



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



Informe técnico

# Migración asistida de *Araucaria araucana*



Informe técnico

# Migración asistida de *Araucaria araucana*

**Elaborado por:** Roberto Ipinza C. y Sabine Müller-Using W.,  
Instituto Forestal, Chile

Publicado por  
la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura  
y  
el Ministerio de Agricultura de Chile

**Referencia requerida:**

**Ipíza, R. y Müller-Using, S. 2021. *Migración asistida de Araucaria araucana*. Santiago de Chile, FAO y MINAGRI. <https://doi.org/10.4060/cb2901es>**

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o el Ministerio de Agricultura de Chile (MINAGRI), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO o MINAGRI los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO o MINAGRI.

ISBN 978-92-5-133858-2 [FAO]

© FAO y MINAGRI, 2021



Algunos derechos reservados. Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales.; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.esES>.

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO o MINAGRI refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO o MINAGRI. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: “La presente traducción no es obra de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o MINAGRI. La FAO/MINAGRI no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en español será el texto autorizado”.

Toda controversia que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación aplicables serán las del Reglamento de Mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de conformidad con el Reglamento de Arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org). Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request). Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

Fotografía de la cubierta:

©INFOR/Roberto Ipíza

# Índice

Presentación .....	XV
--------------------	----

## Artículo I

### **Migración asistida: el nuevo paradigma de la conservación de recursos genéticos forestales para la adaptación al cambio climático**

*Roberto Ipinza C. y Sabine Müller-Using W.*

*Instituto Forestal, Chile*

Introducción .....	1
La presión de selección del cambio climático .....	3
Variación genética adaptativa .....	7
Modalidades de la migración asistida .....	10
Elementos que retardan la aplicación de opciones de adaptabilidad .....	12
La naturaleza tiende a la perfección .....	12
Lo mejor es no hacer nada o poner un candado al bosque .....	12
La semilla local es la mejor fuente semillera .....	13
Migración asistida: el nuevo paradigma para la conservación .....	16
Migración asistida con información genética .....	19
Conclusiones .....	21
Referencias .....	22

## Artículo II

### **Cosecha de semillas de *Araucaria araucana***

*María Paz Molina B., Jorge González C., Hernán Soto G. y Marco Barrientos A.*

*Instituto Forestal, Chile*

Introducción .....	27
Descripción general de la especie .....	28
Hojas y follaje .....	29

Flores, frutos y semillas . . . . .	30
Hábitat . . . . .	31
Problemas de conservación de la especie . . . . .	33
Regeneración . . . . .	33
Daños en copa y ramas . . . . .	34
Protocolo de colecta de semillas utilizado para la cosecha de semillas . . . . .	35
Consideraciones para la cosecha de semillas de <i>Araucaria araucana</i> . . . . .	37
Resultados . . . . .	38
Caracterización de procedencias . . . . .	38
Conclusiones . . . . .	47
Referencias . . . . .	48
Anexos . . . . .	49
Anexo 1 . . . . .	49
Anexo 2 . . . . .	50

### **Artículo III**

#### **Análisis de la emergencia de plántulas durante la viverización de una colección de semillas de 418 familias de *Araucaria araucana***

*Braulio Gutiérrez C.*

*Instituto Forestal, Chile*

Introducción . . . . .	53
Antecedentes generales de la reproducción de <i>Araucaria</i> . . . . .	54
Material y método . . . . .	56
Colecta y clasificación de semilla . . . . .	56
Emergencia de plántulas y análisis de datos . . . . .	57
Resultados y discusión . . . . .	58
Colecta y clasificación de semillas . . . . .	58
Emergencia de plántulas . . . . .	64

Relación entre emergencia de plántulas, tamaño de semillas y nivel de daño foliar en árboles madre .....	68
Conclusiones .....	72
Referencias .....	73

**Artículo IV**

**Evaluación de parámetros morfológicos y fisiológicos en semillas de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch, cosecha temporada 2018**

*Jorge González C. y Laura Koch Z.*

*Instituto Forestal, Chile*

Introducción .....	75
Materiales y métodos .....	77
Parámetros morfológicos .....	77
Parámetros fisiológicos .....	78
Análisis estadístico .....	79
Resultados y discusión .....	80
Largo de la semilla .....	80
Ancho medio de la semilla .....	81
Ancho basal de la semilla .....	82
Peso de la semilla .....	84
Número de semillas por kilogramo .....	85
Viabilidad de semillas .....	85
Conclusiones .....	87
Referencias .....	88
Anexos .....	90
Anexo 1 .....	90
Anexo 2 .....	91

## Artículo V

### La migración de la *Araucaria araucana*. Plan operacional

Roberto Ipinza C., Braulio Gutiérrez C., Sabine Müller-Using W.,  
María Paz Molina B., Jorge González C. y Hernán Soto G.  
Instituto Forestal, Chile

Introducción .....	93
Procedimientos .....	94
Conclusiones .....	107
Agradecimientos .....	108
Referencias .....	110

## Figuras

### Artículo I

<b>Figura 1:</b> Temperatura máxima de enero en grados Celsius (media 1980-2015) (izquierda) y temperatura máxima de enero en grados Celsius (escenario hacia 2050) (derecha). Región del Biobío y de La Araucanía .....	4
<b>Figura 2:</b> Temperatura mínima de julio en grados Celsius (media 1980-2015) (izquierda) y temperatura mínima de julio en grados Celsius (hacia 2050) (derecha). Región del Biobío y de La Araucanía .....	5
<b>Figura 3:</b> Déficit hídrico anual (mm) (período 1980-2015) (izquierda) y déficit hídrico anual (mm) (hacia 2050) (derecha). Región del Biobío y de La Araucanía .....	6
<b>Figura 4:</b> Modelo de migración asistida para <i>Araucaria araucana</i> .....	9
<b>Figura 5:</b> Modalidades de la migración asistida .....	11
<b>Figura 6:</b> Composición de un lote mixto de semillas de procedencias mezcladas en función de la distancia del sitio de colecta al sitio que se quiere restaurar o rehabilitar .....	14
<b>Figura 7:</b> Estructura de decisión para determinar la estrategia de adaptación para especies o poblaciones .....	17



## Artículo II

<b>Figura 1:</b> Ramas de <i>Araucaria araucana</i> en estado juvenil (2009) .....	29
<b>Figura 2:</b> Flores masculinas y femeninas de <i>Araucaria araucana</i> (2018) .....	30
<b>Figura 3:</b> Distribución geográfica de <i>Araucaria araucana</i> en Chile .....	31
<b>Figura 4:</b> Ramas cloróticas en individuos jóvenes de <i>Araucaria araucana</i> . Comuna de Lonquimay (IX Región) (2018) .....	34
<b>Figura 5:</b> Individuos adultos de <i>Araucaria araucana</i> . A la izquierda se observa un individuo muerto y a la derecha uno sano. Comuna de Lonquimay (IX Región) (2018) .....	34
<b>Figura 6:</b> Reunión del equipo INFOR con profesionales de CONAF, Región de La Araucanía (2018) .....	35
<b>Figura 7:</b> Visita a Parque Nacional Conguillío (2018).....	35
<b>Figura 8:</b> Reunión con el equipo de programas indígenas de la I. Municipalidad de Lonquimay (2018).....	35
<b>Figura 9:</b> Prospección inicial en Reserva Nacional China Muerta (2018) .....	35
<b>Figura 10:</b> Prospección inicial en Reserva Nacional Ralco (2018) .....	36
<b>Figura 11:</b> Vista particular de individuos de <i>Araucaria</i> seriamente dañados por la enfermedad (2018) .....	36
<b>Figura 12:</b> Reunión del equipo de INFOR con loncos del sector Reserva Nacional Ralco (2018) .....	36
<b>Figura 13:</b> Experta de CONAF Aida Baldini capacita al equipo INFOR en el reconocimiento de daño en <i>Araucarias</i> (2018) .....	36
<b>Figura 14:</b> Distribución de árboles cosechados de <i>Araucaria araucana</i> en las zonas de procedencia Andes y Costa .....	39
<b>Figura 15:</b> Árboles madre de <i>Araucaria araucana</i> , procedencia Lonquimay, IX Región (2018) .....	40
<b>Figura 16:</b> Aspecto general de la cosecha de frutos de <i>Araucaria</i> utilizando pértiga para remover los piñones con vibración de la piña (2018) .....	40
<b>Figura 17:</b> Porcentaje de árboles madre en cada categoría de daño por procedencia .....	41

