

Volumen 25 N° 2
Agosto 2019

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

CIENCIA E INVESTIGACIÓN FORESTAL



**INSTITUTO FORESTAL
CHILE**



INFOR

VOLUMEN 25 N° 2

**CIENCIA E
INVESTIGACION
FORESTAL**

Agosto 2019

**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.

CONTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES NATIVOS Y PLANTADOS A LA MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE

Droppelmann, Fernando¹; Grosse, Hans² y Laroze, André³

RESUMEN

El sector forestal chileno es muy relevante para el país desde el punto de vista ambiental, económico y social. El país cuenta con 14,6 millones de hectáreas de bosques nativos y 2,3 millones de hectáreas de bosques plantados. Este sector puede constituir un aporte importante al logro de la meta de carbono neutralidad del país para el año 2050 por la vía de la captura de carbono y la reducción de emisiones. En este ámbito, se han generado distintas propuestas desde sectores de la academia, de los gremios profesionales, de la sociedad civil, de la industria y de los gremios forestales medianos y pequeños, entre otros.

El país requiere impulsar el desarrollo sustentable en el ámbito forestal. Desde esta posición, debe necesariamente plantearse ante las distintas propuestas con una mirada integradora de sus efectos en los ámbitos ambiental, económico y social, y debe considerar que, si bien el propósito de apoyar la mitigación del cambio climático es de primera importancia, también lo es impulsar el desarrollo sustentable del país, en particular de los segmentos más postergados. No basta con analizar las distintas opciones desde una mirada puramente física, es completamente relevante considerar los costos de las distintas propuestas para analizarlas, pues reflejan el nivel de sacrificio de otros bienes o los recursos que el país requerirá para implementarlas, así como la posibilidad de atraer recursos privados para su financiamiento.

Al igual que el tema de costo eficiencia, es muy importante considerar tanto los aspectos de eco eficiencia en las distintas propuestas como la realidad de los distintos territorios en cuanto a la factibilidad e impacto en ellos de las distintas soluciones, sin olvidar la realidad de que la mayoría de las áreas objeto de intervenciones serán privadas, con actores que requieren un retorno económico en plazos razonables y actividades industriales que también dependen de ello.

Al ponderar opciones de forestación, no es correcto comparar plantaciones exóticas con bosque nativo en su capacidad de captura de carbono, asumiendo que las primeras serán cortadas para producción maderera y los segundos no. Lo que se está haciendo en este caso es comparar entre dos regímenes distintos; producción maderera *versus* régimen de sumidero permanente. Las comparaciones deben realizarse para ambos casos en régimen similar; exóticas *versus* nativas en régimen de producción y similar comparación para ambas como sumidero permanente. Bajo los supuestos de análisis en este estudio y comparando regímenes similares, el carbono capturado por forestaciones de rápido crecimiento tiene un costo social significativamente menor que las forestaciones con especies nativas, tanto en régimen de producción como en régimen de sumidero permanente.

Reconociendo que existen preferencias en sectores de la sociedad por algunos tipos de especies en relación a otras, concretamente nativas respecto a exóticas, no existen elementos basados en la ciencia que permitan descartar el uso de especies introducidas si se toman las precauciones de una silvicultura adecuada. Al incorporar una mirada integral se hace notoria la necesidad de apreciar la complementariedad que puede existir entre distintas soluciones. El intento

¹ Dr. Ingeniero Forestal. Instituto de Silvicultura Universidad Austral de Chile. Director Ejecutivo Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal. fdoppel@uach.cl

² Dr. Ingeniero Forestal. Subdirector Ejecutivo. Instituto Forestal hgrosse@infor.cl

³ Dr. Ingeniero Forestal. Secretario Ejecutivo. Sistema Chileno de Certificación de Manejo Forestal Sustentable CERTFOR, Chile

de abordar la problemática desde visiones o recetas únicas, no resulta funcional y podría conducir a propuestas poco realistas o impracticables.

Debido al gran impacto de sustitución de materiales constructivos emisores y secuestro de carbono por parte de la construcción en madera, las políticas forestales debieran no solo preocuparse de la captura de carbono, sino también de la producción eco eficiente de madera, para sustentar una creciente participación de este material en la construcción. Por lo anterior, es recomendable combinar soluciones forestales tipo sumidero permanente con soluciones mixtas que consideren producción sostenible.

Palabras clave: Bosques Nativos, Bosques Plantados, Captura de Carbono, Reducción de Emisiones

SUMMARY

The Chilean forestry sector is very relevant for the country from an environmental, economic and social point of view. The country has 14.6 million hectares of native forests and 2.3 million hectares of planted forests. This sector can provide an important contribution to the achievement of the carbon neutrality goal of the country by 2050, through carbon sequestration and emission reduction. In this area, different proposals have been generated from sectors of the academy, professional associations, civil society, industry and medium and small forest guilds, among others.

The country needs to boost sustainable development in the forestry field. From this position, must necessarily be considered the different proposals with an integrative view of their effects in the environmental, economic and social spheres. Although the purpose of supporting climate change mitigation is of first importance, it is also important to promote the sustainable development of the country, in particular of the less favoured segments. It is not enough to analyze the different options from a purely physical perspective, it is completely relevant to consider the costs of the different proposals to analyze them, since they reflect the level of sacrifice of other goods or the resources that the country will require to implement them, as well as the possibility of attract private resources for financing.

As well as the issue of cost efficiency, it is very important to consider both, the aspects of eco-efficiency in the different proposals and the reality of the different territories in terms of the feasibility and impact on them of the different solutions. Also must no be ignored the reality that most of the areas subject to interventions will be private, with actors that require a reasonable economic return and industrial activities that also depend on it.

When weighting afforestation options, it is not correct to compare exotic plantations with native forest in their carbon capture capacity, assuming that the former will be cut for timber production and the latter will not. What is being done in this case is to compare between two different regimes; timber production versus permanent sink regime. Comparisons should be made for both cases under a similar regime; exotic versus native in production regime and similar comparison for both as permanent sink. Under the assumptions of analysis in this study and comparing similar regimes, carbon captured by fast-growing afforestation has a significantly lower social cost than afforestation with native species, both in the production regime and in the permanent sink system.

Recognizing that there are preferences in sectors of society for some types of species in relation to others, specifically native to exotic species, there are no science-based elements that allow the use of introduced species to be ruled out if precautions are taken to perform adequate forestry. From an integral point of view, the need to appreciate the complementarity that may exist among different solutions becomes evident. The attempt to address the problem from unique visions or recipes is not functional and could lead to unrealistic or impracticable proposals.

Due to the great impact of substitution of emitting building materials and the carbon sequestration by wood construction, forestry policies should not only be concerned with carbon sequestration, but also with the eco-efficient production of wood, to support a growing participation of this material in construction. Therefore, it is advisable to combine permanent sink forest solutions with mixed solutions that consider sustainable production.

Keywords: Native Forests, Planted Forests, Carbon Capture, Emission Reduction

1. CAPTURA DE CARBONO EN UN MARCO DE SUSTENTABILIDAD

El sector forestal chileno es muy relevante para el país desde el punto de vista ambiental, económico y social. El país cuenta con 14,6 millones de hectáreas de bosques nativos y 2,3 millones de hectáreas de bosques plantados (INFOR, 2019), con un sector industrial muy diverso, desde grandes compañías integradas hasta más de 1000 pequeñas y medianas industrias madereras, cerca de 250 viveros, numerosas empresas de servicios, 22 mil propietarios de plantaciones forestales y cerca de 80 mil propietarios de bosques nativos. Entre empleo directo, indirecto y no asalariado más de 400 mil personas reciben ingresos del sector, cuyo efecto multiplicador en la economía se cuenta entre los diez más altos.

Ante la inminencia de la COP 25, se ha dinamizado el debate ambiental centrado en el rol de los bosques, principalmente enfocado en su capacidad de captura de carbono, al evidenciarse que el año 2016 contribuyó con la captura de 62% de las emisiones de CO₂ del país; y también ante la meta trazada por el Gobierno de lograr una economía carbono neutral al año 2050. En el ámbito de este debate se han generado distintas propuestas desde sectores de la academia, de los gremios profesionales, de la sociedad civil, de la industria y de los gremios forestales medianos y pequeños, entre otros.

El país requiere impulsar el desarrollo sustentable en el ámbito forestal. Desde esta posición, debe necesariamente plantearse ante las distintas propuestas con una mirada integradora de sus efectos en los ámbitos ambiental, económico y social, y debe considerar que, si bien el propósito de apoyar la mitigación del cambio climático es de primera importancia, también lo es impulsar el desarrollo sustentable del país, en particular de los segmentos más postergados.

De este modo, se debe plantear que habrá proyectos cuyo principal foco podrá ser la mitigación del cambio climático, con eventuales externalidades positivas (o sin ellas) en los ámbitos económico y social, pero habrá otros proyectos cuya prioridad principal será dinamizar aspectos de estos últimos ámbitos, idealmente contribuyendo positivamente en forma complementaria a la captura de CO₂.

Forestar, reforestar, regenerar bosques naturales y restaurar territorios y ecosistemas emergen como temas relevantes. Estos desafíos requieren grandes aportes desde el punto de vista del conocimiento, pero, además, inversiones muy significativas, pues de no disponerse recursos los mejores planes quedarán solo en el ámbito de la retórica. Es completamente relevante considerar los costos de las distintas propuestas para analizarlas, pues reflejan el nivel de sacrificio de otros bienes o los recursos que el país requerirá para implementarlas. Los recursos fiscales, siempre escasos, compiten con necesidades acuciantes como las pensiones, la educación y la salud; de modo que, para lograr los impactos requeridos, es fundamental atraer la inversión privada, por una parte; y por otra, asegurarse de lograr las combinaciones más costo eficientes en términos de pesos por tonelada de CO₂ capturada o por empleo generado.

Al igual que el tema de costo eficiencia es muy importante considerar los aspectos de eco eficiencia en las distintas propuestas; optimizar el uso del suelo, del agua y minimizar externalidades negativas por unidad de carbono capturada o empleo generado. Se debe incorporar también la realidad de los territorios, donde una diversidad de usos del suelo debe convivir para que el paisaje sea más funcional y resiliente, y así mejore el bienestar humano. En efecto, como cada territorio tiene su historia particular, es necesario considerar las necesidades de la gente en cada uno, sin olvidar que probablemente la mayoría de las áreas objeto de intervenciones serán privadas, con actores que requieren un retorno económico en plazos razonables y actividades industriales que también dependen de ello.

De esta forma, al incorporar una mirada integral se hace notoria la necesidad de apreciar la complementariedad que puede existir entre distintas soluciones. Las reflexiones anteriores muestran que la discusión de blanco o negro sobre el tema de cómo forestar, reforestar o restaurar, buscando hacer prevalecer visiones o recetas únicas, no resulta útil y eventualmente podría

conducir a soluciones poco realistas o impracticables.

En este contexto, tanto bosques nativos como bosques plantados tienen un rol relevante que cumplir. Los bosques nativos, al estar en crecimiento, aportan en forma muy significativa con las capturas de carbono. Si bien incrementan su biomasa a tasas inferiores a las plantaciones forestales de rápido crecimiento, existe una mucho mayor superficie de bosque nativo que permite contribuir con la captura total a nivel país y, además, este recurso no se hace principalmente cargo de la producción maderera, por lo que en muchos casos puede estar en crecimiento largo tiempo hasta poder entregar esta opción productiva, proporcionando valiosos servicios ecosistémicos. En el futuro se espera que estos bosques también contribuyan en mayor medida a las economías locales con producción maderera sustentable y productos forestales cumpliendo con su función multipropósito.

Las plantaciones forestales, por su parte, cumplen hoy el importante rol de abastecer la industria forestal, donde hay un gran número de pymes madereras que requieren suministro para sobrevivir y crecer. Esta cadena de valor da empleo y moviliza el desarrollo de varias regiones del país. Si bien hoy este recurso se encuentra en equilibrio entre cosecha y reforestación, en la medida que el *stock* de plantaciones se incrementa, dicho incremento capturará carbono a altas tasas, contribuyendo también a la búsqueda de un futuro carbono neutral. No debe perderse de vista el rol que estas formaciones cumplen absorbiendo los requerimientos productivos, ya que de no existir deberían ser suministrados por los bosques nativos, generando las emisiones asociadas en dichos bosques.

Si se busca otorgar a la propuesta de Política Forestal 2015 – 2035 una proyección de política de Estado que trascienda a un Gobierno determinado, se debe considerar el espíritu de dicha propuesta. En este sentido, y con una mirada de sustentabilidad que abarque los ejes social, ambiental y económico, deben manejarse los bosques nativos para potenciar su producción de madera y de servicios ecosistémicos, fortaleciendo con ello su conservación, a la vez que forestar con plantaciones terrenos descubiertos sin alternativa agrícola, apuntando a una participación cada vez más inclusiva de todos los actores del sector forestal y con especial foco en la pyme maderera y forestal.

2. BOSQUES NATIVOS Y BOSQUES PLANTADOS

2.1. Complementariedad Ante Demandas de Madera en el Mundo y en Chile

El connotado científico neozelandés Wink Sutton escribía en su artículo *Plantation Forests Protect our Biodiversity* (1995) sobre los roles que tiene para el hombre la biodiversidad y la especialización. El ser humano necesita disponer de una amplia variedad de opciones para obtener alimentación, energía, materiales de construcción, fibras, medicinas y otros, gran parte de las cuales las provee la biodiversidad, la cual, además, es fundamental para mantener el equilibrio natural y, por ende, la vida en el planeta. De entre muchas opciones, el hombre elige solo las especies más eficientes para los distintos usos y las reproduce. Sutton indica que cerca de un 70% de las necesidades de alimento es abastecido solo por 9 especies de vegetales, 1 de aves y 3 de otros animales.

La única forma en que el mundo pueda alimentar su población actual (más de 7 mil 500 millones de habitantes) es mediante las técnicas agrícolas y ganaderas especializadas, muchas de las cuales se usan desde hace más de 8 mil años. En la época de la caza y la recolección, se requerían 100 hectáreas de bosque biodiverso por persona para alimentarse. Con ese estándar, hoy se necesitaría 180 veces todos los bosques del planeta para sobrevivir.

Este aumento enorme de la ecoeficiencia (menor uso de recursos naturales para un cierto fin), que ha hecho posible la supervivencia del ser humano y a la vez conservar gran parte del planeta, se evidencia en índices tales como que desde 1960 a la fecha, la tierra requerida para

alimentar a una persona bajó a la mitad, y en los últimos 20 años el requerimiento de tierra para la agricultura bajó en 50 millones de hectáreas (Asafu-Adjaye *et al.*, 2015).

Con los bosques pasa algo similar; el mundo utiliza unos 3.800 millones de metros cúbicos de madera al año, la mitad para combustible, y se espera (WWF, 2012) que esta demanda supere los 7.000 millones de metros cúbicos al 2030. Esto podría someter a una enorme presión a los 4 mil millones de hectáreas de bosques (principalmente nativos) del planeta, presión potencialmente muy destructiva para estos, dado que es imposible garantizar su adecuado manejo ante una demanda de esa magnitud.

Las plantaciones forestales hoy absorben casi un 40% de la demanda mundial y pueden absorber la demanda adicional utilizando del orden de un décimo de superficie respecto a otros bosques promedio del mundo, lo que significa solo un 5% respecto a la superficie actual. Son una respuesta especializada, a partir de una selección de las especies más eficientes para producir madera que permita regular la presión de demanda y hacer posible la conservación de los ecosistemas naturales, al igual que lo hizo la agricultura.

Así, los bosques naturales, ricos en biodiversidad, y las plantaciones, eficientes en producir madera, son recursos complementarios y no antagónicos. Sin los primeros no se podría seleccionar las más eficientes especies madereras y sin plantaciones no se podría asegurar la conservación de los bosques naturales del país y del mundo. El foco de preocupación debiera ser que las plantaciones se ejecuten en forma sustentable. El concepto de complementariedad por absorción de demanda de madera queda claramente explicado en el documento *Living Forests Report: Chapter 4* (WWF, 2012), así como en artículo de Fenning and Gershenson (2002).

La situación marco que se está dando en Chile y en el mundo apunta cada vez más al uso de recursos sustentablemente, incluyendo a la madera y sus derivados como una opción doblemente atractiva, ya que los bosques fijan carbono de la atmósfera y lo mantienen fijo en los productos que de ellos se obtienen. Según las proyecciones de FAO (2019) los factores que más afectarán la demanda de productos forestales son:

- Los cambios demográficos en el mundo, donde la población mundial en el año 2005 fue de 6,5 billones y la proyección para el 2020 es de 7,5 llegando a 8,2 en 2030, lo que significa un incremento de un 26,1%.
- Crecimiento económico continuo, desde US\$ 16 trillones en el año 1970 a US\$ 47 trillones en 2005 y proyectado para 2030 en US\$ 100 trillones.
- Cambios en la producción regional. Entre los años 1970 y 2005 las economías más desarrolladas aportaron la mayor parte del producto interno bruto del mundo. Esto va a cambiar significativamente por el crecimiento de los países en desarrollo, especialmente del Asia.
- Nuevas políticas y regulaciones ambientales harán que más bosques serán excluidos de la producción maderera.
- Políticas de energía fomentarán el uso de biomasa, incluyendo la madera.
- Otros factores que incidirán en la producción maderera son la baja de cosechas en bosques naturales y la aparición de plantaciones forestales como el mayor recurso para abastecer la demanda de madera. También incidirán los desarrollos tecnológicos, el incremento de la productividad de las plantaciones forestales mediante el mejoramiento genético, la reducción de demanda con la ayuda del reciclaje, la mayor recuperación, el mayor uso de productos compuestos y la producción de combustibles biológicos.

Frente a un escenario de demanda creciente de productos forestales en el mundo Chile

tiene la opción de tomar o dejar la oportunidad de ser parte de la oferta sobre la base de bosques manejados sustentablemente. Debe tenerse presente que en el año 1950 el volumen de madera que requería el mundo era provisto prácticamente en su totalidad por los bosques nativos, pero esto cambia drásticamente por cuanto se estima que al año 2050 entre el 75 y el 80% de la demanda industrial de madera provendrá de plantaciones (Sohngen *et al.*, 1999).

Se ofrecen dos macro opciones para cumplir con este fin y consisten en aumentar la superficie de árboles plantados en terrenos desprovistos de estos y en realizar silvicultura en los bosques nativos más atractivos para lograr madera de alta calidad junto a la biodiversidad ecosistémica y la protección de los suelos.

2.2. Bosques Plantados

2.2.1. Aumento de la Superficie de Bosques Plantados

Chile sufrió deforestación masiva durante la época de la colonia, con gran intensidad durante el siglo 19 y hasta la primera mitad del siglo 20. En la zona norte era la necesidad de biomasa para la minería que llevó en la región de Coquimbo hasta el descepado de los árboles y en la zona sur a roces a fuego intensos para habilitar terrenos para la ganadería y agricultura. Detallados relatos sobre lo sucedido y la dramática pérdida de suelos por erosión se encuentran en la literatura (Ovalle, 1646; Rosales, 1674; Molina, 1810; Gay, 1838; Olivares, 1864; Pérez Rosales, 1886; González de Nájera, 1889; Martin, 1923; Elizalde, 1958; Trivelli, 1970; Hartwig, 1986; Otero, 2006; Grosse, 2009).

Pese a que Chile forestó cerca de 180 mil hectáreas hasta el año 1950 (Cerdeña *et al.*, 1992) y llegó a completar cerca de 2,5 millones de hectáreas en el año 2016 (INFOR, 2019), existe una superficie de cerca de 2,6 millones de hectáreas que continúa bajo procesos de erosión y que sería forestable (Beltrán, 2013). La mayor superficie forestable se encuentra en la región de Aysén con un 26%, seguida por La Araucanía con un 20,9% y Bio Bio con un 15,6% (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
SUPERFICIE POTENCIALMENTE FORESTABLE

Región	Superficie Potencialmente Forestable	
	(ha)	(%)
O'Higgins	288.261	11,0
Maule	294.152	11,2
Bio Bio	410.536	15,6
La Araucanía	550.271	20,9
Los Ríos	65.693	2,5
Los Lagos	338.342	12,9
Aysén	683.055	26,0
Total	2.630.310	100,0

(Fuente: Beltran, 2013)

De esta superficie, se estima que al menos 500 mil hectáreas se podrían forestar con el doble propósito de detener la erosión y a su vez generar volumen productivo según lo propuesto por el Consejo de Política Forestal⁴. Los terrenos se encuentran en manos de pequeños y medianos propietarios, para los cuales la forestación sería una alternativa interesante para su

⁴ <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/consejo-de-politica-forestal/>

desarrollo al igual que para la pyme maderera con más de 1.000 instalaciones⁵. Las alternativas para los propietarios varían desde bosques con un énfasis en producción de madera de alta calidad, con clara opción de uso para la construcción en madera, hasta la opción de cubierta permanente, considerando siempre la producción en paralelo de productos forestales no madereros y la protección del suelo. Para todas las opciones es preciso contar con incentivos estatales que permitan el establecimiento, el manejo y la mantención de las plantaciones. La especie a elegir dependerá del sitio en particular, es decir, del conjunto de factores edáficos, climáticos y bióticos, siendo en la mayoría de los casos las precipitaciones medias anuales el aspecto más condicionante para el éxito.

Si se pretende obtener crecimientos acelerados habrá que optar en suelos empobrecidos y dependiendo de la zona geográfica por especies pioneras, capaces de instalarse en lugares abiertos sin protección alguna. Entre estas se encuentran principalmente pino radiata (*Pinus radiata*), eucaliptos (*Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens* y otros), pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*), pino ponderosa (*Pinus ponderosa*), álamos (*Populus spp*) y acacias (*Acacia spp*) (Prado *et al.*, 1986; Prado y Barros, 1989).

En suelos con poco o sin deterioro, como praderas en desuso desde el sur de la región del Bio Bio a Los Lagos, con períodos estivales con sequías de corta duración, se podría plantar también raulí (*Nothofagus alpina*), roble (*Nothofagus obliqua*) e híbridos roble x raulí, entre otras especies. Para tener éxito con las especies nativas nombradas se debe optar por técnicas de plantación intensivas para luego continuar con silvicultura temprana (Tuley, 1989; Grosse *et al.*, 1991; Grosse *et al.*, 1993; Grosse y Pincheira, 1998; Grosse, 2009; Ríos, 2008; Mujica, 1997). Todas las especies mencionadas, en plantaciones bajo silvicultura intensiva, culminan su crecimiento anual corriente cerca o antes de los 10 a 12 años, por lo cual se las puede calificar de rotación corta (25 a 35 años).

Además de los aspectos técnicos que se deben tener en cuenta para elegir una determinada especie, es muy importante considerar los aspectos económicos asociados a la logística de preparación del terreno para plantar, la disponibilidad de material genético adaptado a dichas condiciones, la existencia de caminos (accesibilidad) y las distancias a centros de consumo (industrias existentes y potenciales que se puedan desarrollar en el futuro). Se debe tener en cuenta también que las principales especies introducidas, como pino radiata y eucaliptos, han sido sometidas a procesos de mejoramiento genético que las hacen ser muy atractivas en los procesos industriales (rendimientos mayores en fábrica), aspecto que impacta en el precio final de los productos derivados del bosque.

Pinus radiata

Especie ampliamente plantada en Chile, Nueva Zelanda, Australia y en el norte de España. Como parte de sus principales características destaca su rápido crecimiento, buena forma, adaptabilidad a una amplia variedad de sitios, propiedades de la madera que le han permitido posicionarse en los mercados mundiales en una diversidad de productos. En Chile se la planta desde la zona de Valparaíso hasta la zona de Puerto Montt. Se la ha empleado como la especie para neutralizar el avance de las dunas, detener procesos erosivos, reincorporar a la producción terrenos completamente degradados por la agricultura y también aquellos con tantas limitantes para el crecimiento como lo son los arenales de la región del Bio Bio. Es una especie fácil de producir in vivo, se ha logrado un desarrollo genético que permite disponer de las mejores combinaciones genéticas para las distintas condiciones de sitio y hay esquemas de manejo silvícola conocidos para las distintas opciones de producción en rotaciones de 20 a 24 años.

⁵ <https://wef.infor.cl/>

Eucalyptus globulus

Esta especie fue la segunda especie más plantada en Chile hasta hace una década, ello especialmente por las extraordinarias propiedades de su madera y por su capacidad de rebrotación luego de la cosecha. Su madera es por lejos la preferida para producción de celulosa de fibra corta, razón por la cual desde Chile se inició la exportación de astillas de esta especie a los mercados asiáticos hace ya casi 30 años.

Prospera en una amplia variedad de sitios desde la región de Valparaíso a la región de Los Lagos, con los mejores resultados en las zonas más costeras. Su poca tolerancia a las heladas es su principal limitante y en la última década también ha sufrido problemas por algunos insectos y hongos, todo lo cual ha llevado a disminuir su participación en los programas de forestación.

Se dispone de amplios conocimientos para su establecimiento, con material genético desarrollado para condiciones de sitio específicas en que sigue siendo una especie interesante (evitando secano central), con rotaciones de 11 a 13 años.

Eucalyptus nitens

Eucalyptus nitens es actualmente la segunda especie más plantada, superando a *Eucalyptus globulus*. Se caracteriza por su rápido crecimiento, buena forma, tolerancia al frío y buena sanidad, destacando con extraordinarios desempeños en la precordillera de Los Andes y zonas con menores temperaturas, pero con buenos regímenes pluviométricos, por ello se la planta masivamente desde la región del Bio Bio hasta la provincia de Llanquihue.

Sus principales limitantes radican en las propiedades de su madera, que presenta tensiones de crecimiento, que dificultan su uso en productos de madera sólida, y su menor densidad y rendimiento pulpable. Se ha intentado compensar esto aumentando su período de rotación a 15 - 16 años.

Eucalyptus globulus* x *Eucalyptus nitens

Híbrido resultante del cruzamiento entre estas dos especies. Durante los últimos 17 años se ha realizado una muy importante inversión en investigación y desarrollo para lograr generar estos híbridos. Se logra reunir las mejores características de *E. nitens*, en materia de crecimiento y tolerancia a frío, y las mejores propiedades de madera de *E. globulus*, en cuanto a densidad y rendimiento pulpable.

Estos híbridos mejoran la rentabilidad de la inversión forestal en forma muy significativa, dependiendo del tipo de suelo, las condiciones de clima y la distancia a las industrias. La rentabilidad puede estar un 50% sobre la de *E. nitens*.

