas, Patricio ; Aguirre, Paulina; Durán, Oscar y Nario, Adriana. Chile.	115
REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN	127