<b>Figura 18:</b> Porcentaje de árboles madre en cada categoría de daño por macrozona .....	42
<b>Figura 19:</b> Porcentaje de árboles madre según la localización del daño en la copa por procedencia. ....	43
<b>Figura 20:</b> Porcentaje de árboles madre según la localización del daño en la copa por macrozona. ....	44
<b>Figura 21:</b> Porcentaje de la porción de copa afectada en árboles madre por procedencia .....	45
<b>Figura 22:</b> Proporción de copa afectada en árboles madre por macrozona .....	46

### Artículo III

<b>Figura 1:</b> Clasificación de la distribución natural de <i>Araucaria araucana</i> en cinco estratos ecológico-genéticos. Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos .....	56
<b>Figura 2:</b> Siembra de semillas de <i>Araucaria</i> en vivero Carlos Douglas (arriba). Vista general de la siembra efectuada (abajo) (2018) .....	57
<b>Figura 3:</b> Caracterización del número de semillas por kilogramo de 418 familias de <i>Araucaria araucana</i> . Agrupadas a nivel de macrozonas .....	60
<b>Figura 4:</b> Caracterización de la incidencia de la enfermedad daño foliar de la <i>Araucaria</i> en los 418 árboles desde donde se obtuvo la colección de semillas .....	63
<b>Figura 5:</b> Emergencia de plántulas de <i>Araucaria</i> (2018) .....	64
<b>Figura 6:</b> Emergencia promedio de plántulas de 418 familias de <i>Araucaria araucana</i> agrupadas por macrozonas, a los 4 y 7 meses postsiembra (siembra en junio de 2018) .....	64
<b>Figura 7:</b> Relación entre emergencia de plantas y número de semillas por kilogramo .....	69
<b>Figura 8:</b> Relación entre emergencias de plántulas y daño foliar en árboles fuente de semillas .....	71

## Artículo IV

<b>Figura 1:</b> Mallas de semillas de <i>Araucaria araucana</i> , de diferentes poblaciones, colectadas durante marzo-abril 2018 .....	77
<b>Figura 2:</b> Medición de datos morfológicos de semillas de <i>Araucaria araucana</i> colectadas durante marzo-abril 2018 .....	77
<b>Figura 3:</b> Esquema temporal del método de extracción de embriones de <i>Araucaria araucana</i> a partir de semillas maduras embebidas en agua por 24 horas a 4 °C (2018) .....	78
<b>Figura 4:</b> Pérdida de viabilidad de las semillas de <i>Araucaria araucana</i> (2018) .....	86
<b>Figura 5:</b> Estratos ecológicos-genéticos <i>Araucaria araucana</i> Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos .....	91

## Artículo V

<b>Figura 1:</b> Integrantes de la Reunión Internacional del Daño Foliar de la <i>Araucaria araucana</i> , celebrada en Villarrica, del 7 al 9 de noviembre de 2017 .....	94
<b>Figura 2:</b> Asistentes a la capacitación de personal especializado de CONAF al equipo de colecta de semillas de INFOR (2018) .....	95
<b>Figura 3:</b> Relación entre la distribución de la <i>Araucaria araucana</i> y el nivel del estrés climático integral. Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos .....	96
<b>Figura 4:</b> Puntos de cosecha de las 458 madres seleccionadas a lo largo de la distribución natural de <i>Araucaria araucana</i> en las zonas de procedencia Andes y Costa de Chile. Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos .....	97
<b>Figura 5:</b> Área de acogida en la Región de Aysén de acuerdo a la línea base (1980 - 2015) y dos proyecciones de cambio climático, para el 2050 y 2070, respectivamente. El estrés integral varía desde el azul (poco estrés) al rojo (mucho estrés) .....	101
<b>Figura 6:</b> Inauguración del ensayo demostrativo de migración asistida de <i>Araucaria araucana</i> en la Reserva Nacional de Coyhaique, Aysén .....	102

<b>Figura 7:</b> Delimitación de estratos genético-ecológicos en la distribución natural de <i>Araucaria araucana</i> . Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos. . . . .	103
<b>Figura 8:</b> Detalle de la distribución de familias en los bloques de los ensayos correspondientes a la zona 2, Villa Las Araucarias (Izq.) y a la zona 3 Andes norponiente (Der.) . . . . .	105
<b>Figura 9:</b> Distribución de las zonas o estratos en el sitio de plantación de los ensayos de <i>Araucaria araucana</i> en la Reserva Forestal de Coyhaique, Región de Aysén, Chile . . . . .	106

## Cuadros

### Artículo II

<b>Cuadro 1:</b> Listado de procedencias de semillas de <i>Araucaria araucana</i> colectadas. Se muestra macrozona, procedencia y número de árboles madre colectados . . . . .	39
--	----

### Artículo III

<b>Cuadro 1:</b> Variables utilizadas para caracterizar el daño foliar exhibido por los árboles desde donde se obtuvo la colección de semillas . . . . .	57
<b>Cuadro 2:</b> Detalle del número de familias que componen la colección de semillas de <i>Araucaria</i> . . . . .	59
<b>Cuadro 3:</b> Estadística descriptiva de emergencia de plántulas para 418 familias de <i>Araucaria araucana</i> sembradas en junio de 2018 . . . . .	65
<b>Cuadro 4:</b> Detalle de la emergencia de plántulas para 418 familias de <i>Araucaria araucana</i> 4 y 7 meses postsiembra . . . . .	66

#### Artículo IV

<b>Cuadro 1:</b> Resumen Análisis de Varianza (ANOVA) para parámetros morfológicos de las semillas de <i>Araucaria araucana</i> .....	83
<b>Cuadro 2:</b> Resumen Análisis de Varianza (ANOVA) para parámetros morfológicos de las semillas de <i>Araucaria araucana</i> .....	83
<b>Cuadro 3:</b> Porcentaje de viabilidad (%) evaluado mediante prueba bioquímica de Tetrazolio 0,05% entre diferentes poblaciones de <i>Araucaria araucana</i> .....	85
<b>Cuadro 4:</b> Procedencias muestreadas en las macrozonas Andes y Costa de <i>Araucaria araucana</i> según estratos ecológicos. Se incluyen puntos que no estaban en los estratos y que fueron estimados por cercanía .....	90