Recientemente, en el marco de la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal, se ha realizado un convenio entre la empresa privada que dispone de este material, la Cooperativa y 6 viveros forestales, para poner a disposición de cualquier forestador chileno este valioso material.

Desde un punto de vista de captura de carbono resulta muy atractiva esta alternativa, por cuanto capta el volumen de *E. nitens*, pero una mayor cantidad de madera en dicho volumen por cuanto tiene la densidad de *E. globulus*.

***Nothofagus alpina* y *Nothofagus obliqua* x *Nothofagus alpina* (RoRa)**

Raulí, roble e híbridos de roble y raulí. Durante los últimos 30 años mucho se ha planteado la necesidad de diversificación de la producción forestal, pero pocas alternativas reales existen con especies nativas. Resultados de investigación de los últimos 15 años (Donoso *et al.*, 1990) muestran a raulí como una especie de real potencial. Ello también se refuerza con las únicas plantaciones de raulí realizadas con silvicultura intensiva en la zona de Panguipulli, que actualmente tienen 17 años, con árboles de 25 a 32 cm de diámetro que demuestran el potencial existente.

Un problema de la especie es su escasa e irregular producción de semillas, que dificulta una producción sostenida de plantas y a costos razonables. Sin embargo, en un reciente proyecto, iniciado el año 2011 en la Universidad Austral de Chile, se pudo desarrollar un sistema de reproducción vegetativa que permite que el costo de las plantas pueda ser similar al de las especies introducidas (pino radiata o eucaliptos).

Está debidamente documentado que los híbridos son una excelente alternativa como método de mejoramiento genético por cuanto permiten lograr genotipos que combinan las mejores características de las especies progenitoras (hibridación combinatoria). Expertos manifiestan que los híbridos naturales entre las especies del género *Nothofagus* son bastante comunes, siendo muy interesantes los híbridos entre roble y raulí, tanto desde el punto de vista productivo como adaptativo (crecimiento y calidad de madera de raulí, crecimiento y adaptabilidad a diversos sitios de roble), como también desde el punto de vista de aporte a la variabilidad.

El proceso de hibridación natural puede producir combinaciones genéticas que superen la baja diversidad genética de las poblaciones expuestas a condiciones de estrés o que se encuentran sujetas a un rápido cambio de las condiciones climáticas. Por lo tanto, la hibridación debiera ser, en general, considerada como un importante proceso evolutivo y las poblaciones híbridas no debieran ser ignoradas como fuente potencial para la restauración de los bosques (Frascaria-Lacoste *et al.*, 2011).

Las posibilidades de lograr híbridos que, manteniendo las características madereras de *N. alpina*, sean capaces de desarrollarse en una mayor variedad de ambientes son promisorias (Donoso *et al.*, 1990). Teniendo en cuenta estos antecedentes y otros, desde hace tres años en la Universidad Austral de Chile se está trabajando en dos proyectos para desarrollar híbridos RoRa, ello tanto utilizando colectas de híbridos naturales como también realizando cruzamientos controlados entre ambas especies.

Lo señalado, tanto de raulí como especie pura y del híbrido RoRa, podrá ser de uso masivo real en la medida que existan los recursos requeridos para la investigación y el desarrollo necesario para generar plantas de buena calidad genética, con varias poblaciones que permitan cubrir distintas zonas geográficas y para evaluar las distintas opciones de manejo y utilización industrial.

Paralelamente, es fundamental disponer de los incentivos correspondientes para que los propietarios tomen la decisión de forestar con estas alternativas nativas, como la única forma de escalar los niveles de forestación que permitan en el futuro generar una industria asociada a estas especies.

Es clave que la silvicultura que se aplique a estas plantaciones nativas sea intensiva, procurando obtener los mismos atributos de rendimiento y uniformidad que se buscan con las especies introducidas, de lo contrario no serán una realidad en el mercado de la madera en el futuro.

En síntesis, existen oportunidades reales probadas y validadas con las principales especies introducidas (*Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus x Eucalyptus nitens*), más dos opciones de especies nativas con potencial real (roble, raulí e híbrido roble x raulí), que deben ser usadas teniendo en cuenta criterios eminentemente técnicos que darán sustentabilidad a las inversiones asociadas al uso de cualquiera de esas opciones. Al mismo tiempo debe generarse un decidido programa de recuperación y manejo del bosque nativo que tenga vocación productiva.

2.2.2. Bosques Plantados, Sustentabilidad y Cambio Climático

Los bosques plantados, o plantaciones forestales, establecidos y manejados sustentablemente, pueden cumplir un importante rol en la mitigación del cambio climático, ya sea complementando un rol principal de producción maderera o siendo utilizados con fines principalmente ambientales, entre estos como sumideros permanentes de carbono.

Es importante notar que cuando se pretende formar bosques nativos, en buena parte de los casos el proceso parte por una plantación con especies nativas o generándolos mediante la promoción de la regeneración, natural o asistida, la cual, en su primera fase, que puede tomar muchos años, se comporta como cualquier bosque plantado.

Debido a que la captura de carbono está directamente relacionada con la fotosíntesis y por lo tanto con la capacidad de generación de biomasa, las plantaciones de especies de rápido crecimiento (en la mayoría de los casos exóticas) presentarán mayores capturas anuales que los bosques nativos (Cuadro N° 5). Si se las dejara crecer como sumideros permanentes, al llegar al equilibrio finalmente alcanzarían un *stock* capturado similar a los bosques nativos en un sitio también similar, pero llegarían a este equilibrio en un plazo considerablemente más corto.

En su etapa de senectud y desmoronamiento, estos bosques plantados con fines de conservación, pueden dar paso de manera natural a un bosque de especies nativas a partir de las especies tolerantes que se encuentran en el sotobosque. Esta estrategia ha sido probada en Nueva Zelanda a partir de bosques de pino radiata.

En la mayoría de los casos, las plantaciones forestales se establecen con el propósito de producir madera. En estos casos, cuando alcanzan su rotación comercial, son cosechadas y una parte del carbono que almacenaron se emite a la atmósfera y otra parte queda capturada por un período largo en los productos, como construcciones, muebles y otros. También existe una fracción del carbono que queda fijada permanentemente en el suelo.

Para efectos de evaluar su captura de carbono, se considera que una masa de plantaciones con objetivo productivo, que se encuentra en régimen la cosecha y esta iguala la reforestación, presenta una captura incremental anual marginal a nula. Sin embargo, esa masa forestal puede contener un alto nivel de *stock* de carbono secuestrado a lo largo de los años, antes de llegar al equilibrio. (Figura N° 2).

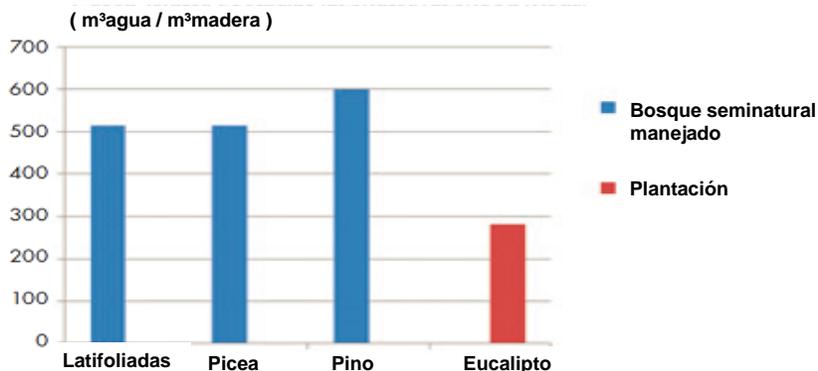
Iniciativas que expandan la superficie de plantaciones por sobre el nivel actual (una ley de fomento, por ejemplo), promoverán capturas de carbono incrementales a tasas altas (Cuadro N° 6) mientras se van estableciendo las nuevas plantaciones. Una vez que estas lleguen nuevamente al equilibrio entre plantación y corta, se tendrá un nivel de *stock* de carbono capturado más alto que el actual, pero se reducirán o harán nulas nuevamente las capturas adicionales anuales.

Las plantaciones forestales han sido controvertidas y se las critica señalando que usan demasiada agua y tienen impactos negativos en el ciclo hidrológico, que almacenan menos *stock* de carbono que los bosques nativos, que contribuyen a la erosión, que favorecen la ocurrencia de incendios forestales y que empobrecen los territorios en que se encuentran. Existen, sin embargo,

elementos fundados que permiten formarse una opinión más balanceada.

El uso de agua en los bosques tiende a ser proporcional a la biomasa que generan. Al ser más productivas de biomasa que otros bosques, las plantaciones en general deberían utilizar más agua que los bosques naturales por unidad de superficie,

Sin embargo, el aspecto clave es cuánta agua utilizan por unidad de madera producida, donde se tiene la situación inversa (Figura N° 1). También es necesario analizar el uso de agua por tonelada de CO₂ capturada, ya que, al ser proporcional a la biomasa, las plantaciones de rápido crecimiento deberían tener una eficiencia similar de uso de agua al capturar CO₂ que la que tienen para la producción de madera.



(Fuente: Modificado de UPM-Kymenne, 2011)

Figura N° 1
HUELLA AGUA VERDE POR MADERA PRODUCIDA

El análisis del uso del agua es complejo y la comparación entre ambos tipos de bosques varía según el tipo de cuenca (grande o pequeña), la época del año, las edades de los bosques nativos y plantados, teniéndose conclusiones variables para ambos tipos de bosques (Prado, 2015, en base a Bren y Hopmans, 2007), (Otero *et al.*, 1994), (Pizarro *et al.*, 2019).

La mayoría de los estudios que se citan para fundar la noción de que las superficies de bosques nativos mantienen más *stock* de carbono que las plantaciones (Armesto *et al.*, 2009; Keith *et al.*, 2009; Stolpe *et al.*, 2010; Urrutia Jalabert *et al.*, 2015), son utilizados comparando bosques nativos longevos en equilibrio con plantaciones que no han alcanzado dicho equilibrio, algunas en la mitad de su ciclo de vida. No hay evidencia concluyente para pensar que sitios similares en equilibrio produzcan muy distinto volumen de biomasa entre distintos bosques.

Los bosques plantados han sido la gran herramienta para combatir la erosión, particularmente en terrenos degradados por la agricultura. Fueron la respuesta, desde el tiempo de Federico Albert, para este flagelo. Más del 90% de ellas se establecieron en terrenos con distintos grados de erosión en Chile.

Existe evidencia que un suelo bajo plantaciones de pino radiata presenta mejores condiciones que un suelo vecino de uso agrícola y que los rendimientos agrícolas (trigo) sobre suelos cosechados de pino radiata no presentan disminuciones (Toro, 2008).

La biomasa producida por los bosques de todo tipo es combustible. Alrededor de 50% de la madera del mundo se usa para energía. Así, es razonable pensar que las plantaciones desarrolladas para producir alto volumen de biomasa por hectárea, conllevan un riesgo mayor de incendios que bosques de menor volumen o con estructuras más heterogéneas.

Sin embargo, las diferencias entre bosques no son tan sustanciales, existen especies nativas, como avellano, laurel u olivillo (Peña, 2014), más combustibles que especies industriales, como eucaliptos. De hecho, en Chile, en los últimos 34 años del promedio de las superficies incendiadas, incluyendo los grandes siniestros del 2017, solamente un 28,1% corresponde a plantaciones y el resto a vegetación natural y bosques nativos (CONAF, 2019).

En los grandes incendios del Amazonas (agosto - septiembre 2019), varios millones de hectáreas en Brasil, Bolivia y Paraguay, la presencia de plantaciones es muy poco significativa, siendo la mayoría de los bosques quemados correspondientes a selva húmeda.

Los riesgos de incendio se pueden gestionar en las plantaciones mediante silvicultura preventiva y políticas adecuadas de prevención.

La industria forestal basada en bosques plantados es un importante generador de actividad económica y empleo a nivel nacional, y especialmente a nivel de las regiones forestales. Está entre los diez sectores de mayor efecto multiplicador en la economía, superando a la construcción y al comercio, y las comunas más forestales han reducido la pobreza a tasas similares a las agrícolas en los últimos 30 años (UNTEC - Universidad de Chile, 2014; Centro EARTH Universidad Adolfo Ibáñez, 2017).

En un estudio sociológico desarrollado por Nazif y Cabañas (2014) se demostró que campesinos y miembros de comunidades no vinculan pobreza rural con plantaciones forestales.

2.3. Bosque Nativo

2.3.1. Manejo de Bosque Nativo

El manejo del bosque nativo chileno a gran escala es aún una tarea pendiente y tiene buen pronóstico dados los muchos antecedentes científicos y prácticos que orientan para su éxito.

En la actualidad las intervenciones se han concentrado básicamente en fragmentos de los bosques de crecimiento secundario (renovales) de los tipos forestales Roble-Rauli-Coigue (1,65 millones de hectáreas) y Coigue-Rauli-Tepa (0,85 millones de hectáreas), a través de raleos, y en los bosques del tipo Lengua (3,63 millones de hectáreas), a través de cortas de protección. Existen otros tipos forestales, como el Siempreverde y el Esclerófilo, con potencial de desarrollo.

La condición de crecimiento secundario tiene su origen en la masiva regeneración en monte bajo (brotes de tocón) y monte alto (semilla) después de los grandes incendios que arrasaron gran parte de los bosques primarios de las cordilleras de Los Andes y de La Costa. Actualmente su estrato superior se conforma predominantemente por las especies del género *Nothofagus* y el inferior por especies arbóreas tolerantes, dando origen a bosques multispecíficos con dos marcados estratos bastante coetáneos.

Estos bosques, por las condiciones edafoclimáticas donde se ubican, presentan un gran potencial de crecimiento, siempre y cuando se los maneje desde edad temprana. Esto debiera hacerse intensamente entre los cinco y 20 años (podas y raleos) y posteriormente con raleos más suaves hasta llegar al diámetro objetivo para su cosecha (35 a 55 cm).

Un ejemplo de situación, donde se podrían implementar cortas de regeneración en el corto plazo para iniciar un manejo temprano con selección de árboles futuro y podas que apunten a la producción de maderas finas de alta calidad, se da en más de 800 mil hectáreas de renovales

del tipo forestal Roble-Rauli-Coigue (Cuadro N° 2).

Sin embargo, las avanzadas edades de estos dificultan respuestas significativas a los raleos, por lo cual se debe optar por la creación de un nuevo bosque intervenido con silvicultura oportuna. Los diámetros promedio de los árboles de estos rodales permiten obtener una cierta porción de trozas aserrables, lo que ayudaría a financiar las intervenciones de regeneración y cosecha que deben generar un bosque rejuvenecido y modelado tempranamente por la silvicultura.

En el caso de los bosques de lenga, las cortas que se están realizando abren espacios donde masivamente regenera la especie, entregando la posibilidad de intervenciones tempranas en unas 700 mil hectáreas de bosque adulto (Martin *et al.*, 2014), que apuntan a obtener árboles más sanos que en la generación anterior y así un aumento en su aprovechamiento potencial.

**Cuadro N° 2
SUPERFICIE POTENCIALMENTE APTA PARA CORTAS DE REGENERACION
EN TIPO FORESTAL ROBLE-RAULI-COIGUE**

REGION	Superficie (ha)				
	DMC > 50 cm	DMC ≤ 15 cm	DMC 15 a 25 cm	DMC > 25 cm	Total
Maule	6.532	1.331	49.700	29.967	87.530
Bio Bio / Ñuble	9.799	4.606	210.397	64.300	289.102
Araucanía	4.682	12.615	169.779	25.386	212.462
Los Ríos	2.899	15.513	119.060	8.010	145.482
Los Lagos	5.225	13.047	121.376	12.500	152.148
Total	29.137	47.112	670.312	140.163	886.724

DMC: Diámetro medio cuadrático

(Fuente: INFOR, 2018)

2.3.2. Sustentabilidad del Bosque Nativo con y sin Producción Maderera

El manejo sustentable del bosque nativo se fundamenta en tres pilares, que son el económico, el social y el ambiental. Tres funciones clave que le entregan al bosque un valor para la sociedad desde la perspectiva de la producción maderera y los servicios ambientales.

Para los propietarios, la puesta en valor del recurso a través de la silvicultura implica poder vender sus productos a precios que permitan dar continuidad al manejo en el largo plazo. Les permite también apreciar que el aprovechamiento de su recurso cumpliendo con los altos estándares ambientales que la Ley de Recuperación del Bosque Nativo exige es una actividad económica atractiva y lleva a proteger el bosque y asegurar su existencia.

Manejar el bosque para entregar exclusivamente servicios ambientales solo se hace factible cuando la sociedad está dispuesta a pagar por esto. En Chile existe hasta el momento un solo ejemplo de esto, impulsado por INFOR, donde se han activado instituciones dispuestas a este pago para garantizar la calidad del agua en la cuenca de Ancud. Se podría decir que es un primer paso, aunque dista bastante de un pago organizado a través de los consumidores directos.

Para que el pago por servicios ambientales se instale masivamente en la sociedad aún falta bastante por hacer para su convencimiento, más aún cuando en la sociedad existen una serie de otras necesidades insatisfechas, tales como salud, previsión, educación, vivienda, infraestructura caminera y otras.

Sustentabilidad

Después de severas destrucciones de bosques en el centro de Europa ya en el siglo 18 y, en consecuencia, de la falta de materia prima, se inician los primeros pasos para el manejo sustentable de los bosques.

Se reconoce a Hans Carl von Carlowitz como el fundador en el año 1713 del principio de la "sustentabilidad" descrito en su obra "Sylvicultura Oeconomica", donde define que no se debe cosechar más de lo que se obtiene a través del crecimiento que se logra por regeneración planificada⁶. El científico forestal Georg Ludwig Hartig publica en 1791 los instructivos para una silvicultura sustentable⁷. Sería entonces Carlowitz y Hartig los fundadores del concepto "Nachhaltigkeit", que se puede traducir como "sustentabilidad" y que nace como el principio para el manejo forestal.

Este concepto se fundamenta en tres pilares, que son el económico, el social y el ambiental. Para que estos funcionen los bosques deben ser estables frente a factores internos, como pueden ser plagas, y externos, como son los temporales, sequías y otros.

Para poder dar esta estabilidad se ofrece la silvicultura como la herramienta que da garantía para que los bosques puedan mantener sus funciones en el largo plazo. Se debe entender entonces que la sustentabilidad de los bosques es la base de la ingeniería forestal.

2.3.3. Contribución del Bosque Nativo al Medio Ambiente Local y Global, Servicios Ecosistémicos

El bosque nativo históricamente fue el pilar de la producción maderera. Durante la primera mitad del siglo 20, y hasta mediados de ese siglo explotaciones sin criterio de manejo sustentable y grandes roces para habilitar terrenos agropecuarios mermaron significativamente las reservas madereras de estos bosques. Esto no significa que su potencialidad haya desaparecido, por lo cual existe la Ley de Recuperación del Bosque Nativo, cuya función es justamente recuperar lo perdido a través de esquemas de manejo sustentables, ayudados por incentivos estatales. Sin embargo, los bajos montos disponibles para las distintas actividades de manejo han llevado a un bajo impacto de la ley, por lo cual se está trabajando en una nueva propuesta que considere costos realistas que permita efectivamente lograr el objetivo.

El manejo sustentable, que es el principio de la ley, debe incluir los servicios ecosistémicos como parte fundamental, entendiendo que consisten de la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad⁸, haciendo posible la vida humana, por ejemplo al proporcionar alimentos y agua limpia, al regular las enfermedades y el clima, al apoyar la polinización de los cultivos y la formación de suelos, y al ofrecer beneficios recreativos, culturales y espirituales.

Los servicios ambientales pueden ser clasificados en grupos que resumen las principales funciones ecosistémicas (Villalobos, 2007):

- Provisión: Bienes producidos o proporcionados por los ecosistemas, como alimentos, agua, combustible, fibras, recursos genéticos y medicinas naturales.

⁶ https://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/Forst-Holzwirtschaft/_texte/Carlowitz-Jahr.html

⁷ https://de.wikisource.org/wiki/Georg_Ludwig_Hartig

⁸ (<http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>)

- Regulación: Servicios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos, como la calidad del aire, regulación de clima, regulación de agua, purificación de agua, control de erosión, regulación de enfermedades humanas, control biológico, mitigación de riesgos.
- Cultural: Beneficios no materiales que enriquecen la calidad de vida, tales como la diversidad cultural, los valores religiosos y espirituales, conocimiento tradicional y formal, inspiración, valores estéticos, relaciones sociales, sentido de lugar, valores de patrimonio cultural, recreación y ecoturismo.
- Soporte: Servicios necesarios para producir todos los otros servicios, incluida la producción primaria, la formación del suelo, la producción de oxígeno, retención de suelos, polinización, provisión de hábitat, reciclaje de nutrientes, otros.

De estos grupos se pueden obtener cuatro servicios (Villalobos, 2007):

- Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (reducción, secuestro, almacenamiento).
- Protección de la calidad del agua (diferentes usos).
- Protección de la biodiversidad (uso científico, farmacéutico, mejoramiento genético).
- Protección contra desastres naturales

Existen bosques, en los que se aplica silvicultura y extracción maderera, que proveen servicios ecosistémicos y otros en los cuales no se hace extracción maderera, lo cual dependerá de las condiciones del sitio y su propósito en particular.

En Chile existe un ejemplo de pago por servicios ecosistémicos, el ya mencionado de la cuenca de abastecimiento de agua en Ancud (Cabrera, 2007; Cabrera *et al.*, 2007).

2.3.4. Bosque Nativo, Perfil de Crecimiento y Potencial de Captura de CO₂

Los bosques nativos de Chile según el Catastro Vegetacional (CONAF, CONAMA, BIRF, 2017) cubren una superficie de 14,6 millones de hectáreas, de la cual el 41,9% corresponde a bosque nativo adulto, un 31,6% a renovales, un 7,3% a bosque adulto-renoval y un 19,1% a bosques achaparrados (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3
SUPERFICIE DE BOSQUE NATIVO EN CHILE SEGÚN ESTRUCTURA

Bosque Adulto	Renoval	Adulto-Renoval	Achaparrado	Total
6.131.595	4.629.909	1.080.794	2.791.482	14.633.780

(Fuente: CONAF, CONAMA, BIRF, 2017)

El bosque nativo adulto se podría considerar en una situación que en la literatura se describe como "en equilibrio o *steady state*", lo que significa que se encuentra en una constante situación de regeneración, muerte y descomposición no existiendo crecimiento en el ecosistema en su totalidad. Este concepto teórico es bastante aceptado, existiendo variaciones dentro los sistemas dinámicos de estos bosques. Su estructura cambia en el tiempo, así como las especies durante las sucesiones, influenciado por eventos como temporales, fuego u otros (Frelich, 2016).

Para este tipo de bosques en Chile estos fenómenos están documentados para aquellos de especies de *Nothofagus* del centro sur del país (Veblen y Ashton, 1978; Veblen *et al.*, 1979; Veblen *et al.*, 1980; Veblen *et al.*, 1981).

También para los bosques de lenga en la zona austral existen numerosos estudios que permiten entender la dinámica de estos bosques (Bava, 1999; Schmidt y Urzúa, 1982; Álvarez y Grosse, 1978).

Esta situación se repite en otros bosques como son los de la selva amazónica, donde se describe para la zona central de esta el mosaico de parches en distintas etapas de la sucesión en el marco de un desarrollo en equilibrio (Chambers, *et al.*, 2012).

Si bien podría ser discutible el concepto de perfecto equilibrio sin crecimiento a nivel del bosque adulto total, se asume que la captura de carbono se contrarresta con la emisión por muerte de los individuos que caen por viejos. Lo mismo podría asumirse para los bosques achaparrados.

Distinta es la situación de los renovales, que se encuentran en una etapa donde el crecimiento de los árboles supera ampliamente al decrecimiento que se produce por la muerte de árboles que ocurre de manera esporádica. Esto a pesar de que la mayoría de los renovales, al menos los del tipo forestal Roble-Raulí-Coigue y Coigue-Raulí-Tepa, se encuentran ya fuera del rango de su crecimiento óptimo (Grosse, 2009). Para estos bosques entonces la captura de carbono marginal es positiva.

El bosque nativo adulto renoval requiere de un análisis más profundo que está pendiente. Su categorización insinúa que aún no se encuentra en una situación de equilibrio y aporta captura de carbono, ya que su crecimiento supera al decrecimiento probablemente de manera leve.

Al hacerse la pregunta respecto de cuán expandible es el área para ser plantada con árboles, el estudio de Beltrán (2013) arroja una superficie potencial de cerca de 2,6 millones de hectáreas. No obstante, para poder responder con más exactitud, se debe tener claridad a qué uso está sometida esta superficie en la actualidad y qué deterioro presenta el suelo. Lo más probable es que en la medida que no presente erosión o solo grados ligeros de ella, esté ocupada para pastoreo o agricultura extensiva, llegando al 49,8 %, lo que hace difícil que los propietarios deseen cambiar hacia el uso forestal. Del 50,2% restante (1.290.631 ha) unas 625 mil hectáreas presentan erosión moderada, 428 mil hectáreas erosión severa y 236 mil hectáreas erosión muy severa (Cuadro N° 4).

Cuadro N° 4
CATEGORIA DE EROSION POR REGION

Región	Superficie						Total	
	O'Higgins	Maule	Bío Bío Ñuble	Araucanía	Los Ríos Los Lagos	Aysén		
Categoría Erosión	(ha)						(ha)	(%)
Muy Severa	6.304	20.162	4.365	42.886	9.079	154.118	236.914	9,2
Severa	60.699	101.042	27.062	114.619	22.682	101.687	427.791	16,7
Moderada	154.883	96.781	109.653	80.247	60.611	123.751	625.926	24,4
Ligera	16.379	28.890	69.553	65.173	77.869	43.398	301.262	11,7
No Aparente	17.349	10.574	70.860	53.185	80.411	178.116	410.495	16,0
Sin	20.323	26.108	107.762	181.991	59.026	31.952	427.162	16,7
Otros Usos	11.090	10.250	18.997	7.320	19.535	49.519	116.711	4,6
Sin Clase	1.233	344	2.285	264	4.784	514	9.424	0,4
Áreas de Exclusión	-	-	-	4.585	4.479	-	9.064	0,4
Total	288.260	294.151	410.537	550.270	338.476	683.055	2.564.749	100,0

(Fuente: Modificado de Beltrán, 2013)

En la medida que el suelo está más erosionado y distante de su condición original se hace más difícil y de mayor costo la plantación exitosa con especies nativas.