#### Artículo V

<b>Cuadro 1:</b> Material genético y dimensiones de ensayos de <i>Araucaria araucana</i> en la Reserva Forestal de Coyhaique .....	105
--	-----

## Abreviaturas y siglas

<b>AMAT</b>	.....	Adaptación a la migración asistida
<b>AMS</b>	.....	Ancho medio de la semilla
<b>ANOVA</b>	.....	Análisis de varianza
<b>ASB</b>	.....	Ancho basal de la semilla
<b>CIREN</b>	.....	Centro de Información Recursos Naturales
<b>CITES</b>	.....	Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna
<b>CMCC</b>	.....	La Convención Marco sobre el Cambio Climático
<b>CMPC</b>	.....	Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones
<b>CONAF</b>	.....	Corporación Nacional Forestal
<b>CRU</b>	.....	Cruzaco
<b>D.S</b>	.....	Decreto supremo
<b>DFA</b>	.....	Daño foliar de la Araucaria
<b>EM</b>	.....	Ectomicorrícicos
<b>FAO</b>	.....	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>FMAM</b>	.....	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
<b>ICA</b>	.....	Icalma
<b>IGA</b>	.....	Interacción genotipo ambiente
<b>INFOR</b>	.....	Instituto Forestal
<b>IPCC</b>	.....	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
<b>LA</b>	.....	Largo de la semilla
<b>LON</b>	.....	Lonquimay
<b>LS</b>	.....	Largo promedio de la semilla
<b>MA</b>	.....	Migración asistida
<b>MAR</b>	.....	Marimenuco
<b>PN</b>	.....	Parque Nacional

<b>PNC</b>	.....	Parque Nacional Conguillío
<b>PNH</b>	.....	Parque Nacional Huerquehue
<b>PNN</b>	.....	Parque Nacional Nahuelbuta
<b>PNV</b>	.....	Parque Nacional Villarrica
<b>PS</b>	.....	Peso de la semilla
<b>PT</b>	.....	<i>Pisolithus tinctorius</i>
<b>RAPD</b>	.....	Random Amplified Polymorphic DNA
<b>RN</b>	.....	Reserva Nacional
<b>RNM</b>	.....	Reserva Nacional Malalcahuello
<b>RNN</b>	.....	Reserva Nacional Nalcas
<b>RNR</b>	.....	Reserva Nacional Ralco
<b>SIMEF</b>	.....	Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos
<b>SNASPE</b>	.....	Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado
<b>SSR</b>	.....	Simple sequence repeat
<b>UICN</b>	.....	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
<b>USDAFS</b>	.....	Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los EE. UU.
<b>VA</b>	.....	Villa Las Araucarias





# Presentación



El Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de los Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF) es una iniciativa impulsada por los ministerios de Agricultura y de Medio Ambiente, ejecutada por el Instituto Forestal (INFOR) y coejecutada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Centro de Información en Recursos Naturales (CIREN). Cuenta con el apoyo y la supervisión de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) y el Estado chileno.

Este proyecto nacional responde a la necesidad de contar con información integrada, estandarizada y actualizada sobre los ecosistemas forestales nativos de Chile, para lo cual se estableció un modelo de trabajo interinstitucional coordinado entre CONAF, CIREN e INFOR.

Su objetivo es apoyar con información actualizada para la toma de decisiones que aporten al uso sostenible de los recursos forestales nativos, y contribuir a una mejor calidad de vida de las comunidades que cohabitan con el bosque y de la sociedad en su conjunto.

A cuatro años de ejecución de la Iniciativa SIMEF, uno de los logros es haber ampliado en superficie la cobertura del Inventario Forestal Nacional, que

ahora cubre más de 14 millones de hectáreas e incorpora territorios inexplorados de las islas al sur de Chiloé. A su vez, se expandió la concepción de inventario y monitoreo, incluyendo, junto con las dimensiones biofísicas, los componentes socioeconómicos y de biodiversidad que son consustanciales a los bosques nativos.

Otros logros sustantivos fueron la actualización y mejora de la metodología de evaluación del cambio de uso de la tierra, reduciendo su ciclo de actualización de cinco a dos años, lo que permitió, entre otras materias, dar una respuesta más eficiente a los compromisos internacionales de Chile en materia de cambio climático, y al mismo tiempo elaborar protocolos y manuales consensuados.

De esta manera, SIMEF pone al país a la vanguardia del conocimiento de sus bosques y ecosistemas forestales permitiendo evaluar, entre otros, el stock de carbono, así como los cambios y proyecciones del mismo en el tiempo, materia de alta trascendencia ante la situación que afecta al planeta.

La presente publicación refleja parte de las actividades y resultados alcanzados durante estos cuatro años de trabajo del SIMEF y pretende ser un aporte para la consolidación de un sistema de monitoreo de los ecosistemas forestales nativos de Chile.



# Artículo I

## Migración asistida: el nuevo paradigma de la conservación de recursos genéticos forestales para la adaptación al cambio climático

Roberto Ipinza C. y Sabine Müller-Using W.  
Instituto Forestal, Chile



©CONAF/Mauricio Gómez

### Introducción

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

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

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

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

Desde el punto de vista de la conservación de recursos genéticos forestales, el objetivo principal es asegurar la supervivencia, la adaptación y la evolución continua de una especie en un ambiente siempre cambiante. Según Eriksson (2000), el objetivo clave de la conservación genética es salvaguardar el potencial de adaptación.

Esto es coincidente con la estrategia de conservación y mejoramiento genético diseñada por el Instituto Forestal (MINAGRI-MMA, 2013) a partir del establecimiento de poblaciones de mejoramiento, tanto de especies nativas como exóticas.

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

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

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

Con el presente trabajo se busca proporcionar a los silvicultores y a las personas que trabajan en manejo y conservación de recursos genéticos un marco de conocimientos básicos sobre los efectos actuales y potenciales del cambio climático en ellos y acerca de cómo la migración asistida (MA) y sus variantes surgen como instrumentos conceptuales y operativos para mantener ecosistemas con árboles sanos para el futuro.

©Instituto Forestal/Roberto Ipinza



## La presión de selección del cambio climático

Un exhaustivo análisis del impacto del cambio climático en Chile se puede encontrar en Ipinza y Barros (2011), quienes abordan aspectos de mitigación<sup>1</sup> y adaptación<sup>2</sup>, y en especial cómo la silvicultura moderna puede enfrentar esta nueva presión de selección que están sufriendo los bosques chilenos.

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

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

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

<sup>1</sup> Mitigación: reducción de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. La mitigación no puede evitar los impactos del cambio climático actual ni ahora ni en las próximas décadas, lo que hace de la adaptación una herramienta esencial.

<sup>2</sup> Adaptación: proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y sus efectos.