Probablemente los mejores resultados potencialmente se puedan conseguir en los suelos que pudiesen estar disponibles bajo la condición de erosión moderada, en zonas de pluviometría abundante y períodos estivales de sequía corta, para especies nativas capaces de colonizar, como son raulí, roble y el híbrido entre ambas.

Estos suelos corresponden básicamente a las regiones de la Araucanía y Los Ríos/Los Lagos y sumarían unas 140 mil hectáreas, siempre y cuando los propietarios quisieran darle un uso forestal con especies nativas.

En las regiones al norte de La Araucanía y al sur de Los Ríos/Los Lagos también existe superficie potencialmente forestable con especies nativas.

Hacia el norte los períodos estivales cada vez más secos y largos dificultan y encarecen el éxito de plantaciones con especies como roble y raulí y podría requerir cambiar a algunas especies del bosque esclerófilo, como quillay, peumo, litre y otras.

Hacia el sur, en Aysén, habría que plantearse la expansión de los bosques de lenga, para lo cual la exclusión del ganado en orillas de bosque, mediante la instalación de cercos, y la plantación complementaria podría ser un método promisorio.

En situaciones de alto deterioro de suelos habría que considerar no partir por plantar árboles, sino especies vegetales de una etapa anterior de la sucesión vegetal.

En consecuencia, si bien existe una extensa superficie que requiere ser recuperada de la erosión, con cerca de 1,6 millones de hectáreas desde ligera a muy severa, se debe elegir muy bien que especie plantar de acuerdo a razones técnicas y las necesidades del propietario.

Otro factor muy importante es el costo de establecimiento, el cual a medida que las condiciones del sitio son más complejas se eleva, debido a que hacen necesarias técnicas de establecimiento más intensas, pudiendo llegar a más de 3.500 US\$/ ha.

3. CAPTURA DE CARBONO: COSTOS SOCIALES Y PRIVADOS

El objetivo planteado en Chile de lograr que el país sea carbono neutral en 2050 requerirá esfuerzos, tanto en el campo de reducción de emisiones como en el de mantener e incrementar la capacidad de captura de CO₂, y es fundamental que esta meta se logre de la forma más eficiente posible, en términos de no sacrificar la satisfacción de otras grandes necesidades de la sociedad, más allá del mínimo indispensable para obtener el resultado deseado.

Las discusiones y planteamientos hasta el momento se han centrado en consideraciones físicas, como características de crecimiento y captura de CO₂ o beneficios ambientales de determinadas especies forestales, pero es indispensable analizar las consideraciones de eficiencia socioeconómica de las distintas opciones para contribuir a generar una estrategia que sea ambiental, social y económicamente fundada y responsable.

3.1. Valorización de Alternativas Forestales de Captura de Carbono

Con el objeto de ilustrar comparativamente los niveles de costo y cantidad de CO₂ capturado para distintas alternativas de plantaciones forestales, se utilizó el modelo de cálculo del Sistema Chileno de Certificación de Manejo Forestal Sustentable (CERTFOR).

Se analizaron solamente alternativas de aumento de superficie de cobertura (forestación o regeneración), por lo que no se incluyeron alternativas de mejoramiento vía manejo de bosques existentes.

Alternativas

1. Forestación con pino radiata, régimen de producción
2. Forestación con *Eucalyptus globulus*, régimen de producción
3. Forestación con *Eucalyptus nitens*, régimen de producción
4. Forestación con pino radiata, sumidero permanente
5. Forestación con *Eucalyptus nitens*, sumidero permanente
6. Forestación con especies nativas, régimen de producción
7. Forestación con especies nativas, sumidero permanente
8. Forestación especies nativas alto rendimiento, silvicultura intensiva, régimen producción
9. Regeneración asistida especies nativas, sumidero permanente

En la Figura N° 2 se muestra un perfil simplificado de la captura de carbono de plantaciones en régimen de producción, donde se alcanza un nivel de captura de CO₂ hasta la edad de rotación y luego se mantiene en virtud de sucesivas superficies anuales que llegan a la edad de cosecha.

Este perfil representa los casos 1, 2 y 3 de plantaciones con exóticas, y el 8 de plantaciones con nativas.

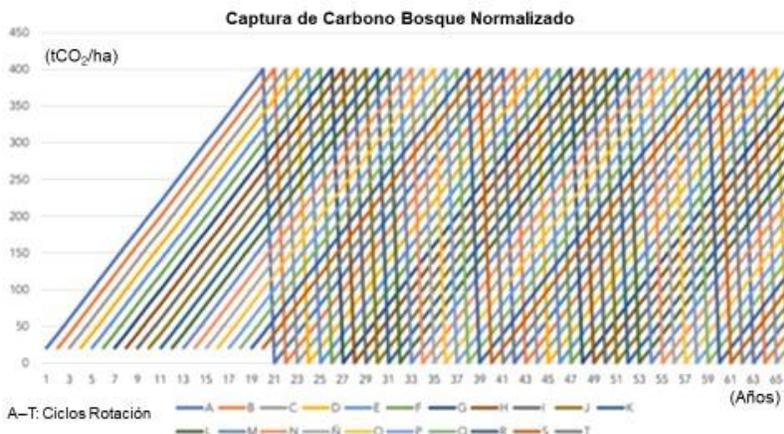


Figura N° 2
CAPTURA DE CARBONO DE PLANTACIONES EN REGIMEN

En la Figura N° 3 se muestra un perfil de plantaciones en régimen de producción caso 1 (línea punteada) y un perfil de forestación nativa como sumidero permanente, como en el caso 7.

Se aprecia que la acumulación de carbono en la forestación nativa tarda más en

incrementarse, pero luego supera el nivel de equilibrio de las plantaciones, dado que no produce madera sino solo acumula carbono. En el largo plazo, el perfil de sumidero permanente alcanza un nivel de equilibrio.

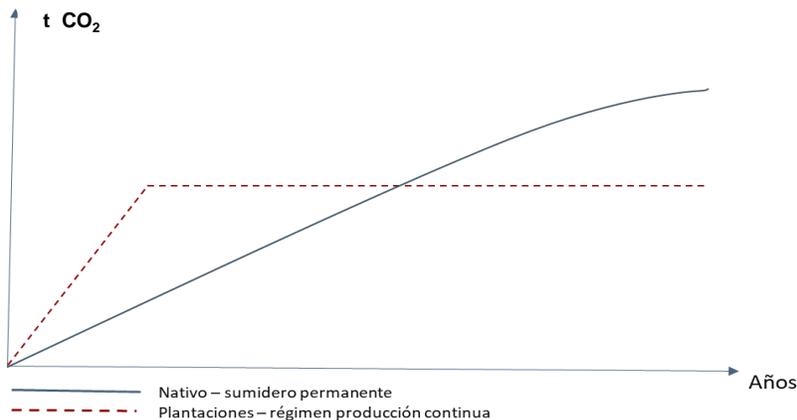


Figura N° 3
PLANTACION PINO RADIATA EN REGIMEN Y FORESTACION NATIVA SUMIDERO PERMANENTE

En la Figura N° 4 se muestra un perfil simplificado de captura de CO₂ de forestación nativa con régimen de producción parcial, caso 6, donde se extrae una fracción del volumen. Este perfil acumulará menor cantidad de CO₂ que el sumidero permanente, pero aportará producción maderera.

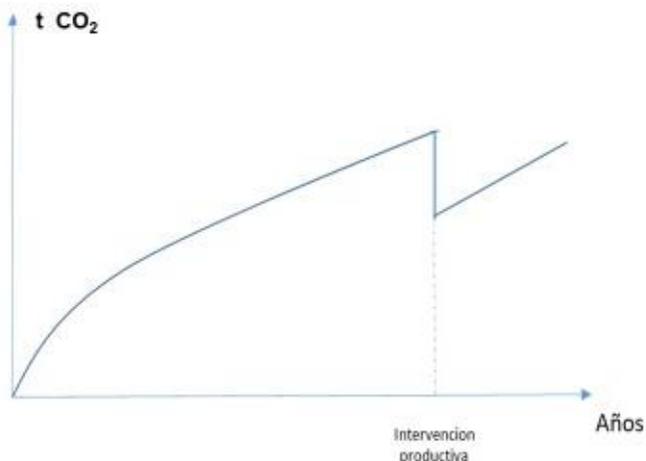


Figura N° 4
REGIMEN DE PRODUCCION PARCIAL EN PLANTACION CON ESPECIES NATIVAS

3.2. Enfoque del Análisis y Supuestos del Modelo

El objetivo del análisis es comparar el nivel de precio de la tonelada de CO₂ capturada que sería necesario para obtener una rentabilidad igual al costo social del capital (se consideró 6%), en cada alternativa analizada. Se puede asimilar a un indicador del “nivel de sacrificio” que demanda a la sociedad optar por una determinada alternativa. Los principales supuestos del modelo son:

- Horizonte de evaluación: 100 años.
- Plantaciones en régimen de producción emiten todo el carbono capturado a la cosecha, y “pagan” su valor. Se reforestan al año siguiente de la cosecha.
- Plantaciones sumidero permanente no se cosechan en el horizonte.
- Se representa el valor alternativo de la tierra a través de una anualidad (“arriendo”).
- Forestaciones con especies nativas en régimen de producción se intervienen manteniendo la cobertura, suponiendo extracción del 30% del volumen. Se consideran parámetros de Roble – Raulí – Coigue.
- Se incluye un caso de forestación nativa con silvicultura intensiva en régimen de producción con cosecha total y reforestación.
- Regeneración asistida consiste en cercar sectores aledaños a bosques nativos, excluyendo el uso ganadero, y en el establecimiento de 300 plantas/ ha.
- Parámetros de captura de CO₂ corresponden a los utilizados por INFOR en los cálculos entregados al Ministerio de Medio Ambiente.

3.3. Principales Resultados

Los principales resultados son resumidos en los Cuadros N° 5 y N° 6.

Cuadro N° 5
RESULTADOS POR ALTERNATIVA DE MANEJO

Alternativa	Resultados		Parámetros				
	Precio Mínimo	Captura Permanente	Rotación	Precio Medio Madera en Pie	Crecimiento Medio	Contenido CO ₂	Costo Establecimiento
	(US\$/tCO ₂)	(tCO ₂ /ha)	(Años)	(US\$/m ³)	(m ³ /ha/año)	(t/m ³)	(US\$/ha)
Forestación Pr reg. producción	5,8	221	22	27	15,35	1,31	1.500
Forestación Eg reg. producción	9,9	200	13	20	15,61	1,97	1.500
Forestación En reg. producción	0,0*	332	13	15	30,62	1,67	1.500
Forestación Pr sumidero permanente	11,32	1.000	100	0	15,35	1,31	1.500
Forestación En sumidero permanente	6,27	1.000	100	0	30,62	1,67	1.500
Forestación Nat reg. producción	49,4	480	40	22	4,57	1,50	3.000
Forestación Nat sumidero permanente	43,8	686	100	0	4,57	1,50	3.000
Forestación Nat producción silv. intensiva	22,7	270	30	30	12,00	1,50	3.500
Reg. Asist. Nat sumidero permanente	35,5	686	100	0	4,57	1,50	2.000

Costo social del capital: 6%

Valor del suelo: US\$ 100/año

Pr: Pino radiata

En: Eucalyptus nitens

Eg: Eucalyptus globulus

Nat: Nativas

Administración/seguros: US\$ 50/ha/año casos producción y US\$30/ha/año casos sumidero permanente

(*) Forestación En reg. Producción: Con los parámetros utilizados arroja VPN positivo con tasa de costo de capital 6%, por lo que el carbono capturado no tiene un costo adicional para la sociedad.

Cuadro N° 6
PLANTACIONES: TASA DE CAPTURA UTILIZADAS

Alternativa	Crecimiento Medio (m³/ha/año)	Contenido CO₂ (t/m³)	Captura Anual Media (tCO₂/año)
Forestación Pr	15,35	1,31	20,11
Forestación Eg	15,61	1,97	30,75
Forestación En	30,62	1,67	51,14

3.4. Comentarios

Desde el punto de vista de los costos para la sociedad por tonelada de CO₂ capturado, las plantaciones exóticas en régimen de producción muestran los valores más reducidos, donde destaca especialmente el *Eucalyptus nitens*, que es capaz de rentar el costo del capital (6% en este caso) sin requerir aporte alguno de valor del carbono. Con respecto a las especies nativas, el menor costo de captura de carbono también se logra con plantaciones manejadas intensivamente en régimen productivo y con cosecha a tala rasa.

En la discusión pública a menudo se compara plantaciones exóticas con bosque nativo en su capacidad de captura de carbono, pero asumiendo que las primeras serán cortadas para producción maderera y los segundos no. En verdad entonces, no se trata de una comparación entre especies como equivocadamente se presenta, sino entre dos regímenes distintos; producción maderera *versus* régimen de sumidero permanente. Para profundizar este análisis, se compararon los costos de captura como sumideros permanentes en plantaciones exóticas (casos 4 y 5) con forestaciones nativas (casos 7 y 9). Se puede apreciar que los costos en las primeras son considerablemente más bajos que en las segundas, lo que sustenta la idea de considerar entre las posibles medidas de mitigación la creación de sumideros permanentes de especies exóticas.

Como contraparte a sus menores costos de captura de CO₂, las plantaciones en régimen de producción (tanto especies exóticas como nativas) logran un nivel de *stock* de CO₂ retenido considerablemente inferior a las de régimen de sumidero permanente en el horizonte de evaluación (100 años). También es importante notar que, en los casos de especies nativas de crecimiento lento, estas tardarán períodos más largos en alcanzar niveles de equilibrio; para el ejercicio de cálculo desarrollado, no alcanzaron el tope de 1000 tCO₂/ha considerado en el modelo dentro del período de evaluación.

En la comparación entre los casos 6, forestación nativa convencional con régimen de producción de baja intensidad y 7) forestación nativa convencional sumidero de carbono, el análisis refleja la aparente paradoja de que la opción productiva encarece la captura de carbono respecto a la opción sumidero permanente. La razón es que el precio del carbono que se requiere en estos casos para compensar el costo social del capital es tan alto que supera con creces el posible retorno económico de la producción maderera. Al comparar ambos casos con el caso 8 (con costo de captura de CO₂ considerablemente más bajo) de forestación de especies nativas con silvicultura intensiva para usos productivos, se resalta más el fenómeno; que no es inherente a la especie sino al régimen de utilización. La conclusión parece ser que, si se deben cumplir cupos con forestaciones nativas de desarrollo lento y silvicultura tradicional, puede ser la mejor opción en términos de costo marginal de captura de carbono el régimen de sumidero permanente.

En el ámbito de las especies nativas, los menores costos de captura de CO₂ se obtienen en los casos 8 y 9. El primero, forestación con silvicultura intensiva en régimen de producción, ya se comentó previamente. El segundo se aprecia como la opción más conveniente de captura de CO₂ con este tipo de especies, y se trata de fomentar la regeneración de los bosques nativos como sumideros permanentes, excluyendo el uso ganadero en terrenos aldeaños y apoyando este proceso con el establecimiento de un número reducido de plantas por hectárea (300 en este caso).

Los factores que favorecen las forestaciones con exóticas en régimen de producción en el ámbito del costo, son su menor inversión en el establecimiento, su mayor tasa de crecimiento volumétrico y el ingreso que significa el valor comercial de la producción. Esto apunta a la conveniencia de incorporar capitales privados mediante políticas de fomento de relativamente bajo costo fiscal, incorporación que permite apalancar fuertemente los recursos fiscales desde el punto de vista del financiamiento. Del mismo modo, también se puede lograr un nivel de apalancamiento (aunque a mayor costo fiscal) en las forestaciones con especies nativas en régimen de producción.

Las fuertes diferencias de valores de costo que se obtienen del análisis refuerzan la idea de que no es adecuado fundar estrategias de captura de carbono solamente en atributos físicos de las distintas especies; es muy relevante considerar los regímenes (de producción maderera o solo captura de CO₂) de las distintas alternativas y los costos que estas pueden representar para la sociedad.

Conviene recordar que este modelamiento no considera otras externalidades positivas o negativas aparte de los parámetros explícitamente indicados, de modo que es materia de discusión el efecto de dichas externalidades en distintos sentidos, como por ejemplo uso de agua en los territorios, control de la erosión, provisión de servicios ecosistémicos, o valor socioeconómico de los encadenamientos productivos. También se debe destacar que lo aquí analizado responde a casos generales tipo y que, si bien permiten formarse una impresión de los órdenes de magnitud involucrados, queda un amplio espacio para profundizar y ampliar los análisis, ya sea en otras situaciones de régimen o precisando los parámetros de evaluación para territorios, especies o circunstancias distintas.

4. CONSTRUCCIÓN EN MADERA, RETENCIÓN DE CO₂ Y REEMPLAZO DE MATERIALES EMISORES

Cada día la construcción con madera se hace más atractiva por sus positivas características en materia de efectos ambientales, por su gran flexibilidad en los diseños, por la rapidez en el armado y el alto nivel de aislación térmica.

“La madera es el único material de construcción cuyo uso ayuda a reducir el CO₂ de la atmósfera, contribuyendo de esta manera a mitigar el cambio climático. Esto la convierte en la alternativa constructiva con la más baja huella de carbono”⁹

El arquitecto canadiense Michael Green, conocido por su sistema constructivo para rascacielos de madera, concluye que la madera es el material ideal para revertir el cambio climático y densificar las ciudades de un modo sustentable.

Green argumenta que el acero representa alrededor del 3 % de las emisiones y el hormigón más del 5%, y que para un edificio de hormigón de 20 pisos las emisiones para fabricar el cemento representan 1.200 tCO₂, mientras que con la madera se capturan unas 3.100 tCO₂¹⁰

⁹ <https://www.madera21.cl/2757-2/>:

¹⁰ https://www.clarin.com/construccion/madera-rascacielos-sustentabilidad_0_SyOeCytvQl.html).

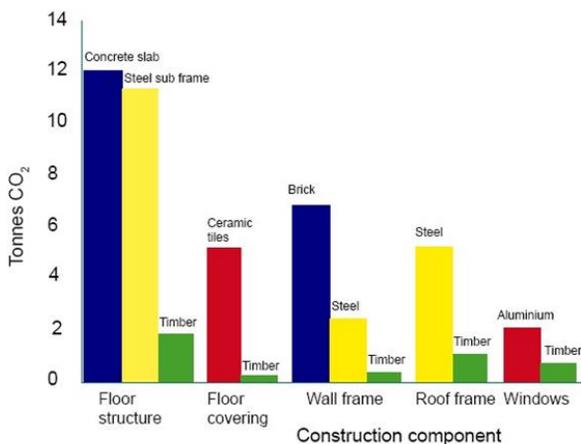
Una referencia de una publicación de la revista *Journal of Sustainable Forestry* indica que la construcción de 1 m² de piso con madera requiere un 16% (80mj) de la energía que al hacerlo con acero y un 28% si se hace con cemento. A su vez emiten un 10% de CO₂ (4kg) y un 15% de CO₂, respectivamente¹¹.

Coincidente con estas afirmaciones, también otros materiales, como ladrillos y baldosas de cerámica en la construcción, aportan significativamente más gases de efecto invernadero que el uso de madera.

Un ejemplo práctico es el edificio de cinco plantas que *House Habitat* construyó en el distrito barcelonés de Gracia, donde las emisiones de CO₂ resultantes de la fabricación de la estructura de madera fueron cinco veces más bajas que si se hubiera realizado en hormigón, y ocho que en acero, reconociéndose que además la madera es un aislante térmico mucho más eficiente que el hormigón y el acero¹².

Por lo visto anteriormente, fomentar la construcción en madera puede ser una política de alto impacto en la mitigación del cambio climático, tanto por el secuestro de carbono por largos períodos como por el efecto del reemplazo de otros materiales de construcción cuyos procesamientos son altamente emisores de gases de efecto invernadero.

Las políticas forestales que busquen tener impacto de mitigación de cambio climático deben entonces preocuparse no solo de la captura de carbono, sino también de la producción ecoeficiente de madera, para sustentar una creciente participación de este material en la construcción. Por lo anterior, deben combinarse soluciones forestales tipo sumidero con soluciones mixtas que consideren producción sostenible.



(Fuente: CRC For Greenhouse Accounting¹³)

Figura N° 5
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE LOS FABRICANTES DE LOS
DIFERENTES COMPONENTES DE LA CONSTRUCCIÓN EN UNA CASA DE FAMILIA

¹¹ <https://blogs.funiber.org/medio-ambiente/2014/08/21/construir-con-madera-reduciria-las-emisiones-de-co2>

¹² (<http://www.ecohabitar.org/madera-en-construccion-material-unico/>).

¹³ <http://www.aeim.org/index.php/madera-natura-renovable/>

5. COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

El sector forestal puede constituir un aporte importante al logro de la meta de carbono neutralidad del país para el año 2050 por la vía de la captura de carbono y la reducción de emisiones.

El enfoque de políticas públicas sectoriales no debe abandonar el concepto del desarrollo sustentable, lo que significa tomar en cuenta tanto las implicancias ambientales como las sociales y económicas de las posibles estrategias. En particular, es importante considerar las relaciones costo-beneficio de estas para lograr las metas deseadas sin someter a la sociedad a sacrificios excesivos e innecesarios.

No es correcto comparar plantaciones exóticas con bosque nativo en su capacidad de captura de carbono, asumiendo que las primeras serán cortadas para producción maderera y los segundos no. Lo que se está haciendo en este caso es comparar entre dos regímenes distintos; producción maderera versus régimen de sumidero permanente. Las comparaciones deben realizarse para ambos casos en régimen similar; exóticas versus nativas en régimen de producción y similar comparación para ambas como sumidero permanente.

Bajo los supuestos de análisis en este estudio y comparando regímenes similares, el carbono capturado por forestaciones de rápido crecimiento tiene un costo significativamente menor que las forestaciones con especies nativas, tanto en régimen de producción como en régimen de sumidero permanente.

Tampoco es correcto que solo se realice una comparación del carbono capturado, debe incluirse en la ecuación el carbono que se deja de emitir cuando se reemplazan materiales, como plásticos, acero, cemento y otros, por madera y sus derivados

Si bien en los regímenes de producción (especies exóticas y nativas con silvicultura intensiva) se puede capturar CO₂ a costos inferiores que en los de sumidero permanente, en estos últimos se logra una mayor acumulación por unidad de superficie.

Reconociendo que existen preferencias en sectores de la sociedad por algunos tipos de especies en relación a otras, concretamente nativas respecto a exóticas, no existen elementos basados en la ciencia que permitan descartar el uso de especies introducidas si se toman las precauciones de realizar una silvicultura adecuada. Los elementos que más se debaten, son el uso del agua y la mayor concentración y continuidad de biomasa por parte de las plantaciones forestales, por su riesgo de incendios. En el primer caso, el uso de agua tiene directa relación con la producción de biomasa y, consecuentemente, con la captura de CO₂, por lo que no solo debe analizarse la utilización de este recurso por hectárea, sino por tonelada producida de biomasa y tonelada capturada de CO₂, lo que conduciría a conclusiones distintas. También debe considerarse la realidad de la pluviosidad de cada territorio para determinar la aptitud de acoger plantaciones de rápido crecimiento, pues en muchas situaciones esta realidad las permite sin dificultad. En el segundo caso, y como se ha podido apreciar en los grandes incendios de agosto y septiembre de 2019 en Brasil, Paraguay y Bolivia, las especies nativas no garantizan en ninguna circunstancia evitar siniestros catastróficos y en cualquier estrategia deben cumplirse prácticas adecuadas de silvicultura preventiva.

Las distintas especies y tipos de bosque permiten generar opciones de forestación para una diversidad de situaciones, territorios y condiciones de suelo y clima. Las especies nativas, muy valoradas por la sociedad por su potencial de constituir bosques diversos y su aporte de servicios ecosistémicos, requieren inversiones relativamente más altas, capturan carbono a mayor costo y no pueden ser establecidas en cualquier territorio o condición de suelo y clima. En base al análisis realizado, las opciones de regeneración

asistida y de forestación con silvicultura intensiva y régimen de producción resultan ser las más costo-eficientes para estas especies. Las especies de rápido crecimiento, en tanto, pueden constituir soluciones funcionales para terrenos degradados y en procesos de erosión, así como para determinados climas, y si bien son menos valoradas por la sociedad en sus aspectos ambientales logran capturar carbono a menor costo, pueden establecerse en terrenos degradados, requieren menores inversiones y permiten encadenar actividades productivas en los territorios. El análisis realizado muestra que estas especies pueden efectuar también un aporte interesante bajo régimen de sumidero permanente, capturando y almacenando altos niveles de carbono a costos relativamente bajos para la sociedad.

Aunque en este trabajo solo se valorizaron las opciones que incrementan la superficie boscosa, a través de forestación o regeneración asistida, existe un amplio consenso en el ámbito de la ingeniería forestal sobre la conveniencia del manejo de los bosques nativos existentes que sean aptos para ello, para revertir situaciones de degradación y/o incrementar el potencial productivo y el valor para sus propietarios. Este último aspecto favorece tanto la conservación como la generación de empleos y cadenas productivas a escala local.

Debido al gran impacto de sustitución de materiales constructivos emisores y secuestro de carbono de la construcción en madera, las políticas forestales debieran no solo preocuparse de la captura de carbono, sino también de la producción ecoeficiente de madera, para sustentar una creciente participación de este material en la construcción. Por lo anterior, deben combinarse soluciones forestales tipo sumidero con soluciones mixtas que consideren producción sostenible.

La gran mayoría de los terrenos disponibles para forestación presentan significativos niveles de erosión, lo que dificulta y encarece el establecimiento de bosques de especies nativas. Limitar la estrategia de forestación solo a dichas especies reduciría sustancialmente el universo de superficie forestable. Para algunos de estos casos, puede ser útil considerar una primera fase con especies colonizadoras que permitan avanzar hacia una recuperación de superficies de especies nativas.

La gran mayoría de los terrenos disponibles son de propiedad privada, por lo que es importante considerar soluciones combinadas que movilicen la colaboración de los propietarios. En este sentido, el Estado deberá compensar las opciones que no presenten rentabilidad privada suficiente y algunas de ellas financiarlas en su totalidad, como en los casos de régimen de sumidero permanente. La magnitud de las inversiones requeridas hace conveniente generar, tanto como sea posible, estrategias que atraigan recursos privados, pues los recursos fiscales, siempre escasos, compiten con otras necesidades urgentes de la sociedad, como las pensiones, la educación, la salud y otras. Es también una responsabilidad con la sociedad asegurarse de lograr las combinaciones más costo-eficientes en términos de pesos por tonelada de CO₂ capturada o por empleo generado.