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

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

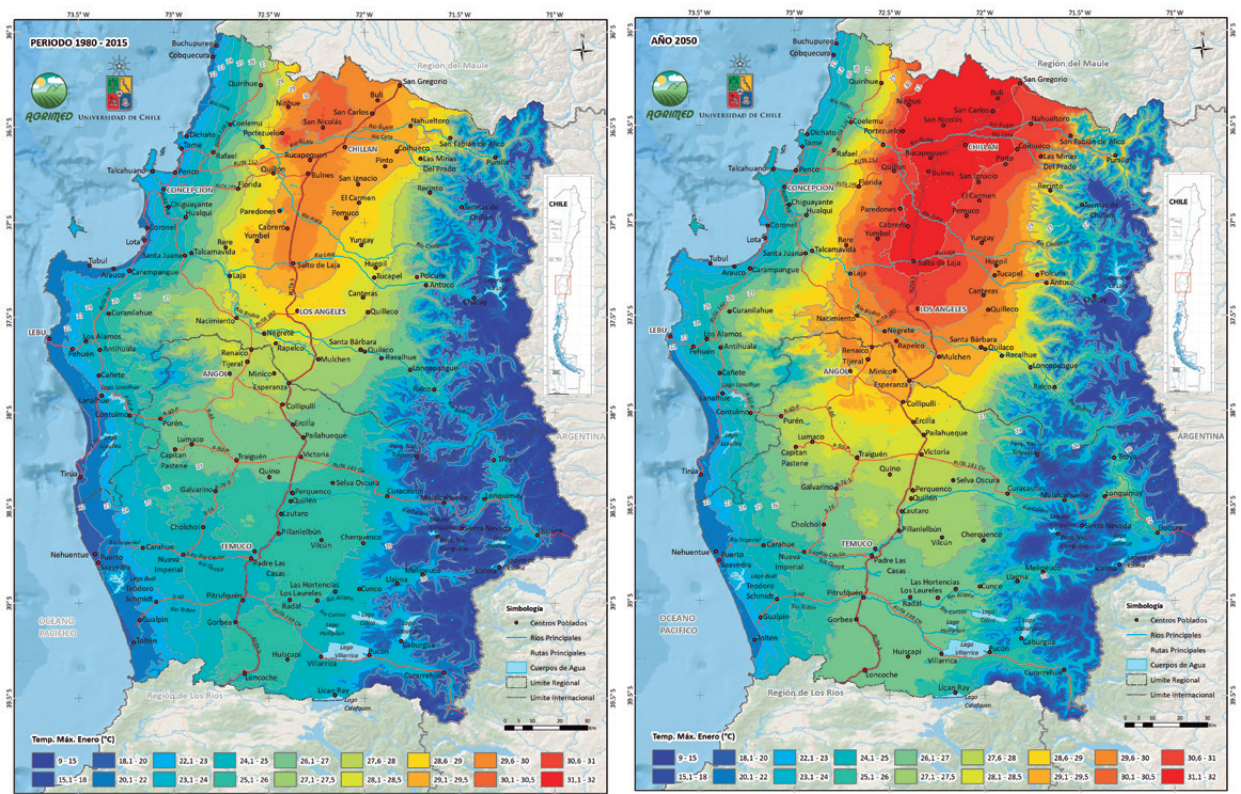
Para el caso de los componentes del estrés integrado de la *Araucaria araucana*, Santibáñez y Santibáñez (2018) presentan tres pares de mapas que abarcan la distribución geográfica de la especie.



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

En la Figura 1 se muestra, en la Región del Biobío y La Araucanía, la temperatura máxima media del mes de enero en el escenario actual (1980-2015) y en el del año 2050. Se espera un alza de algo más de 1 °C en zonas costeras, y cercanas a los 2 °C en zonas interiores. Los cambios proyectados en climas de altura son algo más pronunciados que en los de baja altura. Se espera un cambio muy significativo en las temperaturas del valle central, especialmente detrás de la cordillera de Nahuelbuta, donde el efecto Föhn<sup>3</sup> puede verse intensificado, trayendo con ello episodios de altas temperaturas asociados a la presencia de altas presiones en la costa.

**Figura 1: Temperatura máxima de enero en grados Celsius (media 1980-2015) (izquierda) y temperatura máxima de enero en grados Celsius (escenario hacia 2050) (derecha). Región del Biobío y de La Araucanía**

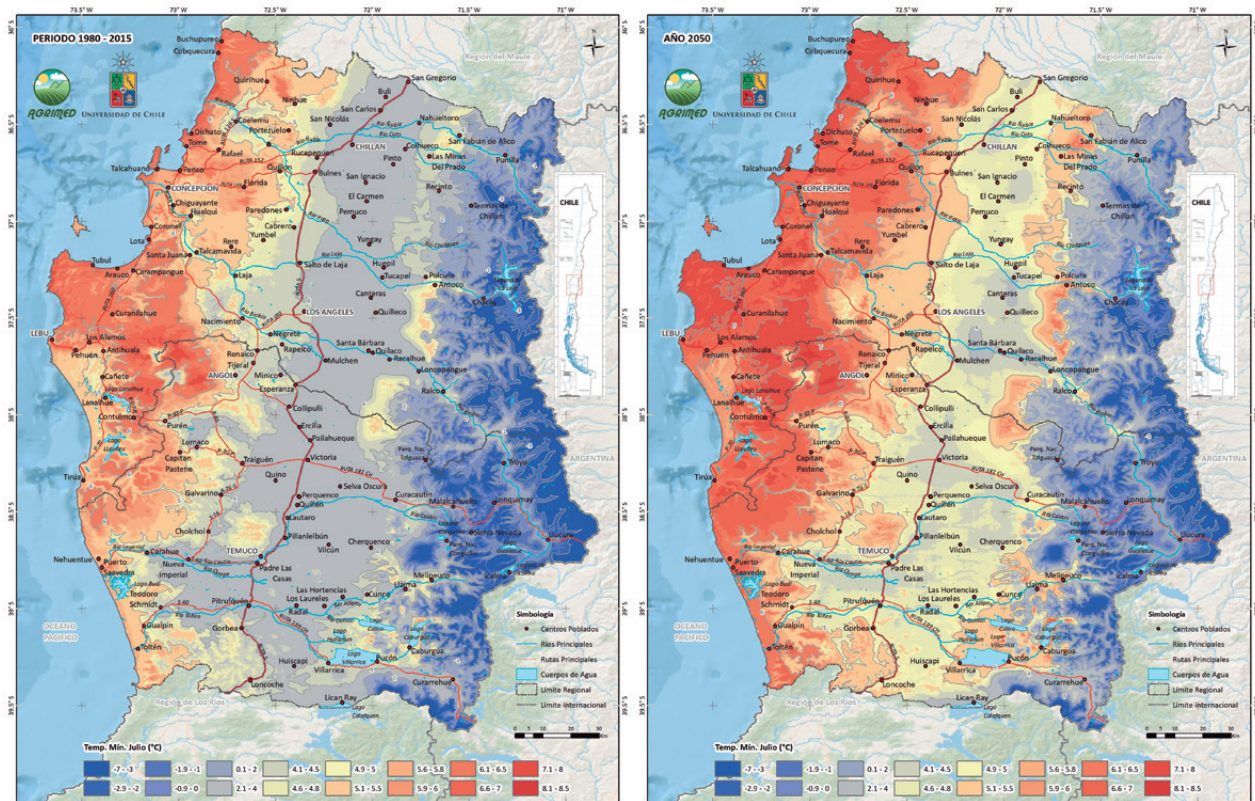


Fuente: Santibáñez y Santibáñez, 2018.  
Conforme al mapa de Naciones Unidas.

<sup>3</sup> Se trata de un fenómeno que tiene lugar cuando una masa de aire cálido y húmedo se ve obligada a ascender una montaña. Al descender, lo hace con menos humedad y con más temperatura.

En la Figura 2, para ambos escenarios, se exhibe la temperatura mínima del mes de julio. Se esperan cambios más importantes en la temperatura invernal que en la temperatura estival, que tienen un mayor significado biológico. Se estima un alza cercana o ligeramente superior a los 2 °C en casi toda la región.