REFERENCIAS

Álvarez, S. y Grosse, H., 1978. Antecedentes Generales y Análisis para el Manejo de Lengua (*Nothofagus pumilio*. Poepp. et Endl Krasser) en Alto Mañihuales, Aysén. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. 144 p.

Armesto, J. J.; Smith Ramírez, C.; Carmona, M. R.; Celiz Diez, J. L.; Díaz, I. A.; Gaxiola, A.; Gutiérrez, A. G.; Núñez Ávila, M. C.; Pérez, C. A. and Rossi, R., 2009. Old-Growth Temperate Rainforests of South America. Conservation, plant-animal interactions and baseline biogeochemical processes. In: Old-Growth Forests. Edited by C. Wirth, G. Gleisner, and M. Heimann, 207: 367-90. Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin Heidelberg. 2009. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92706-8_16.

Asafu-Adjaye, John; Blomqvist, L.; Brand, S.; Brook, B.; DeFries, R.; Ellis, E.; Foreman, C.; Keith, D.; Lewis, M.; Lynas, M.; Nordhaus, T.; Pielke, R.; Pritzker, R.; Joyashree, R.; Sagoff, M.; Shellenberger, M.; Stone, R. and Teague, P., 2015. An Ecomodernist Manifesto Abril 2015; www.ecomodernism.org/manifesto

Bava, J., 1999. Los bosques de lenga en Argentina. En *Silvicultura de los bosques nativos de Chile*. Editores C. Donoso y A. Lara. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 273-296.

Beltrán, K., 2013. Superficie potencial forestable de las Regiones de O'Higgins a Aysén. Corporación Nacional Forestal. CONAF. 276.

Bren, L. and Hopmans, P., 2007. Paired catchment observations on the water yield of mature eucalypt and immature radiate pine plantations in Victoria, Australia. *Journal of Hydrology* (2007).

Cabrera, J., 2007. El pago por servicios ambientales, conceptos y mercados. CIFOR. Volumen 13 N°1. 177-186

Cabrera, J.; Villalobos, E. y Pugin, A., 2007. Boletín PSA. Boletín informativo N° 2. Instituto Forestal. 8p.

Centro EARTH Universidad Adolfo Ibáñez, 2017. Actualización de estudio evaluación del aporte económico y social del sector forestal en Chile y análisis de encadenamientos, año 2017.

Cerda, I.; Olavarría, J. y Abalos, M., 1992. El Sector Forestal en Chile, Logros y Desafíos. Instituto Forestal – Corporación de Fomento de la Producción, Santiago, Chile. pp 166.

CONAF, CONAMA, BRF, 2017. Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos en Chile. UACH/PUC/UCT. Informe Final.

CONAF, 2019. Ocurrencia y Daño de Incendios Forestales Nacional. Consolidado Temporadas 1985 -2019. Gerencia. Corporación Nacional Forestal.

Chambers, Jeffrey, Q.; Negron-Juarez, Robinson I.; Magnabosco Marra, Daniel; Di Vittorio, Alan; Tews, Joerg; Roberts, Dar; Ribeiro, Gabriel H. P. M.; Trumbore, Susan E. and Higuchi, Niro, 2013. The steady-state mosaic of disturbance and succession across an old-growth Central Amazon forest landscape. *PNAS* March 5, 2013 110 (10) 3949-3954; <https://doi.org/10.1073/pnas.1202894110>. Edited by Peter M. Vitousek, Stanford University, Stanford, CA.

Donoso, C.; Morales, J., y Romero, M., 1990. Hibridación natural entre roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst. y raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst, en bosques del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 63: 49-60.

Elizalde, Rafael, 1958. La sobrevivencia de Chile. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Producción Agraria y Pesquera. Santiago, Chile.

FAO, 2019. Global Demand for Wood Products. In: *State of the World's Forests 2019*. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i0350e/i0350e02a.pdf>

Fenning, Trevor, M. and Gershenzon, Jonathan, 2002. Where will the wood come from? Plantation forests and the role of biotechnology. *Trends in Biotechnology*, FAO, 2002

Frascaria-Lacoste, N.; Gerard, Henry, A.; Bertolino, P.; Collin, P. and Manjarres E., 2011. Should Forest Restoration with Natural Hybrids Be Allowed? *Restoration Ecology*, 19(6): 701–704.

Frelich, Lee, 2016. *Forest Dynamics*. Published online 2016 Feb 17. doi: 10.12688/f1000research.7412.1

Gay, Claudio, 1838. Sobre las Causas de la Disminución de los Montes de la provincia de Coquimbo. *Diario El Araucano*, número 399, de abril de 1838, en: *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo*" (F.A. Squeo, G. Arancio y J.R. Gutierrez, Eds.). Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile (2001) 19: 281-286.

González de Nájera, Alonso, 1889. Desengaño y reparo de la Guerra del Reino de Chile, de la colección *Historiadores de Chile*. Tomo XVI. José T. Medina. Imprenta Ercilla, Santiago, 1889.

Grosse, H., 2009. Silvicultura de brinzales y latizales en: *Silvicultura del Bosque Nativo. Función Histórica y Opciones Futuras sobre la Base del Manejo Sustentable*. ISBN: 978.956-318-019-0. Instituto Forestal, Chile. 135pp.

Grosse, H. y Pincheira, M., 1998. Efecto del tamaño de contenedor en el desarrollo inicial de plantaciones de raulí (*Nothofagus alpina* Poepp. et Endl). Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. Valdivia, Chile.

Grosse, H.; Quiroz, I.; Kannegiesser, U. y Valdés, M., 1991. Desarrollo de plantaciones de raulí y roble en función de su preparación en vivero y en terreno – sector Tremohue Jauja. En: Investigación manejo silvícola del bosque nativo. Informe final N° 5. INFOR-CORFO. 84-102.

Grosse, H.; Quiroz, I. y Valdés, M., 1993. Ensayos de época de plantación y tipo de planta. En: Investigación manejo silvícola del bosque nativo. Informe. INFOR-CORFO. 17-34.

Hartwig, Fernando, 1986. 75 Jahre Forstwirtschaft in Chile". Forstarchiv. Heft 6 Nov./Dez. 57. Jahrgang. 236-243.

INFOR, 2018. Evaluación interna de la línea de Inventario Forestal Continuo de INFOR.

INFOR, 2019. Anuario Forestal 2019. Chilean Statistical Yearbook of Forestry. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 168 P. 214

Keith, H.; Mackey, B. G. and Lindenmayer, D. B., 2009. Re-evaluation of forests biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. Proceedings of the National Academy of Sciences 106(28), 11635-11640.

Martin, Carl, 1923. Landeskunde von Chile. Hamburg, L. Friedrichsen & Co. 786p.

Martín, Marjorie; Pilquinao, Bernardo; Müller-Using, Sabine; Bahamóndez, Carlos; Guíñez, Rodrigo; Acuña, Bernardo; Bava, José y Loguercio, Gabriel, 2014: Diagramas de Manejo de Densidad para Bosques de Lengua de Aysén y Magallanes con Fines de Producción de Madera. Instituto Forestal, Chile.

Molina, Juan Ignacio, 1810. Ensayo sobre la historia natural de Chile; Bolonia. Santiago Eds.

Mujica, R., 1997. Análisis económico privado de un plantación de *Nothofagus alpina* (Poepp et Endel) Oerst, ubicada en la provincia de Valdivia. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile. Valdivia. P. 132.

Nazif, Iván y Cabañas, Carlos, 2014. Plantaciones y Pobreza, CONAF 2014

Olivares de, Miguel, 1864. Historia militar, civil y sagrada de Chile. Colección de historiadores de Chile y de documentos relativos a la historia nacional. Santiago: Impr. del Ferrocarril, 1861-v.22. Biblioteca Nacional.

Otero, Luis, 2006. La huella del fuego. Pehuén Editores. María Luisa Santander 537, Providencia, Santiago.171p.

Otero, L.; Contreras, A. y Barrales, L., 1994. Efectos ambientales del reemplazo de bosque nativo por plantaciones. Ciencia e Investigación Forestal, Volumen 8, N°2, 1994.

Ovalle, Alonso, 1646. Historica relación del Reyno de Chile y de las misiones y ministerios que exercita en el la Compañía de Jesus. Roma: Por Francisco Cavallo, 1646. Colección: Biblioteca Nacional.

Peña, Eduardo, 2014. Consideraciones para la creación de una franja de prevención de incendios en la interfaz urbana rural. Revista Mundo Forestal, Diciembre 2014.

Pérez Rosales, Vicente, 1886. Recuerdos del pasado (1814-1860). Santiago de Chile. Imprenta Gutenberg.

Pizarro, R; Sanguesa, C.; Arumi, J. L.; Iroumé, A.; García, P.; Vallejos, C.; Mendoza, R.; Pino, J.; Berrios, A.; Ibáñez, A.; Castillo, B. y Bernal, A., 2019. Antecedentes de la relación masa forestal y disponibilidad hídrica en Chile. UNESCO, PHI – VIII/ Documento Técnico N°41, América Latina y El Caribe, 2019

Prado, José Antonio, 2015. Plantaciones Forestales, más allá de los árboles. Colegio de Ingenieros Forestales, 2015. 83 - 89

Prado, J. A.; Barros, S.; Wrann, J.; Rojas, P.; Barros, D. y Aguirre, S., 1986. Especies Forestales Exóticas de Interés Económico para Chile. Instituto Forestal - Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile. 168 p.

Prado, J. A. y Barros, S. (Eds), 1989. *Eucalyptus*. Principios de Silvicultura y Manejo. Instituto Forestal - Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile. 197 p.

Ríos, A., 2008. Desarrollo inicial de plantaciones de Raulí y Raulí-Roble de cinco años bajo un régimen de establecimiento intensivo en la depresión intermedia de la Región de los Ríos, Chile". Tesis de grado. UACH.

Rosales de, Diego, 1674. Historia general del Reyno de Chile: Flandes Indiano" Valparaíso: Impr. del Mercurio, Colección: Biblioteca Nacional. Publicada por Benjamín Vicuña Mackenna entre 1877 y 1878.

Schmidt, H. y Urzúa, A., 1982. Transformación y manejo de los bosques de lenga en Magallanes. Editorial: Facultad de Ciencia Agrarias, Veterinarias y Forestales Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Sohnngen, Brent; Mendelsohn, Robert and Sedjo, Roger A., 2001. A Global Model of Climate Change Impacts on Timber Markets. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 26(2):326-343
Copyright 2001 Western Agricultural Economics Association.

Stolpe, N. B.; Dube, F. and Zagal, E., 2010. Calibration of CO₂FIX to native forests, pine plantation and pasture on a volcanic soil of the Chilean Patagonia. *Acta Agriculturae*

Sutton, W. R. J., 1995. Plantation forests protect our biodiversity. *N. Z. For.* 40(3): 2–5.

Toro, Jorge, 2008. Efecto del cultivo de *Pinus radiata*, sobre un suelo erosionado. *Forestal Mininco, Gestión Ambiental*. Concepción, Mayo 2008.

Trivelli, Hugo, 1970. Discurso de la tierra, en *La Sobrevivencia de Chile*. Ministerio de Agricultura, SAG. Santiago de Chile. Páginas XV-XXVII.

Tuley, G., 1980. *Nothofagus* in Britain. Forestry Commission. *Forest Record*. 122. P. 26.

UNTEC - Universidad de Chile, 2014. Evaluación del Aporte Económico y Social del Sector Forestal en Chile

UPM – Kimmene, 2011. From forest to paper, the story of our water footprint. A case study for the UPM Nordland Papier Mill". August 2011. Disponible en: <https://waterfootprint.org/media/downloads/UPM-2011.pdf>

Urrutia- Jalabert, R. Malhi, Y. and Lara, A., 2015. The oldest, slowest rainforests in the world? Massive biomass and slow carbon dynamics of *Fitzroya cupressoides* temperate forests in southern Chile. *PloS one*, 10(9), e0137569.

Veblen, T. T. and Ashton, D. H., 1978. Catastrophic influences on the vegetation on the Valdivian Andes, Chile. *Vegetatio* 36: 149-167.

Veblen, T. T.; Ashton, D. H. and Schlegel, F. M., 1979. Tree regeneration strategies in a low-land *Nothofagus*-dominated forest in south-central Chile. *J. Biogeog.* 6: 329-340.

Veblen, T. T.; Ashton, D. H.; Schlegel, F. M. and Escobar, R. B., 1980. Structure and dynamics of old growth *Nothofagus* forests in the Valdivian Andes, Chile, *J. Ecol.* 68. 1-31.

Veblen, T. T.; Donoso, Z. C.; Schlegel, F. M. and Escobar, R. B., 1981. Forest Dynamics in south-central Chile. *J. Biogeog.* 8: 211-247.

Villalobos, E., 2007. Servicios ambientales. En: *Silvicultura del Bosque Nativo. Función Histórica y Opciones Futuras sobre la Base del Manejo Sustentable*. ISBN: 978.956-318-019-0. Instituto Forestal, Chile. 135pp.

WWF, 2012. Living Forests Report, Chapter 4: Forests and Wood Products.

SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL DE MADERA POR DESHUMIDIFICACIÓN UNA OPCIÓN PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES DE MADERA DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Bustamante, Jorge¹⁴; Salinas Jaime y Moya, Iván

RESUMEN

El Instituto Forestal (INFOR) sede Patagonia está ejecutando desde octubre del año 2017 el Programa Prototipo de Transferencia Tecnológica Forestal (PTTF), financiado por el Gobierno Regional de Aysén a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR). Este programa tiene como objetivo principal aumentar la competitividad de los actores forestales regionales, a través de la transferencia tecnológica forestal innovadora, integral y continua.

El fortalecimiento de las capacidades tecnológicas en las pequeñas y medianas empresas es de gran importancia para mejorar la competitividad y eficiencia en sus procesos productivos, para que puedan generar valor agregado a los productos derivados de la madera, siendo el secado de la madera fundamental en la industria secundaria para la elaboración y remanufactura.

Según el último censo de la industria primaria existe un total de 49 unidades productivas, solo 32 aserraderos se encuentran trabajando en la Región de Aysén, y solo el 9% tiene una segunda línea de producción con elaboración o remanufactura. Esta realidad, sumada a la falta de disponibilidad de capital de trabajo y de mano de obra capacitada, ha limitado un desarrollo local de productos derivados de madera para la carpintería y mueblería, y también para la construcción en madera.

La implementación de nuevas tecnologías de secado artificial puede constituirse como una estrategia para dinamizar la economía del sector forestal regional. Este tipo de alternativa de generación de valor ha sido un desafío para INFOR que, durante el año 2014, a través de un proyecto FIA, implementó en la propiedad de un productor maderero un secador artificial por cámara (convencional) en forma exitosa, el cual se encuentra funcionando hasta ahora. Sin embargo, no se ha logrado cubrir la demanda actual de madera seca a nivel local, lo que da cuenta de una necesidad a corto plazo que es necesario resolver. Es por esto, que a través del PTTF se logró adquirir un equipamiento para implementar un sistema de secado de madera bajo un proceso de deshumidificación, una tecnología que data de la década de los años 70, pero que en la ciudad de Coyhaique y en la región actualmente está poco difundido. El sistema de deshumidificación es una opción concreta de secado de madera para pequeñas producciones.

Este documento presenta una alternativa de secado artificial para pequeños productores de madera a través de un sistema eléctrico por deshumidificación en la Región de Aysén.

Palabras clave: Secado, Deshumidificación, Madera Nativa, Región de Aysén.

¹⁴ Instituto Forestal, sede Patagonia, Coyhaique, Chile. jbustamante@infor.cl

SUMMARY

Under the Aysén Regional Government support the Forestry Institute (INFOR) is developing a Technology Transfer Programme to improve the regional sawnwood producers competitiveness. The small and medium enterprises strengthening is an important matter to increase their productive processes efficiency in order to incorporate added value to their products and the wood drying is a fundamental tool for the secondary industry

According to the last primary industry census, there is a total of 49 productive units in the region, only 32 sawmills are currently active and only 9% of which have a second production line for wood elaboration. This fact, joined to the economical resources and trained labour lack, is a serious local development limitation to the production of wood derived products to carpentry, furniture and also wood construction.

New artificial wood drying technologies can be a good strategy to drive the regional forestry sector economy and this alternative has been a challenge for INFOR. In 2014, INFOR has introduced to a producer property a wood dryer with conventional chamber in a successful way, which is in operation until now.

However, it has been not possible to cover the local dry wood demand and this is an important need to solve in the short term. Though the Tecnology Transfer Programme INFOR bought an equipment to implement a wood dryer with a dehumidification system which is a concrete option to dry wood in small productions.

This paper presents an alternative to artificial wood drying for small producers through an electric dehumidification system in the Aysén Region.

Key words: Wood drying, Dehumidification, Native species, Aysén Region.

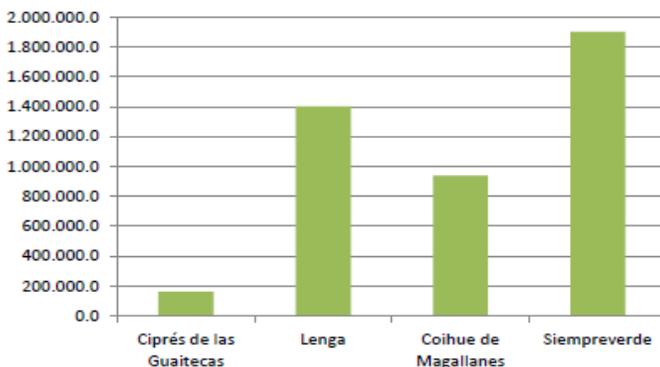
INTRODUCCIÓN

En Chile, la superficie de bosque nativo es de 14.633.778,8 ha y la región concentra el 31% del total de bosque nativo del país.

La superficie de la Región de Aysén es de 10,7 millones de hectáreas, lo que equivale al 14,3% del territorio nacional y la ubica como la tercera región más grande del país (CONAF, 2012).

De la superficie regional, el 41,28% (4.431.845 ha) está cubierta por bosques y solo el 0,33% (35.671 ha) corresponde a plantaciones forestales.

En la región se encuentran cuatro tipos forestales, predominando el Tipo Forestal Siempreverde, que cubre 1.899.864 ha y corresponde al 54,2% del nivel nacional. El Tipo Forestal Lengua ocupa una superficie de 1.400.378 ha, seguido del Tipo Forestal Coihue de Magallanes con 939.169,3 ha y, con menor participación, el Tipo Forestal Ciprés de las Guaitecas, con 159.334 ha, pero que representa el 27,5% del total nacional del tipo (CONAF, 2012) (Figura N° 1).



(Fuente: CONAF, 2012)

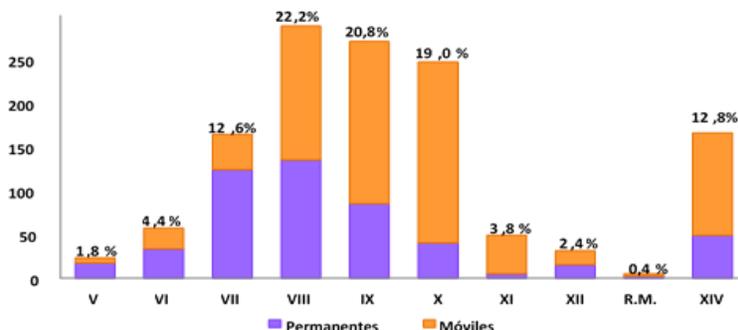
Figura N° 1
SUPERFICIE TIPOS FORESTALES DE LA REGIÓN DE AYSÉN

Pese a contar con un abundante recurso forestal, la industria del aserrío se encuentra muy por debajo del desarrollo industrial del resto de país, la representatividad de la industria del aserrío en comparación con el país solo alcanza al 3,8% del total de aserraderos a nivel nacional (Cuadro N° 1).

Respecto de la industria secundaria, que considera la elaboración o remanufactura, en la región tiene escaso desarrollo, representando esto una brecha a cubrir.

El secado de la madera constituye un punto clave en el proceso productivo posterior al aserrío, este es determinante en el tipo y calidad de los productos elaborados que se fabrican (Cubillos, 1987).

Durante la temporada 2017 la industria del aserrío en Aysén secó el 0,6% (53 m³/año) de su producción en cámaras de secado (INFOR, 2018).



(Fuente: INFOR, 2018)

Figura N° 2
NÚMERO DE ASERRADEROS MÓVILES Y PERMANENTES POR REGIÓN

La industria regional de aserrío concentra su actividad principalmente en las Provincias de Aysén y Coyhaique (Cuadro N° 1), que representan el 40% y el 32%, respectivamente, de la producción de madera aserrada durante el año 2017 (INFOR, 2018).

La producción de los aserraderos locales se comercializa principalmente como madera bruta y semiverde sin procesos de secado ni impregnación asociados, en venta directa, a pedidos, venta a intermediarios y venta a constructoras. De un total de 49 unidades productivas (aserraderos) en la Región de Aysén, solo el 6% tiene asociado la elaboración de productos (forros, pisos, centros puertas y ventanas, traslapos) con una segunda línea de producción en sus instalaciones (INFOR, 2018).

Cuadro N° 1
REGISTRO PRODUCCIÓN DE MADERA REGIÓN DE AYSÉN (INFOR, 2018)

Tipo de Aserraderos y Rango de Producción	Total	Producción por Provincia			
		Aysén	Capitán Prat	Coyhaique	General Carrera
(m ³)					
Total	8.853	2.719	245	5.500	389
Permanente	702	519	35	148	-
<= 5.000	702	519	35	148	-
Móvil Portátil	8.150	2.200	210	5.351	389
1.000 – 3.000	2.873	-	-	2.873	-
< 1.000	5.277	2.200	210	2.478	389

(Fuente: INFOR, 2018)

El análisis regional del rubro industrial maderero es decidor; requiere aumentar la capacidad de secado de madera, incorporar tecnologías más eficientes a los sistemas productivos, formación técnica, mayor capacitación y asistencia técnica, y potenciar los encadenamientos asociativos y la agregación de valor.

OBJETIVO

Incorporar y validar tecnología de secado artificial para pequeñas producciones de madera, a través de un sistema de secado por deshumidificación.

MATERIALES Y METODOS

Las pruebas de secado de madera se realizaron con un sistema de deshumidificación adquirido por el Instituto Forestal a través de su Programa Prototipo de Transferencia Forestal (PTTF) financiado por el Gobierno Regional de Aysén.

El equipo corresponde a un deshumidificador marca WoodMizer, modelo DH4000 (Figura N° 3), el cual está diseñado para instalarlo en espacios herméticos y cerrados. Su capacidad máxima es de 9,4 m³ (395 pulgadas madereras).

El tiempo de secado según especificaciones técnicas, para piezas de 1 pulgada de espesor (1" x 10" x 3,2 m de largo) de pino (*Pinus spp.*) es de 12 días aproximadamente para CH inicial de 89% y final de 12%.

Mientras que para piezas de iguales dimensiones para roble (*Nothofagus obliqua*), con CH inicial de 65% y final de 12%, el tiempo de secado es de 35 días aproximadamente, esta especie posee características organolépticas¹⁵ similares a lenga y pinos de producción local (WoodMizer, 1982).

Este equipo de deshumidificación, tiene requerimientos eléctricos que van de 220V/60Hz a 220V/50Hz.

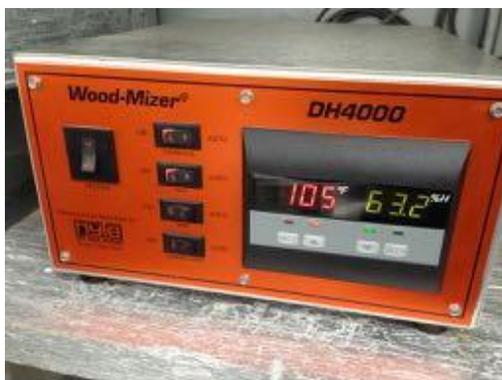


Figura N° 3
EQUIPO DESHUMIDIFICADOR MODELO DH4000 WOODMIZER

Para el funcionamiento de este equipo se requirió la habilitación de una estructura hermética que permitiera un secado óptimo (Figura N° 4). Para estos efectos, se estableció un convenio de cooperación con la empresa Maderas JHV Ltda., de propiedad del productor Javier Vargas Pérez, que proporcionó la madera y habilitó la infraestructura necesaria para el funcionamiento del equipo.

¹⁵ Características generales que se relacionan con aspectos estéticos y de su estructura anatómica.

El volumen requerido para el secado de madera fue de 350 a 400 pulgadas madereras por carga cada mes. Con este volumen, en la primera carga, fue posible calcular los costos en base a los tiempos y procedimientos de secado para comprobar la efectividad del proceso y los costos de funcionamiento, permitiendo así validar el secado de madera por deshumidificación como alternativa tecnológica para pequeñas producciones en la región.

La cámara de secado fue instalada en la propiedad del Sr. Javier Vargas, que se ubica en la comuna de Coyhaique, camino a Cerro Negro, km 1 (Figura N° 5).

Habilitado el contenedor, se procedió al llenado de la cámara en forma manual lo cual se podrá mejorar para posteriores cargas de madera con la incorporación de un sistema de carros y armado de paquetes en el exterior.



Figura N° 4
ARMADO DE CONTENEDORES CON CÁMARA DE SECADO PARA INSTALACIÓN DE EQUIPO DESHUMIDIFICADOR



Figura N° 5
UBICACIÓN DE EMPRESA MADERAS JHV E INFRAESTRUCTURA DEL CONTENEDOR DE SECADO

Fases y Movimientos

Para el carguío de madera al interior de la cámara de secado se contempló lo siguiente:

- Clasificación. Se aplica una clasificación visual además de una selección según escuadrías por anchos y largos, los espesores deben considerar espesores no mayores a 1 1/4".
- Armado de castillos de madera. El correcto encastillado requiere listones homogéneos y secos, con distanciamientos no mayores a 50 cm uno del otro, que permitan el movimiento de aire.
- Medición de parámetros iniciales. La toma de muestras de contenido de humedad a la madera que ingresa es fundamental para que el ciclo de secado no sea fluctuante y de mayor tiempo.



Figura N° 6
CLASIFICACION, ENCASTILLADO Y REGISTRO DE CONTENIDO DE HUMEDAD



**Figura N° 7
ENCASTILLADO**

Descripción de Parametros Iniciales de Camara y Producto

- Tipo de producto: Madera dimensionada
- Especie: Lenga
- Dimensión: Espesores calibrados a 1" nominal, 26 - 28 mm espesor, en anchos entre 4 - 5 pulgadas nominales 114 – 134 mm.
- Contenido de humedad (CH) promedio: 28%
- Volumen: 380 pulgadas madereras
- Fecha ingreso de carga: 11 de abril de 2019
- Parámetros de medición del equipo: 52,7 °F con 79,8% humedad.
- El carguío de la cámara se llevó a cabo con madera semiverde.
- Medición del CH inicial a 25 muestras

El objeto es producir madera seca de alto valor comercial que tienen gran demanda en el mercado local y nacional, siempre y cuando su humedad no supere el 12%

Los tiempos de secado por deshumidificación no deberían superar los 30 días. El consumo del equipo es de 4,5- 5,0 kW/h y el costo local de esta energía es de \$ 250 a 300/ por KW/h. Los costos de secado no deberían superar los 2.500 \$/m³ para pequeñas producciones de secado de especies nativas.

Control de Calidad y Monitoreo de la Humedad

En la Figura N° 8 se detalla el proceso de monitoreo y contenido de humedad antes de ingreso a la cámara y el análisis de la información obtenida.

INFOR SEDE PATAGONIA			
Nombre del Productor de Madera		Javier Vargas	
Fecha de Muestreo		08-09-10 de abril	
Instrumento (Modelo, Marca)		Xilohigrometro moisture meter MO220	
Calibración (Temperatura, Densidad)			
Identificación Castillo		lote 1	
Descripción Castillo: (forma de almacenamiento, especies principales, esacudrias, etc)		el almacenamiento se llevo a cabo en castillo con separadores de 1/2x1 cada 50 cm. Los anchos estandar.	
Volumen del Lote		380	
Escuadria (medida)		1" espesor nominal, 28-29 mm	
Encargado Monitoreo			
Especie		Lenga	
N° de Lote-Castillo		1	
Fecha Elaboración		ene-19	
Procedencia		Plan de Manejo, sector rio cajon.	
Muestra	Ingreso Muestras CH		
1	17,0		
2	27,0		
3	28,0		
4	32,0		
5	33,0		
6	26,0		
7	27,0		
8	22,0		
9	27,0		
10	26,0		
11	27,0		
12	28,0		
13	36,0		
14	34,0		
15	32,0		
16	33,0		
17	26,0		
18	23,0		
19	29,0		
20	20,0		
21	32,0		
22	34,0		
23	22,0		
24	29,0		
25	30,0		
Humedad Prom.	28,00		
Muestras Secas (<25%)	20,00		
Muestras Semihúmedas	48,00		
Muestras Húm. (>30%)	32,00		
Desviación St.	4,73	N° Muestra Optima	
Coef.Variación	16,91	11	
Error de muestreo	5,79	% Error OK	
Nota 1: Considere que a mayor cantidad de muestras, mayor es la precisión de la medición			
t-student	n-1	valor	
n	24	1,711	
% conf	95		
Lote rechazado, CH con 25% Inferior al 75% muestra			
1. Coeficiente de variación = (desviación estándar * 100) / promedio			
2. Error = (valor t student * coeficiente de variación)/raiz (n)			
3. Promedio de la muestra = Suma (valor 1+valor 2+.....)/n			
4. Numero de muestras óptimo = (valor t student ² *coeficiente de variacion ²)/error ²			

Figura N° 8
PLANILLA DE REGISTRO DE MEDICIONES DEL CONTENIDO HUMEDAD
ANTES DEL INGRESO A LA CAMARA DE SECADO

El equipo original (DH4000) fue reemplazado para terminar el proceso de secado, debido a problemas de funcionamiento con el lapso de apertura del compresor, por lo en que se cambió el equipo al octavo día de iniciado el ciclo de secado.

Por un periodo de 4 días se dejó ventilar la cámara para no provocar problemas de afloramiento de hongos en la madera. Luego de la instalación del nuevo equipo (KD250) el proceso se reanudó para terminar su ciclo de secado a los 10 días.

El equipo, adquirido por el productor, para terminar el proceso de secado fue un modelo KD250 (WoodMizer).

Este equipo es una versión moderna que genera un apagado automático al bajar al 12% de CH, debido a que cuenta con sensores dispuestos al interior de la cámara que permiten un mejor registro, sin necesidad de abrir la cámara.



Figura N° 9
EQUIPO KD250 WOODMIZER PARA TERMINAR EL PROCESO DE SECADO

RESULTADOS

El secado logrado fue 12% CH en promedio al momento de terminar el ciclo, ocupando un tiempo de 18 días. Una vez extraída la madera se mantuvo bajo galpón para conservar estable el proceso de secado. Al final del proceso se obtuvo madera seca con 12% CH, este proceso permitió en 18 días bajar 16% el CH de la madera ingresada al 28% CH, calculándose una pérdida máxima de CH por día de 0,8%.

Considerando que en el proceso fue necesario cambiar el equipo por el KD250, el tiempo efectivo al no tener interrupciones debería tener periodos de secado no mayores a 12 días para, espesores de 25 a 29 mm, lo que equivale a 1" nominal. La madera no presenta problemas de agrietado ni de torcedura (clasificación visual), esto se debe principalmente a que la curva de variación de calor es gradual y no alcanza a superar los 125 °F (70 °C).

A partir de la implementación del equipo se pudo tomar registro de la inversión inicial y la

puesta en marcha de este, lo que se muestra en el Cuadro N° 2.

**Cuadro N° 2
COSTOS DEL EQUIPAMIENTO NECESARIO PARA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE SECADO**

Inversión	Monto Invertido (\$)	Condiciones de Operación
Equipo Deshumidificación KD250 WoodMeizer.	6.000.000	Corriente monofásica con dispositivo automático de 25 amperes en el tablero
Instalaciones eléctricas y conexión del equipo.	1.000.000	
Implementación de aislación de contenedor de dimensiones interiores de 2,3 x 2,3 x 5,8 m. Esta implementación permite una capacidad de secado de 9 m ³ .	4.500.000	Forro aislación con plumavit de 50 mm, papel filtro y tablero de 10 mm.
Total	11.500.000	

Para el cálculo de los costos de secado de madera en tanto (Cuadro N° 3), se consideraron todas las actividades involucradas en el proceso y, a partir de su funcionamiento, se pudo estimar que el costo de secado por deshumidificación para una pulgada maderera fue \$1.948 (considerando una carga total de 380").

**Cuadro N° 3
GASTOS IMPLICADOS EN EL SECADO DE MADERA POR DESHUMIDIFICACIÓN**

Actividad	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Total (\$)	Condiciones de Operación
Madera pre-seca de lenga	Pulgadas madereras	380	4.800	1.824.000	Madera encastillada, valor de amortización de CH inicial de 48% y final (después de 90 días) de 28% de CH, en medida de 1" nominal.
Subtotal				1.824.000	
Carguo encastillado, movimiento de madera	Jornadas	6	25.000	150.000	2 personas demoran 3 jornadas en el llenado y encastillado ocupando todo el espacio.
Descarga y extracción, movimiento de madera	Jornadas	2	25.000	50.000	2 personas demoran 1 jornada en descargar.
Consumo de energía	kW/h	2.160	250	540.000	El consumo del equipo es 4,5 – 5 kW/h (valor kW domiciliario \$250).
Subtotal				740.000	
TOTAL				2.564.000	

CONCLUSIONES

Generar información sobre el secado de madera a nivel regional ha sido una preocupación institucional, en 1972 existieron iniciativas de CORFO en Aysén con estudios sobre secado artificial de la especie lenga. Actualmente con la aparición de nuevas tecnologías, más eficientes y adaptadas a bajas producciones, se pueden encontrar diferentes opciones que permitan entregar soluciones a las necesidades de productores regionales.

El sistema de secado por deshumidificación implementado en la Región de Aysén, permitió validar una alternativa de secado que ofrece ciertas ventajas relacionadas a un problema básico que es la mano de obra calificada, ya que este equipo no requiere personal calificado para su operación.

Este proceso requiere disponer de madera con pre-secado y escuadrías no mayores a 2 pulgadas de espesor, lo que permite disminuir los costos y los daños por deformaciones.

El sistema de secado se ajusta a la realidad local, donde las unidades productivas trabajan con volúmenes bajos, permitiendo generar valor agregado y disponer de productos demandados en mueblería y en construcción.

Si se considera que la Región de Aysén cuenta con materia prima disponible y de alto valor, solo es necesario desarrollar y mejorar los estándares de calidad a partir del secado de madera, con el fin de alcanzar productos altamente competitivos en los mercados.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Gobierno Regional de Aysén por el apoyo financiero que permitió desarrollar esta iniciativa que aporta a mejorar las capacidades de los productores forestales de la Región.

REFERENCIAS

CONAF, 2012. Catastro Vegetacional del Bosque Nativo. Superficies de Uso de Suelo Regional Actualización XI Región de Aysén. Coyhaique, Chile.

Cubillos, G., 1987. Costos del Secado por Deshumidificación. En: Ciencia e Investigación Forestal, Instituto Forestal, Chile. Vol. I, N° 2, p. 121.

INFOR, 2018. Industria del Aserrió 2018. Instituto Forestal, Chile. Boletín Estadístico N° 165. 158 pág.

WoodMizer, 1982. Introducción a los Sistemas de Secado en Horno. USA Indiana. 8p, 15p.

APROVISIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE SEMILLAS DE HUALO PARA SU USO EN PROYECTO FIBN 002/2018: SIEMBRA DIRECTA: TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE BOSQUES NATIVOS DE ROBLE Y HUALO

Gutiérrez, Braulio; Quiroz, Iván y Koch, Laura¹⁶

RESUMEN

Se evalúa el efecto del remojo por 24 horas en ácido giberélico (0, 50, 100, 200 y 400 ppm) sobre la germinación de semillas de hualo (*Nothofagus glauca*) de dos localidades de la región del Maule (Quivolgo y Empedrado). En ambos casos la germinación de los tratamientos es significativamente superior a la del testigo, obteniéndose la mejor germinación con la mayor concentración de ácido giberélico. En Empedrado se logra una germinación máxima de 26,7% y en Quivolgo 9,3% atribuyéndose la diferencia a la calidad de cada lote de semillas. En efecto la semilla de Quivolgo es de menor tamaño (3.243 sem/kg contra 1.924 sem/kg de Empedrado) y con mayor incidencia de perforaciones que afectan su viabilidad.

Palabras clave: *Nothofagus glauca*, semillas, germinación.

SUMMARY

The effect of soaking for 24 hours in gibberellic acid (0, 50, 100, 200 and 400 ppm) on the germination of hualo seeds (*Nothofagus glauca*) from two localities of the Maule region (Quivolgo and Empedrado) is evaluated. In both cases the germination of the treatments is significantly superior to control without treatment, obtaining the best germination with the highest concentration of gibberellic acid. In Empedrado the maximum germination was 26.7% meanwhile in Quivolgo was 9.3%; this difference was attributed to the quality of each seed lot. In fact, the Quivolgo seed is smaller (3,243 seeds/kg versus 1,924 seeds/kg at Empedrado) and with a higher incidence of perforations that affect its viability.

Keywords: *Nothofagus glauca*, seeds, germination

¹⁶ Investigadores, Instituto Forestal, Chile, Sede Bio Bio bguetierr@infor.cl

INTRODUCCIÓN

El hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser) es una especie endémica característica de los bosques mediterráneos o mesomórficos de Chile central, donde crece en forma natural en las altitudes medias de las cordilleras de Los Andes (bajo los 1.200 msnm) y de la Costa (150 a 800 msnm), entre las provincias de Cachapoal y del Bio Bio (MMA, s/f). La máxima concentración de esta especie se encuentra en la costa de las provincias de Talca y Cauquenes (Región del Maule), donde forma masas continuas de importancia.

Las poblaciones de hualo han sido profundamente afectadas por la intervención humana. Sus bosques han sufrido fuerte presión antrópica, tanto por el desmonte del bosque natural para la habilitación del suelo para otros usos como por la explotación de sus renovales para la obtención de leña y carbón, encontrándose en la categoría de especie casi amenazada (MMA s/f). En sus áreas de mayor abundancia en la costa de la región del Maule sus poblaciones resultaron severamente afectadas por los grandes incendios forestales del año 2017. En ese contexto, en el proyecto FIBN 002/2018 “Siembra Directa: Técnica de Recuperación de Bosques Nativos de Roble y Hualo”, se ha propuesto evaluar la pertinencia de la siembra directa como mecanismo para recuperar estos bosques quemados.

Consecuentemente, en el presente informe se entregan los resultados de aprovisionamiento de semillas, así como la evaluación de las mismas en términos físicos y de germinación, de modo de contar con los antecedentes básicos para dimensionar los requerimientos de material para las labores de siembra directa y de producción de plantas involucrados en el mencionado proyecto.

MATERIAL Y MÉTODO

Aprovisionamiento y Análisis de Semillas

Se dispuso de 2 lotes de semillas de hualo colectados en marzo del año 2019 desde rodales naturales de la zona de Empedrado y de Quivolgo. La colecta fue realizada por contratistas de las empresas forestales asociadas al proyecto, como parte de su aporte al mismo.

Recibidos los sacos de semillas, estas fueron trasladadas a dependencias de INFOR Bio, donde se procedió a realizar los respectivos análisis físicos (%pureza y número de semillas por Kg) y de germinación (%capacidad germinativa; %energía germinativa y periodo de energía en días), mediante pruebas experimentales orientadas por los lineamientos de la asociación internacional de análisis e semillas (ISTA, 2016).

Determinación del Porcentaje de Pureza

Se tomaron tres muestras de semillas de al menos 200 g cada una; se pesó cada muestra en una balanza analítica; se limpió manualmente cada una de las muestras, removiendo restos de hoja, tierra, ramillas y otras impurezas; se pesó la semilla limpia y se estimó el porcentaje de pureza con la fórmula 1.

$$\text{Pureza (\%)} = (\text{Peso semilla limpia} / \text{Peso muestra}) \times 100 \quad (1)$$

Determinación del Número de Semillas por Kilogramo

Esta determinación se efectuó con las mismas muestras de semilla limpia obtenidas en el análisis anterior; se contó el número de semillas contenidas en cada muestra y se estimó el número de unidades por kilogramo utilizando la fórmula 2.

N° sem por Kg = 1.000 x (N° sem en la muestra/peso de la muestra en gramos) (2)

Germinación

Se montó un ensayo de germinación en el que fueron comparados cuatro tratamientos pregerminativos y un control sin tratamiento, los tratamientos ensayados (Cuadro N° 1) correspondieron a remojo por 24 horas en soluciones de ácido giberélico de distinta concentración.

Previo a la aplicación de los tratamientos pregerminativos, las semillas fueron desinfectadas mediante remojo en solución de hipoclorito de sodio al 10% durante 5 minutos y luego enjuagadas tres veces en agua destilada estéril.

Cuadro N° 1
TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS APLICADOS

Tratamientos	Remojo	Concentración Ácido Giberélico (ppm)	Tiempo (h)
T0 (testigo)	Agua	0 ppm	24 h
T1	Solución de ácido giberélico	50ppm	
T2		100 ppm	
T3		200 ppm	
T4		400 ppm	

El testigo y cada uno de los tratamientos fueron representados por tres repeticiones de 50 semillas cada una, dispuestas en placas Petri con papel filtro húmedo e incubadas en cámara germinadora, en oscuridad y a una temperatura de 22°C. (Figura N° 1).



Figura N°1
REMOJO SEMILLAS EN SOLUCIONES CON DISTINTAS CONCENTRACIONES DE ÁCIDO GIBERÉLICO (Iza). VISTA DE LAS PLACAS PETRI DISPUESTAS EN CAMARA GERMINADORA (Der.)

El ensayo fue monitoreado hasta que se detuvo la germinación, registrándose diariamente el número de semillas germinadas en cada repetición de cada tratamiento, y retirándolas de las placas.

Como criterio de germinación se asumió la presencia de radícula extendida en una longitud mayor a 5 mm. El número de semillas germinadas por día se expresó como porcentaje de germinación acumulada diaria, para posteriormente determinar los parámetros: Capacidad Germinativa (CG%); Energía Germinativa (EG%) y Periodo de Energía (PE) de acuerdo a la metodología tradicional del valor máximo de Czabator.

Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con alfa de 0,05 para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Para estos análisis los valores en porcentaje de capacidad y energía germinativa fueron previamente transformados a unidades de Bliss (transformación de arco seno).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total se dispuso 51,9 kg de semillas de la procedencia Empedrado y de una cantidad significativamente menor de la procedencia Quivolgo (alrededor de 5 Kg). Los resultados de la caracterización de ambos lotes se detallan a continuación.

Parámetros Físicos

Ambos lotes, Empedrado y Quivolgo, presentan una alta pureza, cercana al 100%, dado que son semillas grandes y por lo mismo relativamente fáciles de limpiar (Cuadro N° 2).

En cuanto al número de semillas por kilo, este resulta considerablemente menor en el lote de Empedrado (1.924 sem/kg), denotando un mayor tamaño de semillas que las del lote de Quivolgo (3.243 sem/kg) (Cuadro N° 3).

**Cuadro N° 2
DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE PUREZA**

Lote		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Pureza
Empedrado	Peso muestra (g)	200,34	200,53	200,52	99,5
	Peso semilla limpia (g)	199,21	199,37	199,96	
	Pureza (%)	99,5	99,4	99,7	
Quivolgo	Peso muestra (g)	200,28	200,20	200,24	99,9
	Peso semilla limpia (g)	200,21	200,05	200,18	
	Pureza (%)	99,9	99,9	99,9	

**Cuadro N° 3
DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE SEMILLAS POR KILOGRAMO**

Lote		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	(sem/kg)
Empedrado	Peso semilla limpia (g)	199	199	200	1.924
	N° de semillas en la muestra	380	382	389	
	N° de semillas por Kg	1909	1919	1945	
Quivolgo	Peso semilla limpia (g)	200	200	200	3.243
	N° de semillas en la muestra	641	641	665	
	N° de semillas por Kg	3.202	3.204	3.322	

El valor obtenido de número de semillas por kilogramo es algo mayor al indicado por Santelices *et al.* (1996), indicando que las semillas serían de menor tamaño que las mencionadas por esos autores para procedencias costeras de hualo (1500 semillas/kg).

En cualquier caso, el número de semillas por kilogramo es un parámetro que suele ser muy variable entre procedencias, árboles y temporadas de semillación, pudiendo fluctuar ampliamente en hualo entre 1.200 y 3.800 unidades por kilo (Muñoz, 1993).

En cuanto a pureza, el lote evaluado da valores superiores a los mencionados por Santelices *et al.* (1996), quienes indican porcentajes entre 63 y 79%.

Parámetros de Germinación

En el lote Empedrado la evaluación de la germinación evidenció una respuesta proporcional a la dosis de ácido giberélico utilizada. La capacidad germinativa entendida como la germinación observada al final del ensayo alcanzó a 26,67% en el tratamiento 4 (400 ppm); la energía germinativa, que corresponde a la máxima tasa o velocidad de germinación la obtuvo el tratamiento 2 (18,67%); mientras que el menor periodo de energía, o tiempo requerido para obtener la máxima tasa de germinación, correspondió también al tratamiento 4 con 13 días. Por su parte, el testigo sin aplicación de ácido giberélico obtuvo la menor germinación (8,67%), menor tasa de germinación y el mayor periodo de energía (30 días, germinación más lenta).

El resumen de estos resultados, junto con la diferenciación estadística, se presenta en el Cuadro N°4. La evolución de la germinación acumulada diaria para el testigo y los diferentes tratamientos ensayados se indica en la Figura N°2.

La directa relación entre germinación y concentración de ácido giberélico indica que es posible seguir mejorando la germinación usando concentraciones superiores a 400 ppm, sugiriéndose nuevos ensayos para determinar los umbrales de hormona antes de que se haga tóxica o detrimental para la germinación.

Cuadro N° 4
PARÁMETROS DE GERMINACIÓN POR TRATAMIENTO LOTE EMPEDRADO

Tratamiento	Capacidad Germinativa (%)	Energía Germinativa (%)	Periodo de Energía (días)
T4	26,67 a	15,33 a	13 a
T3	25,33 a	18,00 a	16 a
T2	21,33 a	18,67 a	17 a
T1	14,67 b	14,00 a	24 b
T0	8,67 b	8,67 b	30 b

Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias (alfa=0,05)

En su conjunto, el lote Quivolgo presentó una germinación significativamente menor que la observada en Empedrado, situación que se refleja en el Cuadro N° 5 y Figura N° 2. El mejor tratamiento continúa siendo T4, que involucra la mayor dosis de ácido giberélico, pero en este caso alcanza solo a un 9,3% de germinación, en contraste con el 26,7 conseguido en el lote Empedrado.

La baja germinación del tratamiento T4 de Quivolgo resulta equivalente a la del testigo sin tratamiento del lote Empedrado.

Cuadro N° 5
PARÁMETROS DE GERMINACIÓN POR TRATAMIENTO LOTE QUIVOLGO

Tratamiento	Capacidad Germinativa (%)	Energía Germinativa (%)	Periodo de Energía (días)
T4	9,33	8,67	16
T3	4,00	4,00	18
T2	8,00	6,67	14
T1	6,67	6,67	20
T0	0,67	0,67	24

Por otra parte, en el lote Quivolgo se observa la misma tendencia a que los resultados de germinación se relacionen directamente con la concentración de hormona utilizada en el tratamiento pregerminativo, aunque en este caso el resultado obtenido por el tratamiento T3 es anómalo, solo supera al testigo y es menor al obtenido por los tratamientos T1 y T2.

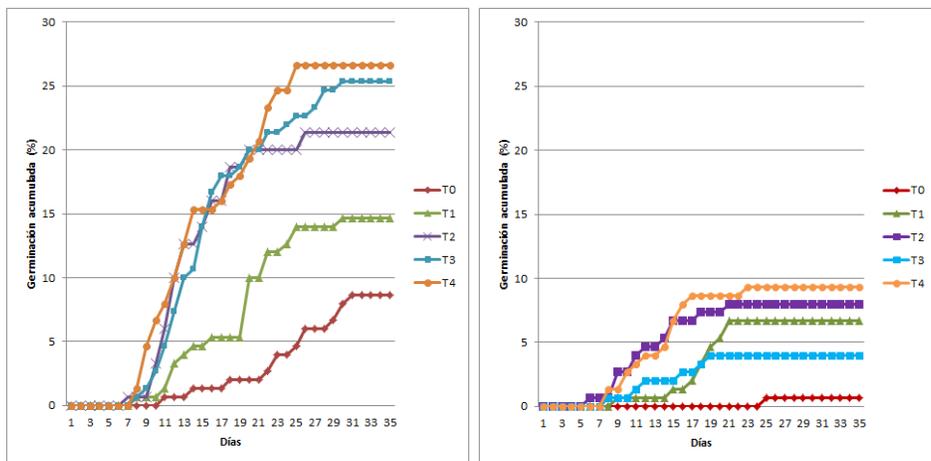


Figura N° 2
GERMINACIÓN ACUMULADA DIARIA POR TRATAMIENTO
LOTE EMPEDRADO (izq.) LOTE QUIVOLGO (der.)

En cualquier caso, la germinación observada en Quivolgo resulta atribuible a las características del lote de semillas más que a los tratamientos pregerminativos, por cuanto al comparar los resultados de los testigos de ambos lotes, empedrado obtiene cerca de un 9% mientras que Quivolgo no alcanza al 1%. En efecto, la semilla del lote Quivolgo es mucho más pequeña que la de Empeдрado, situación reflejada en el número de semillas por kilo, y como indica Escobar (2007) generalmente las semillas más pequeñas de una muestra tienen menor viabilidad y mayor latencia que las intermedias y más grandes.

Adicionalmente, debe destacarse que, en el caso de las semillas colectadas en Empedrado, atendiendo al gran volumen cosechado, el contratista encargado de la faena efectuó una rigurosa selección de las semillas, aspecto que no fue considerado en el caso de las semillas colectadas en Quivolgo, por cuanto la cosecha resultó muy escasa.

Las semillas de hualo, como las de la mayoría de los *Nothofagus*, presentan latencia fisiológica y requieren de tratamientos pregerminativos para acelerar y aumentar su germinación. Los tratamientos comúnmente utilizados para estos efectos consisten en estratificación fría por periodos variables, entre 4 a 6 semanas, y remojos en soluciones estimulantes como ácido giberélico o tiourea.

Al respecto, Espinoza y Cabello (1993) señalan que remojos en ácido giberélico entre 25 y 800 ppm producirían germinación de entre 84 y 97%, destacando que este tipo de remojos es más efectivo que los tratamientos de estratificación fría a 5°C por 30 a 60 días, que según su duración puede producir germinación de 72 a 95%; por su parte los tratamientos en base a tiourea tiene resultados más variables, entre 5 y 90%. Confirmando lo anterior, Cabello (1995, cit. por Santelices *et al.*, 1996) indica que los remojos en tiourea arrojan resultados muy variables, que dependiendo de la concentración (0,75% a 3%) pueden fluctuar entre 92 y 3% de germinación.

De entre los tratamientos mencionados, el remojo en ácido giberélico es una práctica frecuente para reemplazar los extensos periodos involucrados en los procesos de estratificación fría, siendo normal utilizar concentraciones cercanas a los 200 ppm para especies de *Nothofagus* (Medina, 2000).

Los antecedentes reflejan porcentajes de germinación para hualo sustantivamente superiores a los obtenidos en este ensayo. No obstante, ensayos efectuados por Santelices *et al.* (1996) con semilla de hualo de procedencias costeras, obtienen germinación de 37 a 56% con estratificación de 30 y 60 días respectivamente; de 20% con remojo en tiourea (0,5% por 48 horas); y no más del 2% en los testigos.