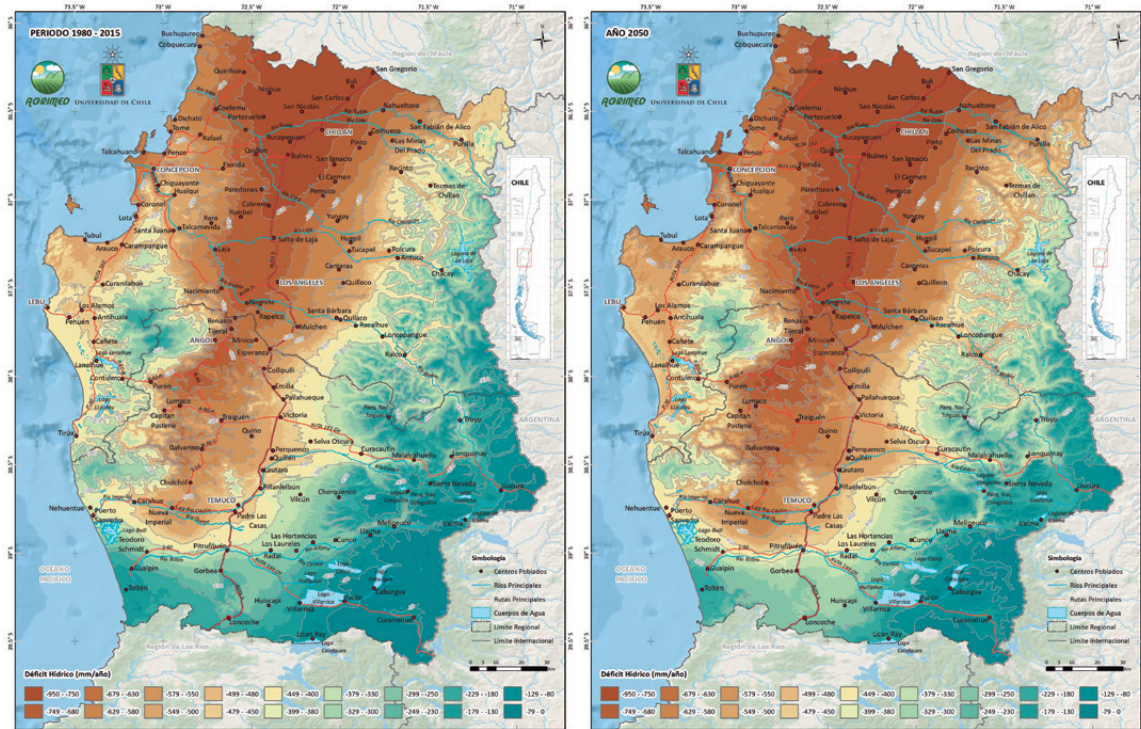
**Figura 2: Temperatura mínima de julio en grados Celsius (media 1980-2015) (izquierda) y temperatura mínima de julio en grados Celsius (hacia 2050) (derecha). Región del Biobío y de La Araucanía**



Fuente: Santibáñez y Santibáñez, 2018.  
Conforme al mapa de Naciones Unidas.

Finalmente, en la Figura 3 se presentan los mapas del déficit hídrico anual para ambos escenarios. Los del futuro son consistentes en marcar una declinación en la pluviometría, fenómeno más acentuado en el litoral, pero podría hacerse sentir en toda la región. La declinación pluviométrica se potencia con el incremento de la evaporación. La cordillera de Nahuelbuta podría verse fuertemente afectada por el aumento del déficit hídrico.

**Figura 3: Déficit hídrico anual (mm) (período 1980-2015) (izquierda) y déficit hídrico anual (mm) (hacia 2050) (derecha). Región del Biobío y de La Araucanía**



Fuente: Santibáñez y Santibáñez, 2018.  
 Conforme al mapa de Naciones Unidas.

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

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

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

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



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

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

Especies y poblaciones de árboles forestales han evolucionado para adaptarse al entorno en el cual crecen (Rehfeldt, 1988). Esta evolución se produjo tanto a nivel de especie como de población. Por lo general, las poblaciones de especies de árboles forestales ampliamente distribuidas se diferencian genéticamente con el fin de adaptarse al clima (Rehfeldt *et al.*, 2002), a las condiciones del suelo y a los factores de perturbación (incendios, plagas y enfermedades) que predominan en donde crecen (Alfaro *et al.*, 2014).

La diferenciación genética significa que las poblaciones de la misma especie pueden diferir entre sí en uno o más rasgos o caracteres que les permiten sobrevivir, crecer, competir y reproducirse en un entorno determinado. Ejemplos de tales rasgos adaptativos son la supervivencia, la tasa de crecimiento, la resistencia al daño por heladas o al estrés por sequía y el momento de formación y dispersión de semillas (distancia y tiempo).

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

Bruno Fady, del Instituto Nacional de Investigación Agrícola de Francia (INRAE, 2011), confirmando lo anterior, explica que los principales impactos del cambio climático sobre los recursos genéticos forestales surgirán de la modificación y el cambio de la localización de los bioclimas adecuados. También describe tres estrategias de adaptación para los árboles: la capacidad de los fenotipos para enfrentar un amplio rango de condiciones climáticas (plasticidad fenotípica<sup>4</sup>), la adaptación genética y la migración.

### Variación genética adaptativa

De acuerdo con lo anterior, el factor genético más importante que afecta el éxito de la migración de la población es la variación genética adaptativa. Los árboles que poseen alelos adecuados para un régimen de temperatura particular pueden estar bien adaptados a las condiciones bióticas y abióticas locales asociadas con un sitio nuevo (Aitken *et al.*, 2008; O'Neill *et al.*, 2008). Sin embargo, aunque son capaces potencialmente de sobrevivir, el crecimiento normal podría verse impedido o alterado hasta tal punto que la productividad se vea afectada y el árbol se

<sup>4</sup> Plasticidad fenotípica: es la capacidad que muestran algunos genotipos de alterar en forma significativa su expresión en respuesta a determinados factores ambientales, produciendo una serie de fenotipos diferentes.



considere “mal adaptado” para el sitio (O’Neill *et al.*, 2008). Por esta razón es muy importante entender el significado de la variación genética adaptativa en relación con la eficacia biológica. Dentro de la variación genética se distinguen dos tipos: la diversidad neutral (ADN no codificante), es decir, aquellos rasgos no determinados por fuerzas selectivas, y la variación adaptativa (ADN codificante), constituida por los caracteres con valor adaptativo. La variación genética adaptativa es el principal mecanismo que tienen las plantas para adaptarse al cambio climático, por ello se profundizará en este concepto.

Holderegger *et al.* (2006) señalan que el término adaptativo o selectivo se refiere a genes que tienen un efecto sobre la eficacia biológica. Dichos autores asumen que si se tienen dos alelos que ocurren en un gen dado, denominados *a* y *b*, se originan tres diferentes genotipos, los homocigotos *aa*, los *bb* y el heterocigoto *ab*. Sin embargo, es importante para un individuo determinado saber cuál de los tres genotipos lleva en sus cromosomas, ya que son selectivamente no equivalentes. Por ejemplo, el genotipo *bb* podría tener una eficacia biológica más alta que los genotipos *aa* o *ab*. Por lo tanto, la selección natural actuará directamente sobre los genotipos de menor eficacia biológica, favoreciendo al genotipo *bb*. Los genes seleccionados tienen una tendencia a ser de un solo tipo (monomórficos) dentro de las poblaciones porque la selección eliminó previamente todas las variantes no aptas. Luego, los genotipos son de importancia adaptativa o selectiva. La variación genética adaptativa es la variación genética que se estima en dichos genes adaptativos.

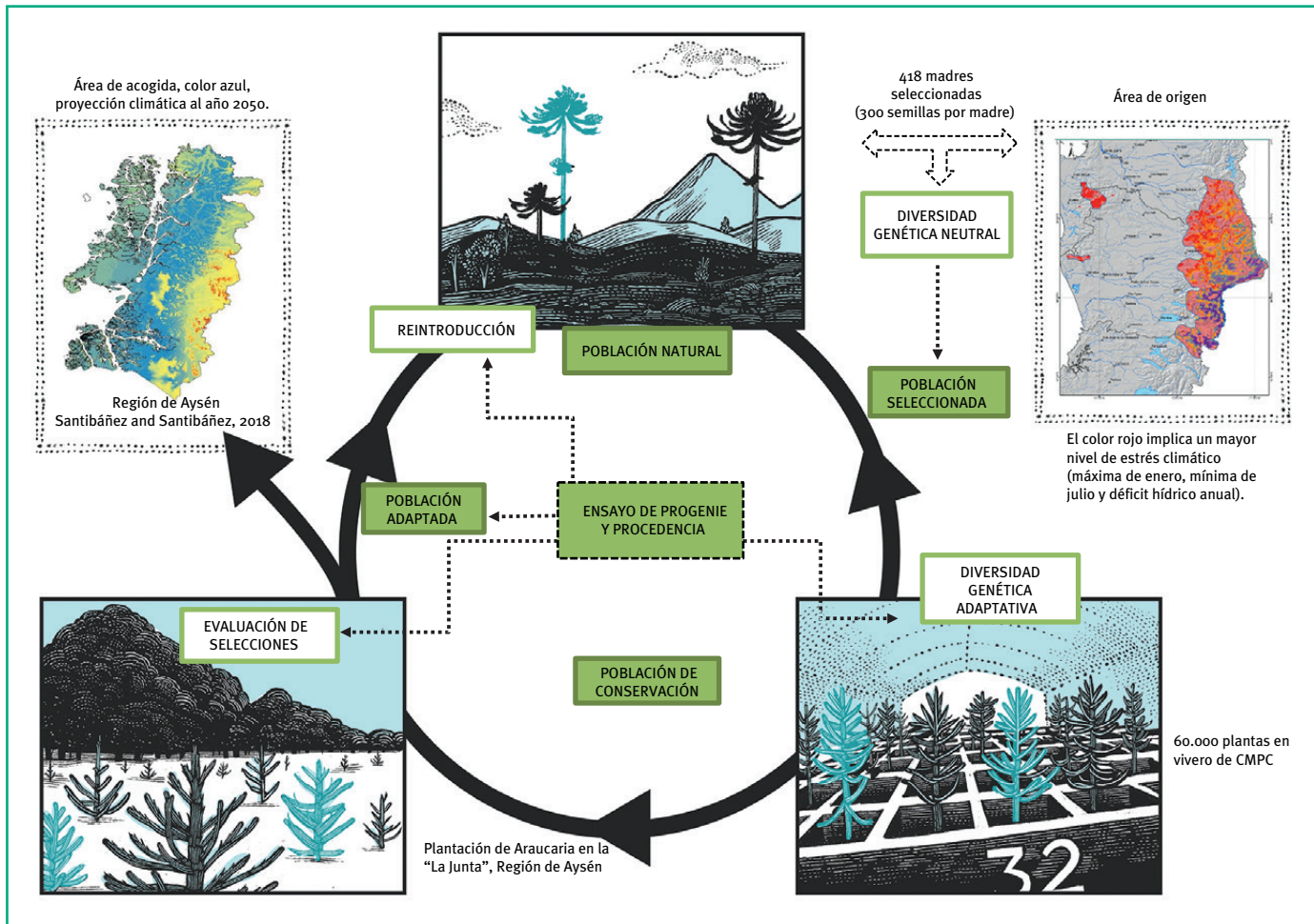
Sugieren también que la variación en los rasgos que tienen un valor de adaptación potencial, como la supervivencia, crecimiento en volumen, resistencia a las heladas en las plantas, entre otros, debe estudiarse en experimentos genéticos cuantitativos, como son los ensayos de progenie o de progenie y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

Holderegger *et al.* (2006) establecen que para evaluar la variación genética en rasgos que se encuentran bajo selección natural en experimentos genéticos cuantitativos, los individuos con una relación genética conocida se deben desarrollar bajo condiciones ambientales constantes. Por ejemplo, una muestra de semillas de varias familias o madre o de polinización abierta, es decir, semillas de medio hermano, se hacen germinar en un invernadero, posteriormente se plantan y se colocan en forma aleatoria en un ensayo de progenie y luego se monitorea la supervivencia y el crecimiento a lo largo del ciclo de vida del experimento.

El razonamiento que hay detrás de esta configuración es, primero, que las diferencias de los individuos que crecen en el mismo entorno son genéticas y, segundo, que los miembros de la familia comparten alelos y, por lo tanto, son más similares entre sí que los miembros de otras familias. Por lo tanto, cuanto mayor es el grado de similitud de los miembros de la familia, mayor es el componente genético en la variación fenotípica total. Es evidente que los experimentos genéticos cuantitativos son intensivos en trabajo, tiempo y costo.

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

Figura 4: **Modelo de migración asistida para *Araucaria araucana***



Fuente: Ipinza, 2018, modificado por Ipinza, 2019.

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

$QST = VG / (VG + 2VA)$	Donde:	QST: Grado de diferenciación en caracteres cuantitativos fenotípicos
		VG: Componente de varianza entre poblaciones
		VA: Varianza genética aditiva promedio dentro de las poblaciones (Latta, 2003).



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

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

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

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

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

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

## Modalidades de la migración asistida

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

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

La migración asistida debe considerarse como un término genérico que incluye el traslado de semillas, propágulos, juveniles o adultos, tanto dentro de la distribución geográfica de la especie como al margen de ella e incluso fuera de su distribución histórica (Fernández-Manjarrés y Benito-Garzón, 2015). Este último caso es comúnmente llamado colonización asistida, y es el que presenta mayores controversias, sobre

todo, pero no exclusivamente, cuando se trata de especies amenazadas porque la probabilidad de supervivencia en el nuevo ambiente puede ser muy baja.

En el caso de traslados de poblaciones dentro de su área de distribución, la migración asistida es equivalente al reforzamiento de poblaciones (*population reinforcement*) con individuos de la misma especie, pero originarios de otras localidades. Se verá en los puntos siguientes que este tipo de migración asistida tiene gran importancia en la restauración ecológica con base genética (Ipinza y Gutiérrez, 2014).