REFERENCIAS

- Escobar, R., 2007.** Manual de viverización. Instituto Forestal, Centro Tecnológico de la Planta Forestal. Concepción, Chile. 230 p.
- Espinoza, N. y Cabello, A., 1993.** Propagación del hualo (*Nothofagus glauca*) por semillas. En: Avances en silvicultura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Departamento de Silvicultura. Publicaciones Misceláneas Forestales N° 1. Santiago. Chile. 23p.
- ISTA, 2016.** Reglas internacionales para el análisis de las semillas. Introducción a las reglas ISTA Capítulos 1-7, 9. International Seed Testing Association (ISTA), Zurichstr. Bassersdorf, Suiza. Online ISSN 2310-3655.
- Medina, A., 2000.** Viverización de procedencias de *Nothofagus obliqua* y *N. alpina* en contenedores. En: Ipinza, R.; Gutiérrez, B y Emhart, V (Eds.). Domesticación y Mejora Genética de Roble y Raulí. Instituto Forestal Universidad Austral de Chile. Pp: 307-322.
- MMA. s/f.** Ficha de especie *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. Ministerio del medioambiente, Chile. 8 p.
- Muñoz, M., 1993.** Algunos antecedentes sobre propagación de *Nothofagus*. Ciencia e Investigación Forestal 7(2):377-389.
- Santelices, R.; Riquelme, M. y Rojas, F., 1996.** Aspectos sobre la semilla y germinación de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser de dos procedencias de la VII región. Ciencia e Investigación Forestal 10(2):297-305.

RESUMEN

Se discute el concepto de regiones de procedencia y de enfoques complementarios para el ordenamiento genético territorial, con énfasis en la conservación y recuperación de bosques. Se analiza también el concepto de semilla local, de la conveniencia de su utilización y de las situaciones en que no constituye la fuente idónea de material genético para restauración, así como las consideraciones a tener en cuenta para el movimiento de semillas entre regiones de procedencia.

Palabras clave: Regiones de procedencia, Fuentes semilleras, Restauración.

SUMMARY

The concept of provenance regions and complementary approaches to territorial genetic ordering, with emphasis on forest conservation and recovery, are discussed. The "local seed" concept, the convenience of its use and situations in which it is not the ideal source of genetic material for restoration, as well as the considerations to be taken into account for the movement of seeds between provenance regions are discussed too.

Keywords: Provenances regions, seed sources, restoration

INTRODUCCIÓN

Un importante aspecto a considerar en la utilización de semillas de especies forestales nativas es ¿qué tan lejos de su origen puede ser utilizada la semilla proveniente de una determinada fuente semillera? o equivalentemente ¿en qué superficie puede ser utilizada esta semilla sin riesgo de contaminación genética¹⁷ o pérdida de adaptabilidad que repercuta en la supervivencia y productividad de la plantación? A este respecto, la elección de la procedencia de la semilla resulta una etapa crítica, ya que los acervos genéticos seleccionados tendrán un efecto determinante durante todo el ciclo de vida de los árboles implantados y aún en generaciones venideras.

También es importante considerar cuál es el alcance y extensión de uso de la denominada semilla local y tener en consideración, especialmente en iniciativas de restauración de bosques degradados y en un escenario de cambio climático, que, a diferencia de la recomendación general, la semilla local no siempre es el germoplasma más adecuado para una determinada iniciativa de plantación.

En estos contextos se requiere contar con una herramienta que permita identificar con seguridad el origen del material utilizado en la producción de plantas para forestación. Este aspecto es especialmente relevante, por cuanto, aunque se cuente con fuentes semilleras adecuadas, no existen criterios de ordenamiento genético territorial que determinen las áreas de establecimiento de las plantas en función del origen de sus semillas.

En efecto, no existe control del área de utilización de un determinado origen de semillas, el cual suele usarse para establecer plantaciones en áreas muy diferentes a aquellas donde fueron colectadas. Consecuentemente, en este documento se abordan los fundamentos para desarrollar un esquema orientado a ordenar y regular el uso de las semillas en unidades territoriales ecológicamente homogéneas, donde el material de propagación tenga un desempeño y adaptación similar.

Particularmente, se esbozan los fundamentos para efectuar una definición de zonas de procedencias para especies forestales nativas, explicando la necesidad de contar con este sistema y sugiriendo los fundamentos para su desarrollo. La naturaleza de esta definición de zonas de procedencias deja en evidencia que su aplicación y utilidad queda circunscrita a especies autóctonas (nativas y endémicas) y que no tiene sentido en las exóticas. Se abordan también las consideraciones genéticas que regulan estas decisiones y conceptos como migración asistida, modelamiento de nicho ecológico y zonas genéticas como complementos a la definición de zonas de procedencia tradicionales.

LAS ZONAS DE PROCEDENCIA

Los árboles de un bosque natural tienen un alto grado de adaptación al ambiente local, la que transmiten a sus semillas mediante los mecanismos de herencia genética. Las semillas por su parte se dispersan a distancias relativamente limitadas en relación a sus progenitores, lo que les permite encontrar un ambiente similar donde germinar y desarrollarse. Sin embargo, en la repoblación artificial la distancia entre el sitio donde se producen las semillas y el sitio de plantación se incrementa en forma considerable, de modo que no existe garantía que el material genético esté adaptado a las condiciones ambientales en que se implanta.

Las diferencias entre poblaciones de una misma especie que ocupan distintas regiones se pueden atribuir, en parte, a procesos de modificación fenotípica como respuesta a las distintas

¹⁷ Contaminación genética es una expresión habitual para referirse a la depresión exogámica de una población local por la acción de genes de una población introducida de la misma especie, o de una especie distinta reproductivamente compatible.

condiciones climáticas y edáficas locales, fenómeno conocido como plasticidad fenotípica. Sin embargo, existen importantes diferencias que tienen una base genética y han sido objeto de selección durante múltiples generaciones. Estas diferencias genéticas son la base sobre la que se establece la delimitación de las zonas de procedencia de las especies forestales.

Definiciones y Conceptos Generales

La existencia de diferencias genéticas entre poblaciones, principalmente las ligadas a caracteres de crecimiento, producción y adaptación, ha motivado la definición de grandes unidades para la comercialización y utilización de semillas. Para las especies a las que se aplica un sistema de certificación de materiales de reproducción, se definen unidades de comercialización, que corresponden a divisiones en su distribución geográfica en grandes regiones. Esta unidad básica, en el esquema de la Unión Europea (UE) y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), es la Región de Procedencia¹⁸.

La Zona de Procedencia es para una especie o subespecie determinada, la zona o el grupo de zonas sujetas a condiciones ecológicas suficientemente uniformes en las que se encuentran fuentes semilleras o rodales que presentan características fenotípicas o genéticas semejantes (Alía *et al.*, 2009a). También se la define como el conjunto de territorios sometidos a condiciones ecológicas prácticamente uniformes y en los que se desarrollan poblaciones que presentan características fenotípicas o genéticas análogas (Agúndez *et al.*, 1995). Estas definiciones son en alguna medida coincidentes con la de "Zonas Semilleras" de Barner y Willan (1983); las regiones de procedencia de Martin *et al.* (1998); y con la definición de García del Barrio *et al.* (2001) para las "Regiones de Identificación y Utilización de Material Forestal de Reproducción" (RIU).

De acuerdo con Alía *et al.* (2009a) esta unidad, la zona de procedencia, es la unidad básica de comercialización de material de reproducción (frutos, semillas, plantas y partes de planta) en los sistemas de certificación de la UE y de la OCDE, y corresponde a una división establecida a partir de criterios genéticos, geográficos y ecológicos para facilitar la comercialización de los materiales de reproducción y su identificación por parte del comprador, pues permite identificar más fácilmente las características de los materiales de reproducción.

En Estados Unidos se sugiere como definición de zona semillera a "una zona de árboles con una composición genética relativamente uniforme, determinada a través de la evaluación de la progenie de varias fuentes de semillas, donde generalmente el área incluida tiene límites geográficos, clima y condiciones de crecimiento bien definidos".

Por su parte, la OECD (1974) usa el concepto de región de procedencia como el "área o conjunto de áreas con condiciones ecológicas suficientemente uniformes en las cuales se encuentran rodales que muestran características fenotípicas y genéticas similares" (Barner y Willan, 1983).

Aplicación e Importancia de las Zonas de Procedencia

Las especies forestales presentan una gran variabilidad. Dentro de sus áreas de distribución pueden existir complejos de poblaciones con grandes diferencias entre ellas en numerosos caracteres relacionados con la adaptación a distintas condiciones ecológicas. Estas diferencias pueden tener un marcado reflejo en el crecimiento, sanidad, desarrollo y consecuentemente en su producción (Agúndez *et al.*, 1995). Por lo mismo, es ampliamente aceptado que en cualquier trabajo de repoblación forestal es de gran importancia conocer el origen o procedencia del material que se va a establecer.

¹⁸ Como expresión equivalente se prefiere usar "zonas de procedencia", pues en algunos contextos el término región se presta a confusión con las unidades de división administrativa del país.

El empleo de una fuente de semillas de procedencia inadecuada puede hacer que la masa que se obtenga no sea la esperada, e incluso, en casos extremos, que la plantación sea un fracaso por no adaptarse a las condiciones ecológicas del sitio. Para evitar estos fracasos, lo ideal es disponer de ensayos de procedencias y en base a sus resultados seleccionar los materiales a plantar en cada zona. Atendiendo a que la situación ideal no es la más frecuente, la medida práctica más conveniente es usar semillas de origen local o de un área ecológicamente similar a aquella donde se realizará la plantación; aun cuando, como se discutirá más adelante, el uso de semilla local no siempre es la opción correcta en todas las situaciones.

Además, si la plantación se efectúa al interior o próxima a una masa natural preexistente, empleando semilla obtenida de una población distante, se estará introduciendo material genético extraño, con el riesgo de alterar las características genéticas de la masa preexistente. Este fenómeno es especialmente delicado cuando se influye sobre poblaciones pequeñas o relictuales, cuya conservación debe efectuarse sin alterar su estructura genética. Sobre este particular, Pastorino y Gallo (2009) enfatizan que una elección errónea del material genético para forestar, en áreas en que la misma especie vegeta en forma natural, genera el riesgo de contaminación genética mediante la introgresión de genes exóticos (no locales) en las masas espontáneas. Este efecto puede ser irreversible y conducir a la pérdida irrecuperable del acervo genético local.

Un sistema de zonas (regiones) de procedencia o zonas semilleras resulta de utilidad para brindar las bases para muestreo genético, servir de guía para la transferencia de semillas en los programas de plantación y para proveer pautas que definan los límites geográficos máximos dentro de los cuales se pueden mezclar semillas.

Adicionalmente, como consecuencia de sus implicancias en aspectos genéticos y ecológicos, las zonas de procedencia tienen una importante aplicación en lo que respecta a regulación de producción, comercio y certificación de semillas. En efecto, las zonas de procedencia se definieron específicamente para regular estos aspectos, donde sus principales funciones son:

- Determinar los límites geográficos máximos dentro de los cuales se puede mezclar la semilla recolectada. Los lotes deben pertenecer a una única región de procedencia.
- Facilitar el comercio del material forestal de reproducción mediante la identificación de la región en la que se han recogido los frutos o semillas.
- Facilitar las recomendaciones de uso de las semillas

Delimitación de Zonas de Procedencia

Idealmente, una zona de procedencias debe estar delimitada de forma que quede constituida por una población de árboles que posean una constitución genética similar y esté definida por límites que puedan ser fácilmente reconocibles. En la práctica, se debe recurrir a soluciones que combinen razonablemente estas condiciones, basándose en aceptar la idea de que la similitud de condiciones ecológicas implica similitud en la constitución genética. Normalmente este criterio es el más utilizado para definir las zonas de procedencia.

El fundamento en que se basa la definición de zonas de procedencias para ordenar la distribución y utilización de semillas forestales, es que existe una relación entre las características del material genético utilizado en una región determinada y las características ecológicas del sitio de origen.

De acuerdo con CTGREF (1976) y Agúndez *et al.* (1995), la delimitación de regiones de procedencias puede efectuarse en forma divisiva o aglomerativa. Adicionalmente, puede diferenciarse en función del número de especies a que se aplica, pudiendo ser una definición de regiones de procedencias para una especie, para varias especies o para todas ellas.

El método aglomerativo une en una zona de procedencias a un conjunto de poblaciones naturales similares, en base a una caracterización ambiental y genética, de modo que cada zona de procedencias queda definida por la suma de varias masas discontinuas. Las principales limitaciones de este sistema se derivan de la necesidad de contar con un buen mapeo de las poblaciones existentes y con una caracterización genética de las mismas, generada a través del estudio de caracteres adaptativos o de marcadores genéticos neutros (Pastorino y Gallo, 2009). Por otra parte, no delimita zonas continuas, pero como contrapartida puede aunar zonas con mejor similitud genética, sin restricción de continuidad (Figura N° 1, der.).

El *método* divisivo es el comúnmente aplicado para especies de las que se cuenta con escasa información básica, como es la situación que enfrenta la mayoría de las especies del bosque nativo chileno. Consiste en la fragmentación del territorio en función de características ecológicas o ambientales, para llegar a definir áreas disjuntas con fronteras bien definidas y que posean características similares. El método se fundamenta en que las variables ambientales son determinantes, mediante procesos adaptativos, de los patrones de variación genética de las especies.

Este enfoque metodológico es el más usado en la mayoría de los países europeos y presenta la ventaja de definir una zonificación común, que puede ser utilizada simultáneamente para distintas especies (Figura N° 1, Izq.).

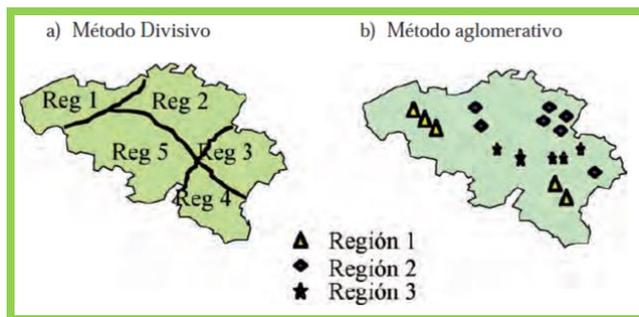


Figura N° 1
MÉTODOS DE DELIMITACIÓN DE ZONAS DE PROCEDENCIA

Los criterios para establecer las uniones (en el método aglomerativo) o divisiones territoriales (en el método divisivo) son, por un lado, la similitud ecológica y, por otro, la similitud en las características fenotípicas o genéticas de las masas forestales que habitan en ellas.

La aplicación práctica de ambos métodos difiere entre los distintos países (Cuadro N° 1), pues las regiones establecidas dependen de la información disponible sobre las especies o el territorio.

En general, el método divisivo requiere de menos información para su implementación y por lo mismo suele ser el más utilizado.

No obstante, con la expansión de las técnicas moleculares y análisis genéticos, el método aglomerativo comenzará a hacerse cada vez más frecuente.

Cuadro N° 1
MÉTODOS APLICADOS EN LA DELIMITACIÓN DE REGIONES DE PROCEDENCIA
EN DISTINTOS PAÍSES EUROPEOS

País	Método		
	Aglomerativo	Divisivo	
		Monoespecífico	Pluriespecífico
Alemania	No	Si	Si
Austria	No	No	Si
Bélgica (Flandes)	No	Si	Si
Bélgica (Valonia)	No	No	Si
España	Si	No	Si
Francia	No	Si	No
Gran Bretaña	No	No	Si
Italia	Si	Si	Si
Lituania	No	Si	Si
Noruega	No	No	Si
Polonia	No	No	Si
Rumania	No	Si	No
Suecia	No	No	Si

(Fuente: Alía *et al.*, 2009a).

Consideraciones para Delimitar Zonas de Procedencias Divisivas

Las condiciones ecológicas medias de cada zona de procedencia indican las diferentes condiciones ambientales a las que pueden haberse adaptado las poblaciones existentes en ellas. Aun así, en general se verificará que poblaciones autóctonas cercanas suelen estar genéticamente más próximas que dos poblaciones distantes, aun cuando estas tengan una gran similitud ecológica. Se debe tener en cuenta que la escala de trabajo para delimitar zonas de procedencia producirá una inevitable heterogeneidad en los factores ecológicos, aunque dado el elevado flujo genético que puede existir entre poblaciones adyacentes, permite asumir que esta heterogeneidad no dará lugar a una diferenciación genética considerable.

El hecho de trabajar en definición de límites de zonas de procedencias y no intentar mapear cada una de las procedencias existentes para cada especie, permite ordenar rápidamente el complejo de variación de las especies, definir un sistema de muestreo continuo y generar zonas en forma práctica y manejable.

Como consideraciones generales al momento de definir zonas de procedencia, se debe tener en cuenta que no es conveniente combinar en una misma zona a territorios que exhiben diferente tipo de clima. Es recomendable segregar como unidades distintas a áreas de clima uniforme (con poca fluctuación) respecto de otras con grandes oscilaciones, aun cuando los promedios sean similares. En este sentido, por ejemplo, la distribución de las precipitaciones a lo largo del año puede llegar a ser más relevante que el monto anual de las mismas. Complementariamente, los valores extremos de temperatura tienen mayor valor como variable de discriminación, que las temperaturas medias de cada zona.

Respecto a los suelos, aun cuando su valor como variable de segregación de zonas de procedencias es menor que el del clima, se aconseja no delimitar zonas que incluyan una heterogeneidad excesiva de suelos, particularmente no incluir en una misma unidad terrenos con suelos de características opuestas (suelos ácidos y básicos; arenosos y arcillosos, etc.).

La altitud es un factor que se relaciona directamente con la expresión de variables edafoclimáticas, de modo que no resulta aconsejable que una zona de procedencias incluya variaciones mayores a 400 metros.

Por otra parte, deben tenerse en cuenta algunas consideraciones de carácter práctico, las que si bien involucrarán algún grado de sacrificio de la homogeneidad al interior de cada zona, como contrapartida contribuirán a facilitar la delimitación, acotar el número de unidades y facilitar la utilización del sistema propuesto. Entre ellas y como una característica propia del sistema divisivo, las zonas de procedencia deberán corresponder a unidades geográficamente continuas, con límites bien definidos y fácilmente distinguibles. En este aspecto, es importante que prevalezca un criterio de unidad geográfica y evitar una fragmentación que produzca un número excesivo de unidades. En ocasiones deberá sacrificarse precisión en la definición de los límites y reemplazar fronteras minuciosas por otras similares de carácter práctico, más fáciles de definir y reconocer en terreno. Los cursos de ríos y fronteras administrativas pueden ser de utilidad en esta situación.

En general la definición de zonas de procedencia utiliza distintos criterios, aunque habitualmente se tienen en cuenta los ecológicos (clima, geología, suelo), los geográficos, los de distribución de la vegetación, los económico-silvícolas y los relacionados con límites administrativos.

- **Aspectos Geográficos y Geomorfológicos**

El aislamiento geográfico es un factor de primer orden en la diferenciación genética entre poblaciones al provocar el aislamiento reproductivo entre ellas. Poblaciones que crecen en ambientes similares pueden ser genéticamente diferentes si no existe flujo genético entre ellas (Martín *et al.*, 1998). Por el contrario, la continuidad geográfica puede homogenizar la genética de las poblaciones que se desarrollan en ambientes distintos, siempre que esta proximidad implique la ausencia de barreras reproductivas.

En Chile los grandes elementos del paisaje, entendidos como franja costera, cordillera de la costa, valle central, precordillera y alta cordillera andina, definen claramente situaciones de diversidad ambiental con una relativa homogeneidad interna que a su vez fluctúa en sentido latitudinal. Tales elementos resultan de gran valor como base para una posterior división de zonas de procedencias.

- **Clima**

De todos los factores que determinan la definición de zonas de procedencias, el clima es el más importante en la adaptación de las especies forestales y sus poblaciones (García del Barrio *et al.*, 2001). En base a la clasificación de climas de Chile se puede determinar a grandes rasgos zonas con condiciones similares.

No se consideran a este nivel las variables edáficas, ya que según Schlatter *et al.* (1994), para una subdivisión territorial a una escala nacional o regional el factor que tiene mayor influencia en definir condiciones similares es el clima. La condición edáfica define el sitio a una escala mucho menor (Vergara *et al.*, 1998).

Considerando el criterio climático, se pueden usar enfoques como el de ordenamiento de la tierra (Schlatter *et al.*, 1994; 1995), que consiste en una división del territorio valiéndose de la variación longitudinal y latitudinal del clima. En este sistema se establecen "zonas de crecimiento" (variación longitudinal) y "distritos de crecimiento" (variación latitudinal).

- **Altitud**

Puesto que el efecto altitudinal es uno de los más importantes, pues se relaciona con cambios de clima y de suelo, normalmente se le considera como un factor esencial a la hora de efectuar zonificaciones. Al respecto existen algunas consideraciones a tener en cuenta, entre ellas no trasladar semillas a zonas con más de 400 m de diferencia de

altitud, o equivalentemente no incluir diferencias de altitud superiores a 400 m en una misma zona de procedencia.

- **Suelo**

La adaptación de las especies a las condiciones edáficas no es tan estricta como lo es a las climáticas, destacando que la recomendación general es no plantar en suelos ácidos con semillas provenientes de árboles que crecen en suelos básicos o viceversa. Tampoco trasladar de suelos arenosos a arcillosos.

Para que se produzca adaptación a condiciones edáficas particulares, estas deben cubrir zonas amplias donde el flujo genético con poblaciones adyacentes, que presenten características edáficas diferentes, sea lo suficientemente pequeño para permitir la selección de los genotipos más adaptados (García del Barrio *et al.*, 2001).

- **Vegetación**

La vegetación puede ser usada como un indicador de variación ambiental. Los cambios vegetacionales existentes en un territorio son de una gran relevancia para poder identificar barreras climáticas y frenos en los flujos de genes.

Estos cambios pueden ser específicos, involucrando a una o pocas especies, o bien generales, en los cuales existe un cambio que aun cuando es gradual, implica la desaparición completa de grupos de especies, para dar paso a otras asociaciones vegetales.

Distinta información derivada del estudio de la vegetación puede ser de utilidad para definir zonas de procedencia. En una primera instancia la distribución de los tipos forestales puede contribuir a este objetivo. Evidencias de diferencias en el crecimiento y fenología de distintas especies también dan cuenta de diferencias ambientales o genéticas que ameriten ser consideradas en la definición de zonas de procedencias.

- **Otras**

Según Vergara *et al.* (1998), en Chile las cuencas de los ríos principales están distribuidas de tal forma que van sucediéndose a medida que avanza la latitud y cambia el clima. Por ello, y considerando que la cuenca es una unidad ideal en la que fenómenos como dispersión del polen y semilla deberían formar un sistema relativamente cerrado, es una forma interesante para diferenciar poblaciones que se muestran continuas.

Zonas de Procedencia en Chile

En Chile no se ha implementado un sistema oficial de zonas de procedencia para el material de reproducción de las especies forestales nativas. La utilización de material sin consideraciones de adaptabilidad de las especies nativas puede originar pérdidas económicas y de diversidad genética, ejemplo de esta situación se da comúnmente cuando se utilizan semillas forestales de otras regiones o zonas del país sin considerar aspectos tales como la adaptabilidad al sitio, en particular a la altitud y latitud (clima).

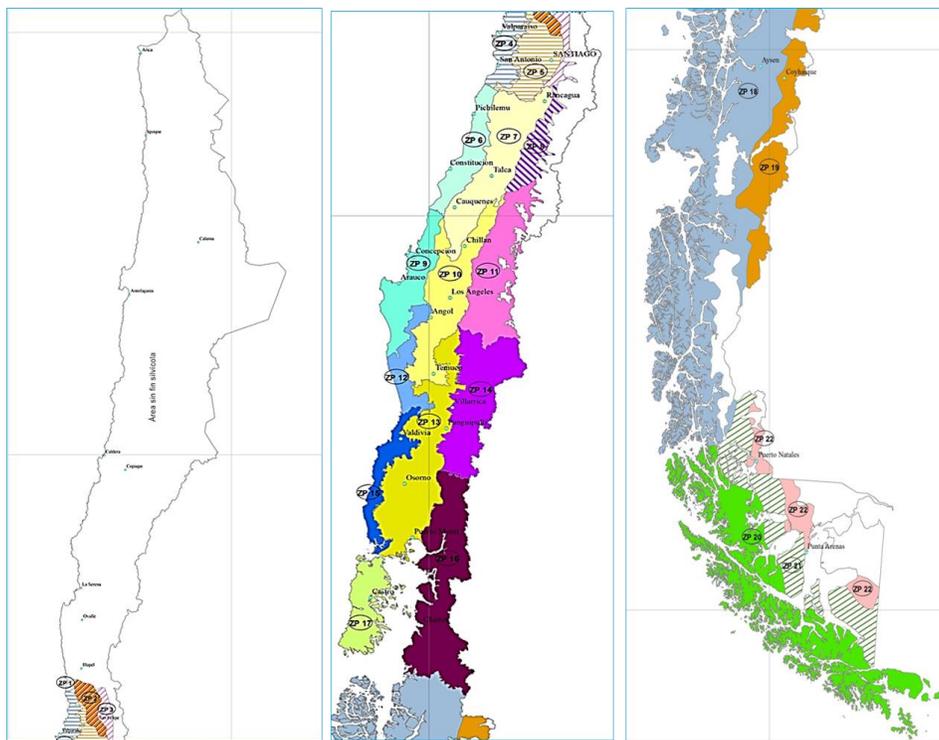
La información disponible sobre la variación de las especies se utiliza en pocos casos, y casi siempre en el planteamiento general del problema, ya que esta información suele ser incompleta y referida a pocas poblaciones. En el mejor de los casos los datos procedentes de ensayos de procedencias-progenies y de marcadores bioquímicos pueden ser utilizados para precisar los límites entre las zonas, aun así, para las especies forestales nativas de Chile esa es una información de la que no se dispone en forma generalizada, situación que enfatiza la necesidad de recurrir a una zonificación de carácter fundamentalmente ambiental o ecológico para

definir las zonas de procedencias nacionales (método divisivo).

En el marco del proyecto FONDEF D96-I1052 Mejoramiento Genético para Especies de *Nothofagus* de Interés Económico, Vergara *et al.* (1998) definieron zonas de procedencia en base al método divisivo para las especies roble (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*N. alpina*)

En el curso del proyecto D98-I1075 "Mejoramiento Genético para la Primera Generación de Coigüe y Laurel en Chile" se aplicó el mismo procedimiento para definir zonas de procedencia para coigüe (*Nothofagus dombeyi*) y laurel (*Laurelia sempervirens*).