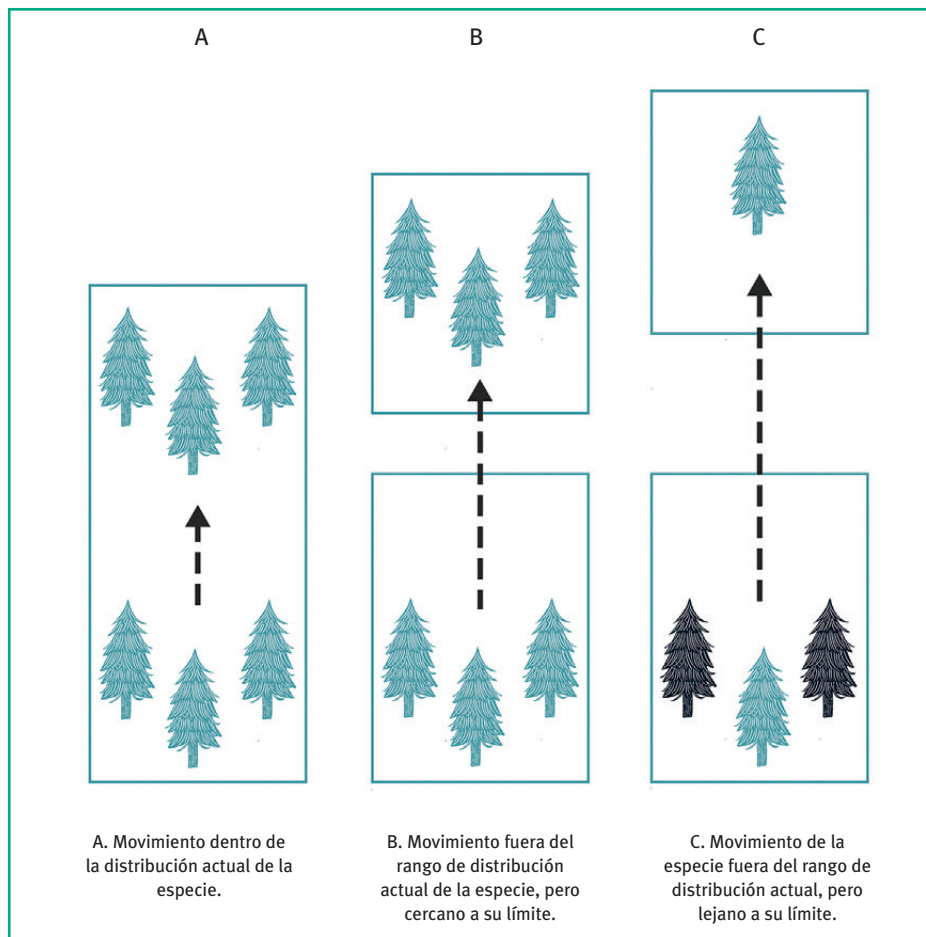
De la misma forma, Williams y Dumroese (2013) afirman que la migración asistida puede ocurrir en una variedad de formas para cumplir diversos objetivos. La tendencia actual es considerar como objetivo de los programas de conservación el mantenimiento del potencial adaptativo de la especie, protegiendo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

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

extinción de especies, que es lo que se ha definido como colonización asistida.

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

Figura 5: **Modalidades de la migración asistida**



Fuente: Williams y Dumroese, 2013.

## Elementos que retardan la aplicación de opciones de adaptabilidad

### › La naturaleza tiende a la perfección

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

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

### › Lo mejor es no hacer nada o poner un candado al bosque

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

También indica que el resultado de la selección natural refleja los efectos de las condiciones previas y, por lo tanto, no es solo la fuerza de la evolución la que da forma al recurso genético forestal. Debido a que los principales efectos de la selección natural operan a nivel del organismo individual, los que actúan sobre rasgos específicos serán dependientes de cómo un rasgo está relacionado con otros que constituyen la eficacia biológica total. De este modo, los rasgos algunas

veces están negativamente correlacionados, lo que implica que el progreso en uno conducirá al deterioro en otro.

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

Según Ipinza (2006), para que los bosques naturales tengan alguna posibilidad de supervivencia, el hombre está obligado a intervenir en forma positiva sobre los bosques, en especial si él ha jugado un papel en el deterioro de los recursos genéticos a través de la selección disgénica o “floreo”, la fragmentación, la deforestación y la degradación.

Kremer (2007) sugiere que la transferencia de material reproductivo efectuada por el hombre puede ser necesaria para mejorar la adaptación local de especies raras y escasas. De la misma forma, Mátyás (2007) considera que la intervención humana es indispensable para facilitar la adaptación de los árboles del bosque al cambio climático.

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

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

#### ➤ La semilla local es la mejor fuente semillera

En general, se tiende a abordar la restauración o rehabilitación de ecosistemas y la recuperación de bosques nativos a través de plantaciones usando material de propagación local (Breed *et al.*, 2013), asumiendo, a veces erradamente, que el germoplasma forestal local experimentó la selección natural para convertirse en el mejor adaptado a las condiciones locales (Kettenring *et al.*, 2014). Sin embargo, se pasa por alto que la adaptación local puede verse obstaculizada por el flujo de genes, deriva genética o falta de variación

genética, provocada por la fragmentación, degradación y floreo de los bosques. Se debe tener en cuenta que cualquier introducción de germoplasma “no local”, en especial de especies nativas, en que comúnmente no se dispone de información genética de la interacción genotipo ambiente (G x A) obtenida a partir de ensayos de progenie o de progenie y procedencia, tiene sus riesgos.

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



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

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

**Figura 6: Composición de un lote mixto de semillas de procedencias mezcladas en función de la distancia del sitio de colecta al sitio que se quiere restaurar o rehabilitar**



Fuente: Lowe, 2010.



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

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

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

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

©Instituto ForestalRoberto Ipinza



## Migración asistida: el nuevo paradigma para la conservación

La planificación de la migración asistida requiere del conocimiento de la relación entre las poblaciones contemporáneas y su clima. Solo entonces se podrá predecir dónde y cuándo estos climas ocurrirán para tomar decisiones respecto al momento de mover una determinada población y hacia qué lugar.

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

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

Hoegh-Guldberg *et al.* (2008) han establecido un marco de decisión que ayuda a determinar las estrategias de adaptación para una especie o población de plantas que tienen valor de conservación de tipo económico o social. La información genética, los modelos bioclimáticos, los registros históricos y los experimentos actuales pueden guiar la necesidad de la migración asistida. La implementación de esta estrategia depende del riesgo de declinación o extinción de la especie, de su establecimiento, de los costos y los beneficios biológicos, económicos y sociales. Este marco de decisión se exhibe en la Figura 7, y lo destacable es que para la implementación

operacional de la migración asistida, se debe establecer el nivel de riesgo de extinción, si dicha especie es capaz de sobrevivir por su cuenta, y, finalmente, si los beneficios superan los costos.

Estos autores establecen como primer paso el riesgo de extinción de las especies focales o claves, diferenciando entre aquellas que tienen una baja, media o alta vulnerabilidad<sup>5</sup> al cambio climático continuo. Las especies con baja vulnerabilidad son mejor atendidas mediante el manejo convencional de los bosques. Las especies con vulnerabilidad moderada son probables candidatas a los esfuerzos de migración asistida de la población, lo que puede mejorar la resiliencia<sup>6</sup> al cambio climático. Las especies de alta vulnerabilidad pueden beneficiarse más de la asistencia humana dentro de los límites del rango de distribución o facilitando la migración natural y el establecimiento mediante la expansión del rango de distribución de la especie.

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

<sup>5</sup> Vulnerabilidad: propensión o predisposición a ser afectada negativamente por el cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad comprende la susceptibilidad o sensibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta.