Posteriormente, Quiroz y Gutiérrez (2014), en el marco de una propuesta de reglamento para semillas y plantas forestales, desarrollaron un mapa de zonas de procedencias orientado a normar y regular el origen de las semillas de especies forestales nativas. Este instrumento correspondió a una aplicación del método divisivo, de aplicación multiespecífica, donde se divide el área de interés silvícola del país, desde la región de Coquimbo a la de Magallanes, en 22 zonas de procedencias relativamente homogéneas en base a información de clima, fisiografía vegetación y suelos (Figura N° 2).



(Fuente: Quiroz y Gutiérrez, 2014)

Figura N° 2
MAPA DE ZONAS DE PROCEDENCIAS PARA ESPECIES FORESTALES NATIVAS

ENFOQUES COMPLEMENTARIOS A LA DEFINICION DE ZONAS DE PROCEDENCIA

Zonas Genéticas

Un enfoque complementario relacionado con la definición de zonas de procedencias es la definición de zonas genéticas. Pastorino y Mondino (2016) diferencian ambos conceptos indicando que una zona genética es un grupo de poblaciones naturales con continuidad geográfica que guardan cierta similitud genética verificada con marcadores genéticos, mientras que una región de procedencia es un grupo de poblaciones naturales con continuidad geográfica que pertenecen a una misma zona genética y de las cuales se esperan similares respuestas adaptativas.

Alternativamente, la zona genética puede considerarse también como una situación particular de zonas de procedencias aglomerativas, donde el criterio de aglomeración ha sido la similitud genética determinada con marcadores moleculares.

En cualquier caso, independiente de los matices de diferencia o similitud entre ambos conceptos, la caracterización genética molecular es una herramienta poderosa y de uso cada vez más frecuente para estudiar y zonificar poblaciones naturales.

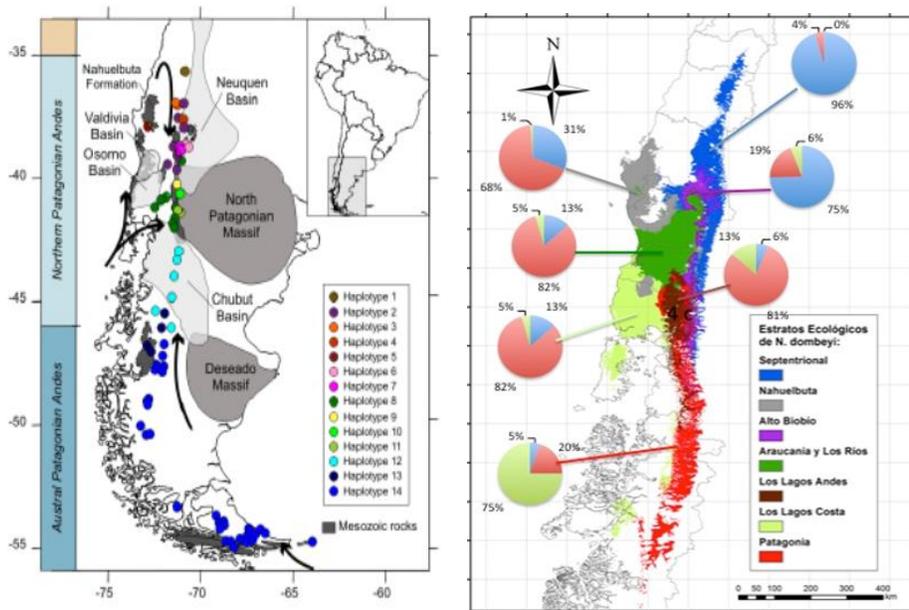
Azpilicueta *et al.* (2016) indican que las zonas genéticas están conformadas por bosques que tienen composiciones genéticas similares entre sí, unidos por un acervo genético común. Esto permite inferir que los individuos con una historia evolutiva común, compartiendo una misma zona genética, están adaptados a condiciones similares del ambiente, siempre teniendo presente que la información surge de marcadores neutros que no están sometidos a procesos de selección. Por definición, las zonas genéticas son regiones genéticamente homogéneas dentro de las cuales el efecto de la transferencia de material, ya sea seminal o vegetativo, genera un impacto mínimo a nivel de su estructura genética.

Los autores mencionados añaden que la identificación de zonas genéticas conforma una instancia previa a la definición de regiones de procedencia, donde además se incorpora información sobre la respuesta adaptativa del material, a partir de la evaluación de caracteres cuantitativos en ensayos o inferida con base en las condiciones ambientales homogéneas de la zona.

Para la definición de las zonas genéticamente homogéneas de raulí y roble en Argentina se realizaron análisis de agrupamientos en base a la composición genética de las poblaciones, determinada a través de los marcadores moleculares. La primera zonificación se realizó con los marcadores microsátélites por su característica de alto polimorfismo; el análisis a partir del estudio del ADN de cloroplasto se utilizó como información complementaria. Dadas las características de este último marcador, principalmente aquellas asociadas a su baja tasa de cambio o mutación, permite discriminar dentro de un mismo grupo, orígenes distintos que ameriten una distinción al agrupamiento realizado con los microsátélites. El estudio permitió determinar cinco zonas genéticas para raulí y tres para roble (Azpilicueta *et al.*, 2016).

Mathiasen y Premoli (2010) analizan las poblaciones argentinas de lenga (*Nothofagus pumilio*) con marcadores de ADN de cloroplastos, proponiendo dos grandes zonas genéticas al norte y sur del paralelo 42° S (Figura N° 3).

Por su parte, en Chile, Hasbún (2015) en el contexto del proyecto FIBN068/2012 Certificación Genética del Origen de Materiales Reproductivos de Coigüe Mediante Herramientas Moleculares y Modelos Ecológicos, hace uso de marcadores SNP y AFLP para determinar zonas genéticas de coigüe (Figura N° 3).



(Fuentes: Mathiasen y Premoli, 2010 (lenga); Hasbún, 2015 (coigüe))

Figura N° 3
DEFINICIÓN DE ZONAS GENÉTICAS PARA LENGUA EN ARGENTINA Y COIGÜE EN CHILE

Modelación de Nicho Ecológico y Clima Futuro

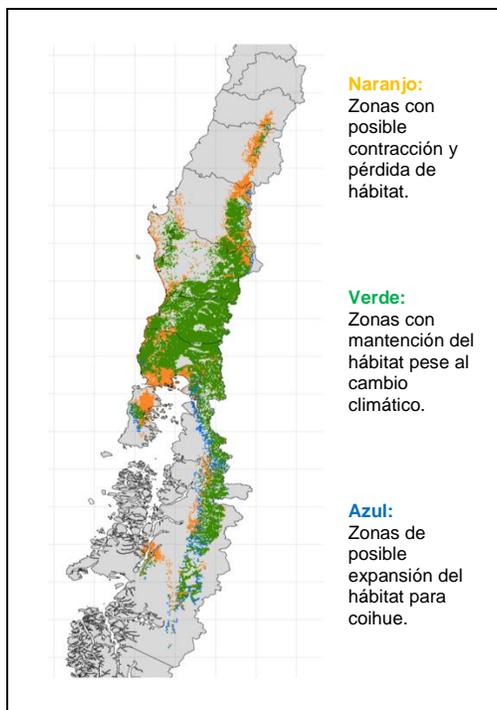
El cambio climático es un fenómeno global que con distinta intensidad afecta a toda la vida del planeta. Ante esta condición los árboles forestales pueden presentar tres respuestas clásicas: (i) Extinción, en las áreas donde las nuevas condiciones no les sean adecuadas; (ii) Adaptación, donde las condiciones ambientales lo permitan; y (iii) Migración hacia sitios que resulten más similares a su óptimo ecológico. Las tres opciones involucran cambios en los patrones de distribución y producen alteraciones en la definición de zonas de procedencias.

En tal escenario, para mejorar la definición de zonas de procedencias existen alternativas entre las que se destaca el modelamiento de nicho ecológico, que comprende la predicción de la distribución futura de especies según los pronósticos de cambio climático y el uso de la información de interacción genotipo-ambiente, derivada de ensayos de progenies y procedencias replicados en diversos sitios. Ambas son una ayuda para identificar fuentes de semillas apropiadas para un sitio en particular y el rango donde tales semillas pueden ser utilizadas sin pérdidas significativas de adaptación, de acuerdo a sus límites de tolerancia ecológica (Gutiérrez, 2017).

Alía *et al.* (2009b) plantean que una opción para predecir comportamiento de plantaciones y mejorar la definición de zonas de procedencia es el uso de modelos climáticos. Mediante la combinación de datos climáticos, topográficos y edáficos, junto con registros de presencia/ausencia de la especie en la actualidad, es posible modelar la distribución futura, es decir los sitios idóneos donde la especie puede habitar (Marchelli *et al.*, 2016) y que a su vez pueden ser una referencia para la implementación de iniciativas de migración asistida.

El aumento de temperaturas y reducción de precipitaciones, asociado al fenómeno de cambio climático, creará zonas con veranos más cálidos y secos, donde muchas de las formaciones vegetales se encontrarán en una baja idoneidad climática, con mayor riesgo para su supervivencia y estimuladas a migrar hacia áreas con mayor afinidad ecológica. Así, zonas que actualmente pueden resultar marginales o de difícil colonización se podrían convertir en lugares adecuados para esas especies. Consecuentemente, la regla que propone la procedencia local como idónea, puede no ser necesariamente cierta en un futuro y deja en evidencia el carácter temporal de la distribución de las especies y, por lo tanto, de la definición de zonas de procedencia (Alía *et al.*, 2009b).

Estudios de esta naturaleza efectuados en Argentina (Marchelli *et al.*, 2016) predicen que la distribución natural de raulí enfrentará una drástica reducción, mientras que roble al ser más tolerante a ambientes de menor precipitación, solo será afectado en determinadas localidades extremas, pero que su distribución sería incluso mayor que la actual. Resultados de un estudio similar efectuado por Hasbún (2015), para la especie coihue en Chile, se resumen en la Figura N° 4, donde se ilustran las áreas de reducción, ampliación y mantenimiento de su distribución como consecuencia del efecto del cambio climático.



(Fuente: Hasbún, 2015)

Figura N° 4
ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT DE COIHUE
SEGÚN VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

¿MOVER O NO MOVER SEMILLAS ENTRE ZONAS DE PROCEDENCIA?

Regiones de Identificación y Uso de Semillas

Ya se esbozó que en escenarios de cambio climático la semilla local puede no ser necesariamente el material más adecuado para poblar un área determinada, no obstante, cuando no se dispone de información confiable que justifique el uso de otra fuente de semilla, lo más prudente es utilizar la fuente local.

Una finalidad de la definición de regiones de procedencia es caracterizar una especie a través de un conjunto de masas similares entre sí y relativamente distintas del resto, a lo largo del territorio geográfico en el que la especie se localiza. Sin embargo, existe la posibilidad de similitudes entre las masas que pueblan regiones geográficamente distantes, lo que abre el camino a homologaciones entre regiones favorables para el intercambio de material de reproducción entre sí (Alía *et al.*, 2009b).

En efecto, territorios o zonas de procedencia alejadas pueden tener características o respuestas fenotípicas similares para un material procedente de la misma zona de procedencia, o materiales de zonas distintas pueden producir masas muy productivas o bien adaptadas en otras zonas.

A partir de esos enunciados García del Barrio *et al.* (2001) desarrollan las llamadas regiones de identificación y utilización (RIU) del material forestal de reproducción en España, conformando un esquema que identifica para cada zona de procedencia de una especie en particular, los sitios fuera de esa zona donde puede establecerse la especie y esperar resultados satisfactorios.

Esta situación constituye uno de los casos donde, basándose en información y antecedentes de ensayos, se puede prescribir el uso de semilla no local para establecer masas forestales de adecuado desempeño.

Acervos Genéticos para Restauración

En acciones de restauración y plantación, y con el fin de mantener una estructura genética que asegure la adaptación de los genotipos al ambiente, la mejor alternativa consiste en utilizar material de propagación de la misma población a restaurar. Sin embargo, muchas veces el fuerte grado de deterioro de los bosques a intervenir impide implementar esta alternativa, constituyendo entonces una situación en que debe privilegiarse el uso de semilla foránea.

Tal escenario ocurre en condiciones de gran alteración, cuando no existen fuentes de semilla local, o cuando las fuentes existentes son pequeñas, de poca variabilidad genética y ya no resultan adecuadas para repoblar el sitio degradado.

En estas condiciones Broadhurst y Boshier (2014) señalan que las fuentes locales podrían no producir semilla de calidad para labores de restauración, indicando que la pérdida de diversidad genética puede requerir el uso de semillas desde poblaciones no locales.

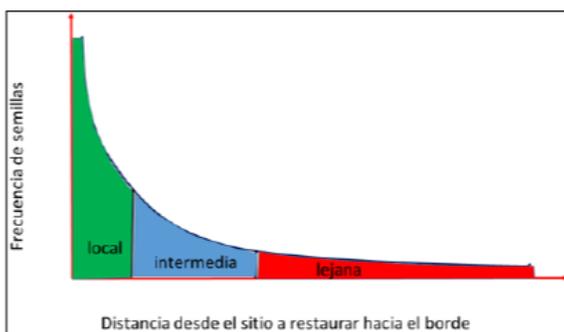
En estas situaciones, Jones (2003) y Jones y Monaco (2007) definen los denominados acervos genéticos para restauración (Figura N° 5), los que, en función de su proximidad o identidad genética con la población objetivo, los clasifican en cuatro categorías; desde el más parecido al material local (acervo primario), hasta el más distante (acervo cuaternario).

ACERVOS GENÉTICOS PARA RESTAURACIÓN		
Primario	Alta identidad genética con población objetivo. Incluye sólo material local y de poblaciones conectadas mediante flujo génico.	Local - Misma zona de procedencia
Secundario	Cuando no se dispone de primario. Corresponde a semillas colectada desde poblaciones de la misma especie pero no conectadas mediante flujo génico con la población objetivo	Misma u Otra zona de procedencia
Terciario	Especies o grupos taxonómicos relacionados con los del sitio objetivo, o híbridos entre aquellos y estos	Otras especies, otros orígenes, exóticas
Cuaternario	Considera especies o grupos taxonómicos que puedan cumplir papeles similares en la estructura y función ecosistémica que aquellos desempeñados por las especies de la población objetivo	

(Fuente: Elaboración propia a partir de Jones, 2003 y Jones y Monaco, 2007)

Figura N° 5
CARACTERIZACIÓN DE LOS ACERVOS GENÉTICOS PARA RESTAURACIÓN

El enfoque de los acervos genéticos de restauración reconoce la diferencia entre identidad genética y potencial de adaptación, sugiriendo que cuando el material local (acervo primario) es escaso, con poca variabilidad o ya no resulta apropiado para repoblar el sitio degradado, entonces se debe complementar con semillas de fuentes no locales (acervos secundario, terciario y cuaternario) con potencial de adaptación. En el mismo sentido, para efectos de restauración, Lowe (2010) sugiere utilizar mezcla de semillas donde se combinen en distinta proporción orígenes locales con otros más distantes respecto al sitio a restaurar (Figura N° 6).



(Fuente: Lowe, 2010)

Figura N° 6
COMPOSICIÓN DE MEZCLA DE SEMILLAS PARA RESTAURACIÓN

CONCLUSIONES

Las zonas de procedencias están concebidas para facilitar el comercio del material forestal de reproducción mediante la identificación de la zona en la que se han recogido los frutos o semillas. Ellas resultan de gran importancia debido a su incidencia en aspectos tan relevantes de una plantación, como lo son su adaptabilidad y la disminución de riesgos de contaminación genética de las masas autóctonas preexistentes. Por lo mismo, es altamente conveniente contar con una división de zonas de procedencia que oriente y regule el movimiento de semillas de las especies forestales nativas, aspecto que será de particular relevancia para apoyar iniciativas de restauración de bosques degradados.

Existen diversas alternativas para realizar tal zonificación, incluso existen algunas propuestas ya confeccionadas, las que podrían ser objetos de mejora en la medida que se disponga de más información y estudios genéticos que permitan caracterizar las poblaciones de las especies de mayor interés.

La distribución de las especies es un fenómeno dinámico que se altera y acelera con el cambio climático, luego la definición de zonas de procedencias también es temporal.

El uso de semilla local para iniciativas de plantación y restauración es una consideración prudente que debe tenerse en cuenta, pero también debe considerarse que no siempre el origen local es el más adecuado y que hay situaciones donde puede ser necesario o aconsejable utilizar orígenes foráneos.



REFERENCIAS

Agúndez, D.; Martín, S.; De Miguel, J.; Galera, R.; Jiménez, M. y Díaz-Fernández, P., 1995. Las regiones de procedencia de *Fagus sylvatica* en España. ICONA. Madrid, España. ISBN 84-8014-139-5. 104 p.

Alía, R.; Mancha, J.; Sánchez de Ron, D.; Barba, D.; Climent, J.; García del Barrio, J.; Notivol, E. e Iglesias, S., 2009a. Las regiones de procedencia de las especies forestales en Europa. En: Revista de la Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales, Foresta N°46. Pp: 44-48.

Alía, R.; García del Barrio, J.; Iglesias, S.; Mancha, J.; de Miguel, J.; Peragón, J.; Pérez, F. y Sánchez del Ron, D., 2009b. Regiones de procedencia de especies forestales en España. CIFOR-INIA. Dpto. Sistemas y Recursos Forestales. Madrid, España. 363 p.

Azpilicueta, M.; Marchelli, P.; Umaña, F.; Thomas, E.; Van Zonneveld, M. y Gallo, L., 2016. Definición de zonas genéticas como fuente de semilla en raulí y roble pellín en Argentina. En: Azpilicueta, M. y Marchelli, P. (Eds). Zonas genéticas de raulí y roble pellín en Argentina: Herramienta para la conservación y el manejo de la diversidad genética. INTA Ediciones. Bariloche, Río Negro. Pp: 21-28

Barner, H. y Willan, R., 1983. El concepto de zonas semilleras. En: Unidades de recolección de semillas: Zonas semilleras. Nota técnica N° 16. Humlebaek, Dinamarca. Pp: 4-9.

Broadhurst, L. y Boshier, D., 2014. Seed provenance for restoration and management: Conserving evolutionary potential and utility. En: 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.

CTGREF, 1976. Semences forestieres. Les regions de provenances de picea común. CTGREF Note Tech. N° 30.

García del Barrio, J.; De Miguel, J.; Alía, R. e Iglesias, S., 2001. Regiones de identificación y utilización de material forestal de reproducción. Serie cartográfica. Secretaría General del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. España. 293 P.

Gutiérrez, B., 2017. Regiones de procedencia: Un ordenamiento de Fuentes Semilleras. Presentación en curso Internacional Rehabilitación de Bosques Chilenos, Principios Genéticos: Iniciativa 20x20 y Desafío de Bonn. Instituto Forestal. Chillán 2 de noviembre de 2017.

Hasbún, R., 2015. Estudio de caso N° 4: Conservación de coigüe. Presentación en Curso Internacional de Conservación de Recursos Genéticos Forestales. INFOR FIA. Valdivia 21 al 25 de septiembre de 2015.

Jones, T., 2003. The Restoration Gene Pool Concept: Beyond the Native Versus Non-Native Debate. Restoration Ecology Vol. 11 N° 3, pp. 281-290.

Jones, T. y Monaco, T. A., 2007. Restoration Practitioner's Guide to the Restoration Gene Pool Concept. Ecological Restoration 25:1. March 2007 pp. 12-19.

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'Connor. Supplement to Wingspan 20(1) March.

Marchelli, P.; Azpilicueta, M.; Thomas, E.; Van Zonneveld, M. y Gallo, L., 2016. Distribución futura: Impacto del cambio climático global. En: Azpilicueta, M. y Marchelli, P. (Eds). Zonas genéticas de raulí y roble pellín en Argentina: Herramienta para la conservación y el manejo de la diversidad genética. INTA Ediciones. Bariloche, Río Negro. Pp: 35-38.

Martin, S.; Díaz-Fernández, P. y De Miguel, J., 1998. Regiones de procedencia de especies forestales españolas: Descripción y principales características Géneros *Abies*, *Fagus*, *Pinus* y *Quercus*. Dpto. de Mejora y Biotecnología CIFOR-INIA. Unidad de Anatomía, fisiología y Genética ETSI de Montes. UPM. España. 22 p + anexos.

Mathiasen, P. y Premoli, A., 2010. Out in the cold: Genetic variation of *Nothofagus pumilio* (*Nothofagaceae*) provides evidence for latitudinally distinct evolutionary histories in austral South America. Molecular Ecology 19: 371–385

OECD, 1974. OECD Scheme for the control of Forest Reproductive Material Moving in International Trade. Paris, France.

Pastorino, M. y Mondino, V., 2016. Restauración de bosques nativos: La importancia del origen de las semillas. Actualidad El Cordillerano. 5 septiembre, 2016.

Pastorino, M. y Gallo, L., 2009. Definición de regiones de procedencia para las especies nativas de mayor potencial de domesticación: Resultados preliminares en ciprés de la cordillera. En: XII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. 18-23 de octubre de 2009. 7 p.

Quiroz, I. y Gutiérrez, B., 2014. Propuesta de reglamento para semillas y plantas forestales. Resultado del proyecto INNOVA Chile-CORFO 11BPC-9967 "Desarrollo de una propuesta de reglamento para semillas y plantas forestales". Instituto Forestal. Concepción, Chile. 74 p.

Schlatter, J.; Gerding, V. y Adriazola, J., 1994. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal aplicada a las Regiones VII, VIII y IX. Serie Técnica, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 114 p.

Schlatter, J.; Gerding, V. y Huber, H., 1995. Sistema de ordenamiento de la tierra. Herramienta para la planificación forestal aplicada a la X Región. Serie Técnica, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 93 p.

Vergara, R.; Ipinza, R.; Donoso, C. y Grosse, H., 1998. Definición de zonas de procedencias de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) y raulí (*Nothofagus alpina* (Poep. et Endl.) Oerst.). Estado de avance. En: Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, "El manejo Sustentable de los Recursos Forestales, Desafío del Siglo XXI". Valdivia, 22 al 28 de noviembre de 1998.

RESUMEN

El cambio climático está afectando a los bosques mediante dos mecanismos fundamentales; la propensión a los incendios forestales y la predisposición a plagas y enfermedades. En Chile, el longevo y emblemático árbol *Araucaria araucana* está sufriendo una pérdida de vitalidad que lo está debilitando y haciéndolo susceptible a patógenos. El SIMEF (INFOR/CONAF/FAO), con el apoyo del sector privado (CMPC), ha desarrollado una estrategia de adaptación al cambio climático, denominada migración asistida. La estrategia considera la determinación de los factores climáticos que debilitan a la especie en su distribución natural, tanto en el presente como en los próximos 50 y 70. Además, se determina donde se desarrollaría en forma apropiada la especie, área de acogida, considerando las mismas proyecciones climáticas. En términos generales el área de acogida es Aysén. Se colectó semilla, inicialmente de 418 madres a lo largo de su distribución biogeográfica, se viverizaron plantas en un ambiente común, manteniendo la identificación de la familia. Luego se plantarán bajo un diseño experimental de forma tal que la variación genética adaptativa se exprese a través de dos variables primarias: la supervivencia y el crecimiento.

Este documento muestra los avances en hitos operacionales considerados para establecer el primer ensayo demostrativo de progenie y procedencia de *Araucaria araucana* en 2019 en la Reserva Nacional de Coyhaique y otro ensayo de conservación más amplio en 2020 en otro lugar de la región. Sin lugar a dudas el modelo de migración asistida se convertirá en un mecanismo público – privado de adaptación al cambio climático para salvaguardar el potencial evolutivo de las especies afectadas.

Palabras clave: Conservación, Cambio climático, *Araucaria araucana*, Migración asistida

SUMMARY

Climate change is affecting forests through two fundamental mechanisms; the propensity to forest fires and the predisposition to pests and diseases. In Chile, the long-lived and emblematic *Araucaria araucana* tree is suffering a loss of vitality that is weakening it and making it susceptible to pathogens. SIMEF (INFOR / CONAF / FAO), with the support of the private sector (CMPC), has developed a climate change adaptation strategy, called assisted migration. The strategy considers the determination of climatic factors that weaken the species in its natural distribution, both in the present and in the next 50 and 70. In addition, it is determined where the species, host area would be developed properly, considering the same weather projections. In general terms, the reception area is Aysén. Seeds were collected, initially from 418 mothers throughout their biogeographic distribution, plants were nursery in a common environment, maintaining family identification. They will then be planted under an experimental design in such a way that adaptive genetic variation is expressed through two primary variables: survival and growth.

This document shows the advances in operational steps considered to establish the first demonstration trial of progeny and provenance of *Araucaria araucana* in 2019 in the Coyhaique National Reserve and another broader conservation trial in 2020 in another place in the region. Without a doubt, the assisted migration model will become a public - private mechanism for adaptation to climate change to safeguard the evolutionary potential of the affected species.

Keywords: Conservation, Climate change, *Araucaria araucana*, Assisted migration.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático está afectando a muchas especies forestales en Chile y sobresale entre ellas la *Araucaria araucana*. El estrés integral, representado por las temperaturas máximas de enero y mínimas de julio, y el déficit hídrico (Santibañez y Santibañez, 2018), actúa como un factor de predisposición (Manion, 1981) haciendo que la araucaria pierda su vitalidad y sea afectada por hongos patógenos (Sanfuentes, *et al.*, 2018), situación que estaría provocando el daño foliar de la araucaria.

De acuerdo a Parra *et al.* (2018) en más del 90% de su distribución biogeográfica la especie está afectada por este problema, incluso con la muerte de árboles en lapsos no mayores a un año.

Dada la magnitud del problema sanitario detonado por el cambio climático, en septiembre del 2017 se inició, con el apoyo de CONAF/FAO/SIMEF, un programa de migración asistida para *Araucaria araucana* (SIMEF-INFOR, 2017).

Como todo árbol, esta especie tiene su capacidad de dispersión más o menos limitada y la presión del cambio climático sobrepasa sus capacidades normales de dispersión.

No es sorprendente en consecuencia que la idea de una migración asistida aparezca como una solución lógica y eficaz al problema de la adaptación o, más propiamente, de la falta de adaptación de los árboles al cambio climático (Aitken *et al.*, 2008).

Adicionalmente, no habiendo certeza total de las causas de la enfermedad, ni de herramientas de prevención y menos aún de control, la migración asistida es un principio precautorio que es preciso implementar para esta especie de significancia no solo a nivel nacional sino mundial (Ipinza, 2018).

En el presente documento se describe el plan o procedimiento operativo del primer macro ensayo de progenies y procedencias de *Araucaria araucana* que marca el inicio de la migración asistida de esta especie en Chile. El ensayo se establecerá en abril del año 2020.

Preliminarmente, durante septiembre-octubre de 2019, se establece un ensayo complementario de menor tamaño en la Reserva Forestal Coyhaique en la región de Aysén. Otros ensayos complementarios se establecerán en 2020 en comunidades pehuenches.

En este ambicioso plan concurren con recursos y profesionales SIMEF (Sistema de Monitoreo de Ecosistemas Forestales, proyecto GEF-FAO), INFOR, CONAF y Forestal Mininco.

ACTIVIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS DE CONSERVACIÓN DE ARAUCARIA

Seminario Internacional sobre el Daño Foliar en Araucaria

En el Seminario Internacional sobre el Daño Foliar en *Araucaria araucana*, efectuado en Villarrica, Chile, los días 7 a 9 de noviembre de 2017 se aprobó que a través del SIMEF (Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistema Forestales) se lleve adelante la conservación *in situ* de araucaria, mediante migración asistida.



Capacitación Fitosanitaria de Colectores de Semillas

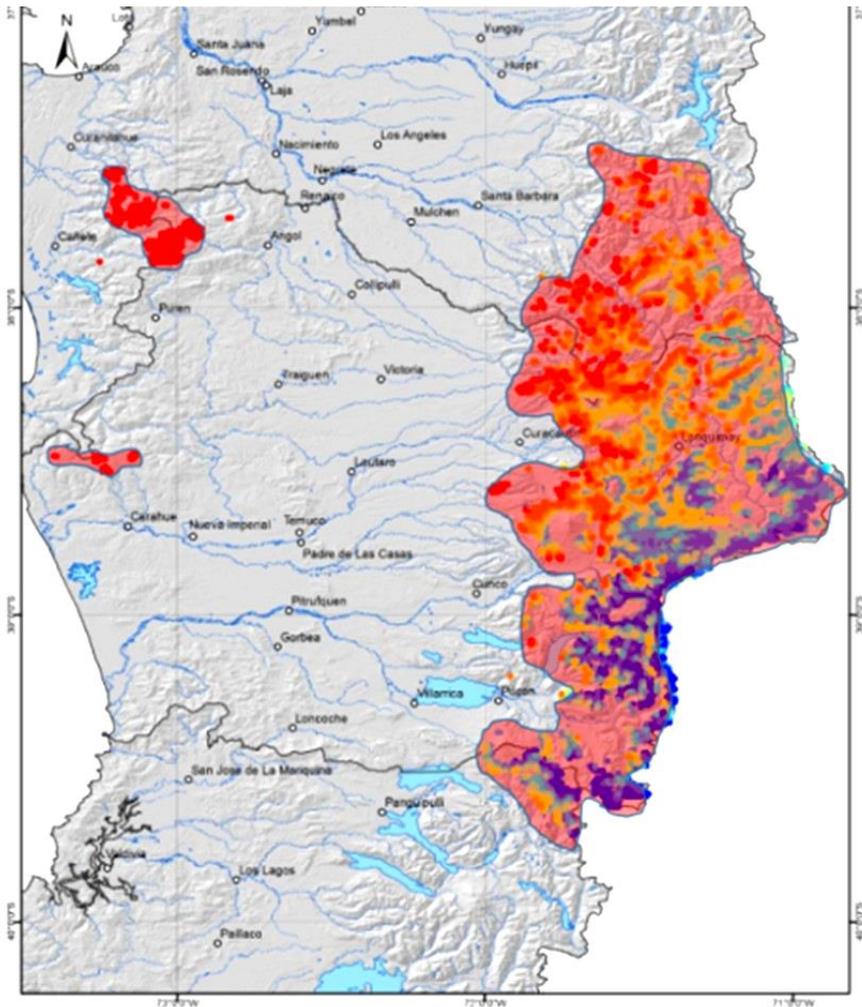
En el primer trimestre del 2018 se realizó una prospección y una capacitación en aspectos fitosanitarios de la araucaria de personal especializado de CONAF al equipo de colecta de semillas de INFOR.



La Relación entre Cambio Climático y Daño Foliar en Araucaria

Respecto de la relación entre el cambio climático y el daño en araucarias, en la Figura N° 1 se ha delimitado la distribución de la araucaria y se ha destacado en rojo áreas de mayor nivel de estrés climático por altas y bajas temperaturas y por déficit hídrico.

El cambio climático actúa como un factor de predisposición que debilita a la araucaria, le hace perder su vitalidad, de forma tal que la hace susceptible al ataque de organismos patógenos, que desencadena el daño foliar, que en condiciones de pleno vigor de los árboles no serían afectados.



(Rojo: Áreas de mayor estrés climático)

Figura N° 1
DISTRIBUCIÓN DE LA ARAUCARIA REGIONES DE BIO BIO A LOS RÍOS

Muestreo y Colecta de Semillas

En la Figura N° 2 se indican los puntos de cosecha de las 458 madres seleccionadas a lo largo de la distribución natural de araucaria en las zonas de procedencia Andes y Costa de Chile, desde las cuales se obtuvo semilla para caracterizar y resguardar la variabilidad de la especie a lo largo de su distribución. La colecta se realizó durante las temporadas 2018 y 2019

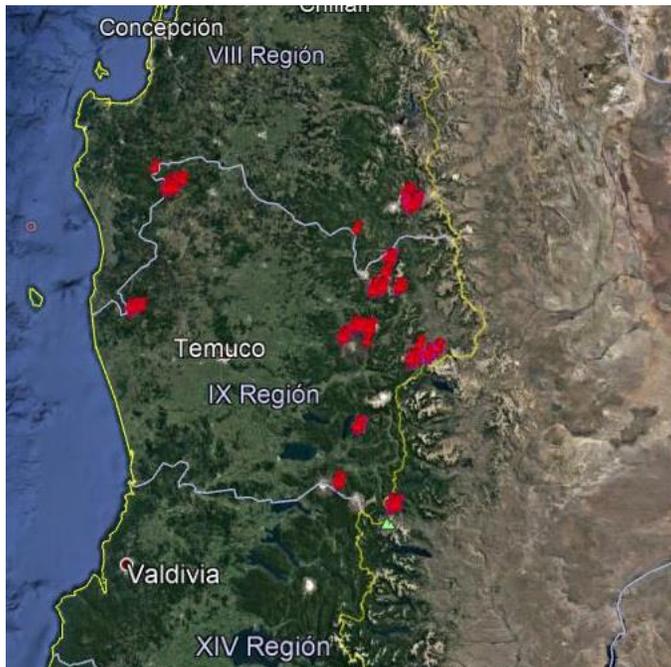


Figura N° 2
PUNTOS DE COSECHA DE SEMILLAS EN ÁREAS DE COSTA Y DE ANDES

Análisis de Laboratorio de la Semilla

Previo a la siembra, las muestras de cada una de las familias fueron guardadas en cámara de frío a 4 C° y se les realizaron los análisis morfológicos y fisiológicos completos.



Figura N° 3
ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS DE SEMILLAS

Viverización

Esta fase corresponde a la siembra de las semillas o piñones en contenedores de corteza de pino compostada, y los respectivos cuidados y manejos culturales de las plantas hasta el momento de su despacho a plantación. Esta fase se desarrolló en el vivero Carlos Douglas de Forestal Mininco (CMPC), empresa con la que se estableció un convenio de colaboración (Figura N° 4) para la viverización de araucaria, la siembra de la colección de semillas y la producción de plantas (Figura N° 5).



Figura N° 4
FIRMA CONVENIO COLABORACIÓN INFOR - FORESTAL MININCO



(8 de Julio del 2019)

Figura N° 5
VIVERIZACIÓN DE PLANTAS VIVERO FORESTAL MININCO

Micorrización de Plantas

En julio de 2019, en el vivero Carlos Douglas, el equipo técnico del grupo de Mejoramiento y Conservación Genética de INFOR, con el apoyo de personal técnico de la empresa y un experto español, procedió a la micorrización artificial por inmersión de las plantas empleando, como inóculo *Pisolithus tinctorius* (PT), previamente producido en laboratorio de INFOR (Figura N° 6).

Esta técnica dota a las plantas, que se establecerán en 2019-2020 en la región de Aysén, de los vínculos biológico que la harán más resistentes a la presión de selección del Cambio Climático.



Figura N° 6
MICORRIZACIÓN DE PLANTAS POR INMERSIÓN

Determinación de Zonas de Acogida

La selección de sitio para establecimiento del ensayo de conservación se realizó sobre la base de un estudio desarrollado por el Dr. Fernando Santibáñez en la región de Aysén, orientado a la modelación de nicho ecológico para las condiciones climáticas de los próximos 50 años y así determinar las principales áreas de acogida para *Araucaria araucana*.

En la Figura N° 7 se muestra una vista general donde se destacan estas áreas en tres niveles de estrés integral para Aysén. La zona azulosa es el área de acogida de mínimo estrés para *Araucaria araucana* para los próximos 50 años.

En la Figura N° 8 en tanto se muestran dos pares de fotografías. En el primer par se observa al lado izquierdo una sobre posición de las zonas de estrés climático de Aysén (color azuloso es de mínimo estrés) con la localización en color rojo del patrimonio de CMPC, en dicha región. La fotografía de la derecha es una imagen Google de dicha localización.

En el siguiente par de imágenes se observa al lado izquierdo un acercamiento con la individualización de un rodal de *Pinus ponderosa* de 15 años, de propiedad de CMPC, de color rojo intenso, que cae sobre una mancha azulosa o zona de mínimo estrés. La fotografía de la derecha es una imagen Google de dicha localización.

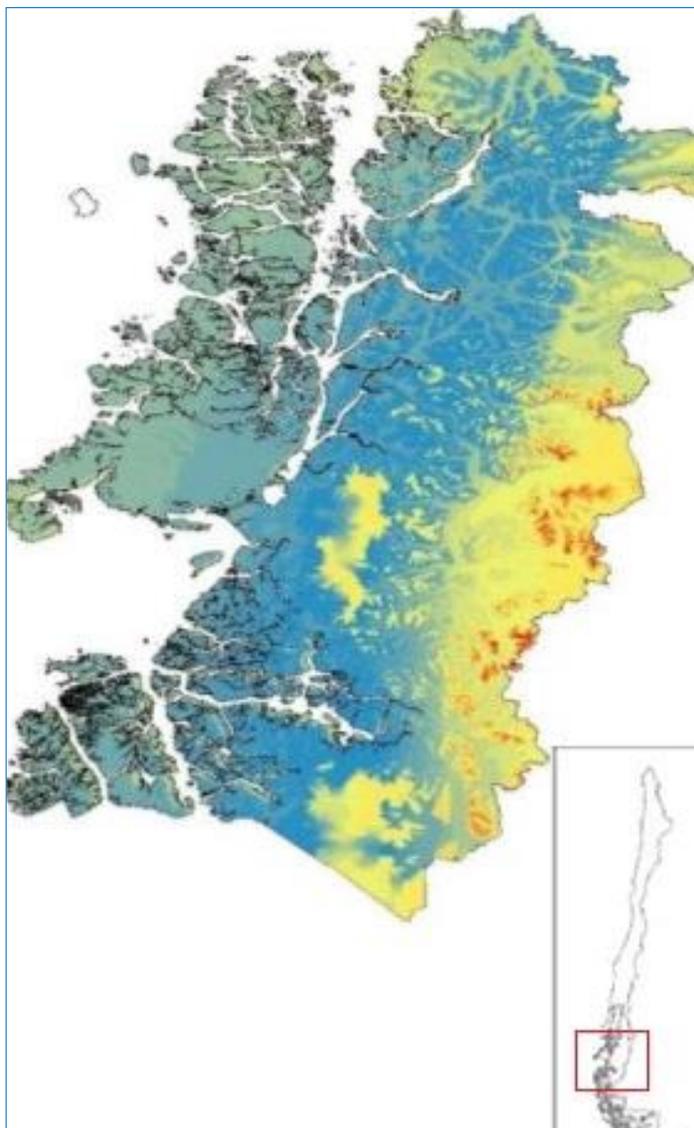
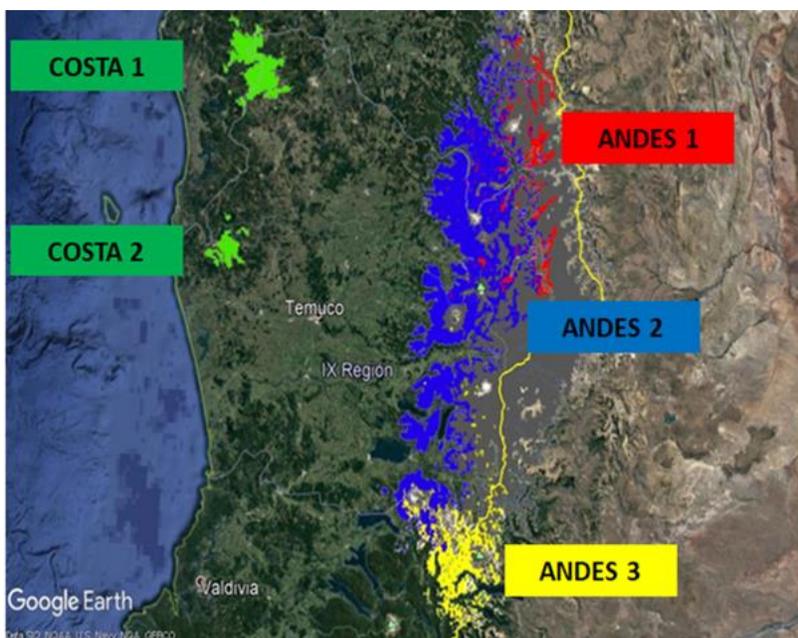


Figura N° 7
ÁREA DE ACOGIDA DE MÍNIMO ESTRÉS PARA ARAUCARIA (ÁREAS AZULOSAS)

Diseño de Ensayos de Conservación de Araucaria

- Ensayo Principal

El ensayo mayor de conservación será establecido en el predio Santa Elena de Forestal Mininco, en el año 2020. Este ensayo ocupará una superficie de 15 ha. El diseño considerará las 5 regiones de procedencia: ZONA 1: Costa 1, Nahuelbuta; ZONA 2: Costa 2, Villa Las Araucarias; ZONA 3: Andes 1, Nor-orientado (rojo); ZONA 4: Andes 2, Nor-poniente (azul); ZONA 5: Andes 3, Sur (amarillo) las que se designan como Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5, respectivamente. Las procedencias en el diseño estarán separadas para evitar la contaminación entre ellas.



(Fuente: Alarcón, 2019 documento en preparación)

ZONA 1: Costa 1. Nahuelbuta
ZONA 2: Costa 2. Villa Las Araucarias
ZONA 3: Andes 1. Nor-orientado (rojo)
ZONA 4: Andes 2. Nor-poniente (azul)
ZONA 5: Andes 3. Sur (amarillo)

Figura N° 8

DELIMITACIÓN DE ESTRATOS GENÉTICOS-ECOLÓGICOS EN DISTRIBUCIÓN NATURAL DE ARAUCARIA

- Ensayo Complementario

En forma complementaria se contempla otra unidad de conservación de similares características, pero de menor tamaño en la Reserva Forestal Coyhaique, administrada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Esta unidad además de cumplir un importante rol de conservación permitirá también ser utilizada para fines demostrativos, de difusión y educación ambiental por cuanto se encuentra cerca de la ciudad de Coyhaique y cuenta con buen acceso.

El sitio de emplazamiento del ensayo posee una superficie de aproximadamente 5,7 ha, se encuentra en el sector El Enfriadero de la reserva Forestal Coyhaique, a una altitud de 700 msnm y en coordenadas 266789 m E /4953893 m S (Figura N° 9).

El acceso es relativamente sencillo, pudiendo llegarse en vehículo desde el punto cruce de caminos sector Bandurrias-Enfriadero, tomando a mano izquierda por 600 m hasta llegar al sitio de ensayo. El suelo es franco arcilloso, con compactación debido al tránsito de animales (vacuno, bueyes, jabalí). La vegetación está compuesta por especies arbóreas nativas y coníferas exóticas (*Pinus contorta*).



Figura N° 9

IMAGEN SATELITAL Y VISTA GENERAL DE TERRENO ENSAYO EN RESERVA FORESTAL COYHAIQUE

El diseño del ensayo también contempla familias de 5 estratos genético-ecológicos diferenciados en la distribución natural de araucaria, los que para efectos prácticos se denominan como Z1 a Z5.

Cada estrato (o zona) se representa con tres bloques, en cada uno de los cuales se dispone una planta (una planta una parcela = Single Tree Plot STP) de cada una de las familias perteneciente a esa zona, a un espaciamiento de 5 x 5 m totalizando 3 plantas de cada familia por zona y rodeado por una hilera de aislación.

El detalle de la composición del ensayo, el tamaño de los bloques y las plantas involucradas de cada uno de los estratos o zonas se resume en el Cuadro N° 1.

Por su parte, en la Figura N° 10 se muestra a modo de ejemplo el diseño con la distribución de familias por bloque para los ensayos de las Zonas 2 y 3, en tanto que la distribución de las zonas en el terreno de plantación se detalla en la Figura N° 11. Los colores rojos de la Figura N° 10 son familias de relleno, usada para cuadrar los bloques.

Cuadro N° 1
MATERIAL GENÉTICO Y DIMENSIONES DEL ENSAYO DE RESERVA COYHAIQUE

Estrato o zona	Material Genético			Tamaño		N° de Plantas		
	Familias	Rellenos	Total	Bloque	Ensayo (3 bloques + 1 hilera de borde)	Ensayo	Borde	Total
zona 1	21	4	25	25 x 25 m	85 x 35 m	75	44	119
zona 2	26	2	28	20 x 35 m	70 x 45 m	84	42	126
zona3	103	5	108	45 x 60 m	145 x 70 m	324	82	406
zona 4	227	7	234	90 x 65 m	205 x 100 m	702	118	820
zona 5	41	1	42	30 x 35 m	100 x 45 m	126	54	180
Total					4,12 ha			1.651

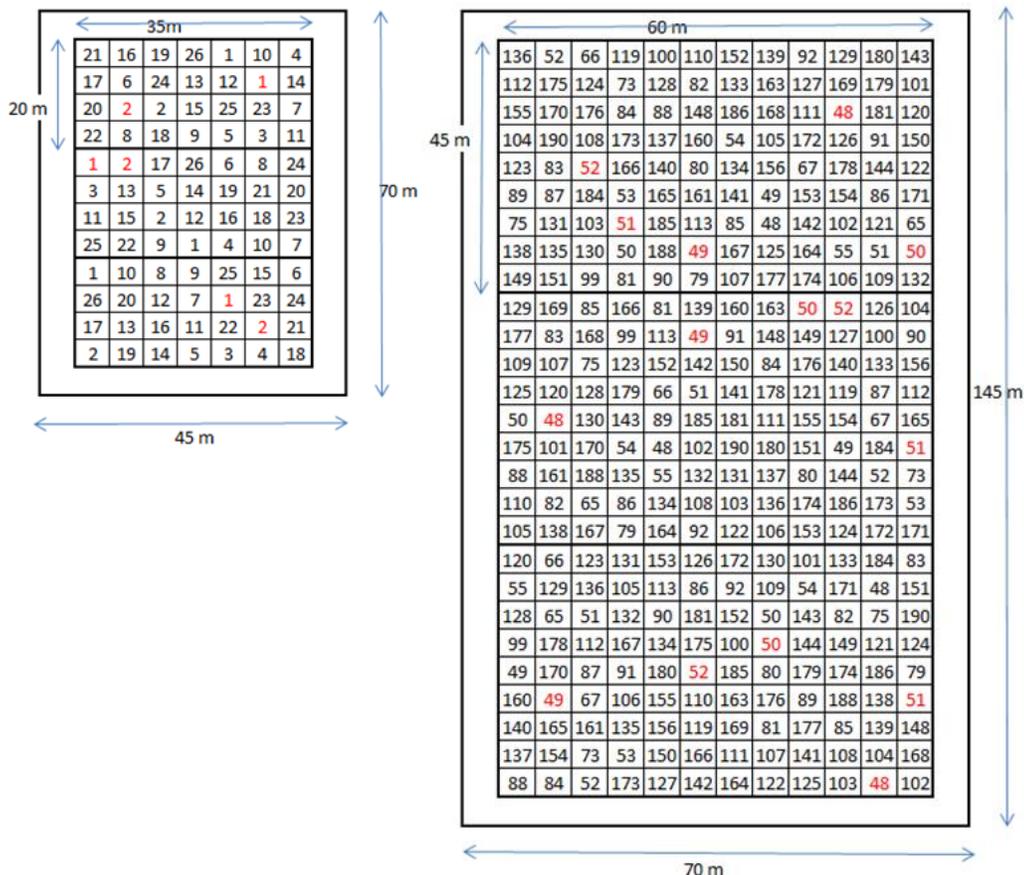


Figura N° 10
DETALLE DE LAS DISTRIBUCIÓN DE FAMILIAS EN LOS BLOQUES DE LOS ENSAYOS
CORRESPONDIENTES A LA ZONA 2 (Izq.) Y A LA ZONA 3 (Der.)

El establecimiento de este ensayo está programado para septiembre 2019, una vez que la nieve se derrita. El transporte de plantas desde el vivero Carlos Douglas (Yumbel) se efectuará en camionetas, empleando cajas cerradas en cuyo interior se dispondrán pequeños paquetes de plantas identificados a nivel familiar, sin contenedor y usando gel higroscópico para mantener la humedad.

La preparación de sitio consistirá en un roce liviano, eliminación y poda de algunos pinos para posteriormente realizar raspado del sector de las casillas y preparación de las mismas. La plantación del ensayo se realizará practicando casillas mediante pala plantadora. A cada planta se le colocará un *shelter* para protegerla de heladas y darle un microclima beneficioso para el verano.



Figura N° 11
DISTRIBUCIÓN DE LAS ZONAS O ESTRATOS EN EL SITIO DE PLANTACIÓN EN LA RESERVA FORESTAL COYHAIQUE

CONCLUSIONES

Se han cumplido con éxito las etapas planteadas en el Plan de la Migración Asistida de la *Araucaria araucana*, dado el enorme compromiso, sensibilidad y entusiasmo que acarrea el rescate de esta emblemática especie en Chile.

La migración asistida para el rescate de esta especie con seguridad se convertirá en un Modelo Público – Privado para abordar en forma efectiva la conservación de especies vulnerables o con similares estados de conservación.

RECONOCIMIENTOS

Además de los autores de este documento, numerosos son los profesionales y técnicos de INFOR y otras instituciones que de una u otra forma han aportado al exitoso avance de este plan de conservación de la araucaria.

INFOR quiere reconocer la participación y apoyo de:

Grupo de investigación de INFOR Conservación y Mejoramiento Genético: María Paz Molina, Braulio Gutiérrez, Jorge González, Patricio Rojas, Laura Koch, Hernán Soto, Patricio Chung y Marco Barrientos.

Profesionales de CONAF: Aída Baldini, Mónica González, Luis Duchens, Julio Figueroa, Neftalí Soto, Leonardo Araya, German Clasing y Héctor Muñoz.

Profesionales de la Universidad de Concepción: Dr. Fernando Drake y Dr. Rodrigo Hasbún

Profesionales de la Universidad de Chile: Dr. Fernando Santibañez y Dr. Carlos Magni.

Igualmente, Dante Corti, de INFOR; Andrés Bello, consultor de INFOR; Eduardo Cayul, presidente de Loncos de la Comunidad de Lonquimay; Joaquin Meliñer y Pablo Palma, de la Municipalidad de Lonquimay; Juan Rosales, Ignacio Rosales, José Córdova y José Balduivino Calpan.

Finalmente, a todos los administradores y guarda parques del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado con presencia de araucarias de CONAF.



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.

Ipinza, R., 2018. Avances del Programa de Migración Asistida para la Conservación ex situ de *Araucaria araucana*. Seminario "Daño foliar de *Araucaria araucana*". Corporación Nacional Forestal. Temuco, 6 septiembre de 2018. 34 p.

Manion, P., 1981. Tree Disease Concepts. Upper Sadle River. Prentice Hall, NKJ, USA. 324-339.

Parra, Patricio; Baldini, Aida; del Río, Alfonso; Gianelli, Luis; Duchens, Luis; González, Mónica; Menzel, Thomas; Gajardo, Juan; Lillo, Francisco y Puente, Oscar, 2018. Daño Foliar de la *Araucaria araucana*. Acciones Desarrolladas por CONAF. Seminario "Daño foliar de *Araucaria araucana*" Corporación Nacional Forestal., Temuco 2018. 53 p.

Sanfuentes, E.; González, M.; Sanhueza, C.; Guzmán, C. y Castillo, M., 2018. Avances en la determinación de agentes patógenos asociados a la mortalidad de *Araucaria araucana* en la Cordillera de Nahuelbuta. Seminario "Daño foliar de *Araucaria araucana*". Corporación Nacional Forestal. Temuco, 6 septiembre de 2018. 44 p.

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.

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

REGLAMENTO DE PUBLICACION

CIENCIA E INVESTIGACION FORESTAL es una publicación técnica, científica, arbitrada y seriada, del Instituto Forestal de Chile, en la que se 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

compresión 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
CONTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES NATIVOS Y PLANTADOS A LA MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SUSTENTABLE. Droppelmann, Fernando; Grosse, Hans y Laroze, André. Chile.	7
SISTEMA DE SECADO ARTIFICIAL DE MADERA POR DESHUMIDIFICACIÓN UNA OPCIÓN PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES DE MADERA DE LA REGIÓN DE AYSÉN. Bustamante, Jorge; Salinas Jaime y Moya, Iván. Chile.	37
APROVISIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE SEMILLAS DE HUALO PARA SU USO EN PROYECTO FIBN 002/2018: SIEMBRA DIRECTA: TÉCNICA DE RECUPERACIÓN DE BOSQUES NATIVOS DE ROBLE Y HUALO. Gutiérrez, Braulio; Quiroz, Iván y Koch, Laura. Chile.	49
APUNTES	
REGIONES DE PROCEDENCIA. UN ORDENAMIENTO DE FUENTES SEMILLERAS. Gutiérrez, Braulio. Chile.	57
LA MIGRACION ASISTIDA DE LA <i>Araucaria araucana</i> . PLAN OPERACIONAL. Ipinza, Roberto; Gutiérrez, Braulio; Muller-Using,	75
REGLAMENTO DE PUBLICACIÓN	89