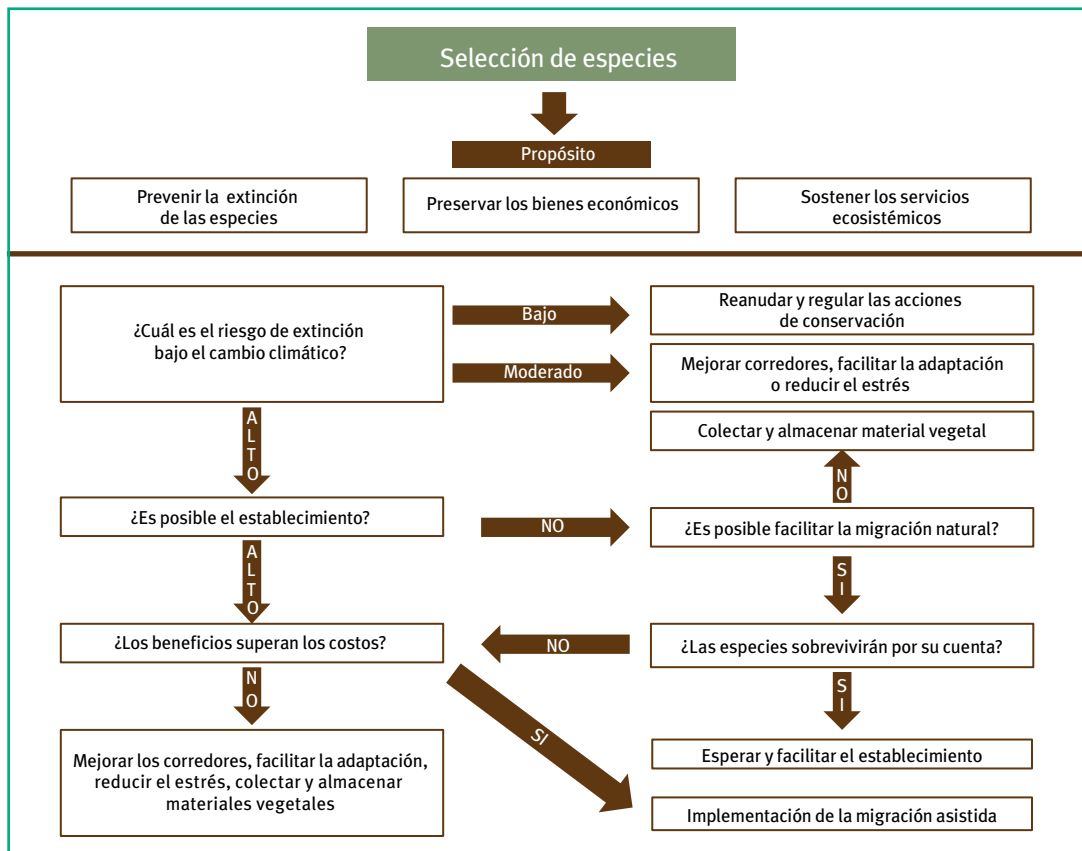
<sup>6</sup> Resiliencia: capacidad de un sistema social o ecológico de absorber una alteración sin perder su estructura básica o sus modos de funcionamiento, su capacidad de autoorganización ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio.



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

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

**Figura 7: Estructura de decisión para determinar la estrategia de adaptación para especies o poblaciones**



Fuente: Hogh-Guldberg *et al.*, 2008; Williams y Dumroese, 2013.

Por otro lado, la variación genética de una especie puede afectar la diversidad de otras (genética de comunidades), ya que, por ejemplo, algunas especies de insectos, de pájaros o micorrizas pueden asociarse preferencialmente con ciertos genotipos de árboles (Whitham *et al.*, 2003). Luego existen posibilidades de migraciones más complejas, como asociaciones de especies e incluso en distintos niveles de la cadena trófica.

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

En este contexto, los hongos ectomicorrícicos (EM), que son simbiosistas de coníferas, como la *Araucaria*, o de árboles del género *Nothofagus*, entre muchas otras especies, adquieren agua y

nutrientes y protegen a las raíces de diversos tipos de estrés. A veces son cosmopolitas y otras veces son nichos ecológicos muy especializados. Estos hongos pueden diseminarse a través de esporas o propagarse mediante el crecimiento de su micelio subterráneo. Se estima que algunos hongos EM pueden migrar 10 km/año (Pringle *et al.*, 2009), lo que implicaría que la capacidad de migración de la mayoría de los hongos EM es equivalente aproximadamente a la de su árbol hospedante.

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



## Migración asistida con información genética

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

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

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

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

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

En Chile se requiere con urgencia abordar el establecimiento de una red 2.0 de ensayos de progenie y procedencia o prueba de jardín común en especies nativas para estimar la IGA. La primera red (Ipinza, *et al.*, 2000) se estableció el año 2000-2001 para Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.), Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst.) y Coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.).



Estos ensayos de campo pueden ser a pequeña o mediana escala y permitirían acumular evidencia y datos científicos sólidos para sustentar la migración asistida como una opción valiosa de manejo forestal a largo plazo.

Mátyás (2007) recomienda desarrollar una guía flexible para usar material reproductivo e incorporar el cambio climático y la adaptación a los programas nacionales de bosques de los países europeos. Por su parte, Lefevre (2007) analiza la estructura organizacional para la conservación de los recursos genéticos en Francia y estima los efectos del cambio climático sobre la estrategia de conservación de genes, estableciendo que es necesario reevaluar y mejorar las redes de conservación de genes en el contexto del cambio climático, ya que estas deben ampliarse hacia la plasticidad<sup>7</sup>, adaptación y migración potencial de las especies forestales.

Por último, la conservación *ex situ* a través de la creación de bancos de semillas o colecciones *in vivo*, como son los ensayos de progenie y procedencia, puede proporcionar un “seguro ecológico-genético”, así como apoyo para futuras actividades de migración asistida.

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

---

<sup>7</sup> Plasticidad fenotípica: es la capacidad que muestran algunos genotipos de alterar en forma significativa su expresión en respuesta a determinados factores ambientales, produciendo una serie de fenotipos diferentes.

# Conclusiones



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

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

En Chile, a pesar de que se dispone de pautas de zonas de semillas para especies nativas (Quiroz y Gutiérrez, 2014) y programas de mejoramiento genético para las especies comerciales más importante de Chile (Ipinza, *et al.*, 2014), se carece de procedimientos operativos estandarizados para determinar cómo, cuándo y dónde implementar

el movimiento de migración asistida. Los movimientos fuera de las zonas actuales podrían estar en conflicto con algunas restricciones locales, pero facilitar la adaptación climática a través de la migración asistida tiene el potencial de preservar la salud y la productividad de los bosques y, posteriormente, mantener los servicios de los ecosistemas, como el secuestro de carbono y la conservación del suelo y el agua, y el hábitat de vida silvestre.

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

## Referencias



- Aitken, S., Yeaman, S., Holliday, J., Wang, T., y Curtis-McLane, S., 2008. Adaptation, migration or extirpation: Climate change outcome for tree population. *Evolutionary Applications* 1: 95-111.
- Alfaro, R. I., Fady, B., Vendramin, G. G., Dawson, I. K., Fleming, R. A., Saenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Murdock, T., Vinceti, B., Navarro, C. M., Skroppa, T., Baldinelli, G., El-Kassaby, Y. A., y Loo, J., 2014. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. *Forest Ecology and Management*, 333 (1), 76-87. doi:10.1016/j.foreco.2014.04.06.
- IDDs, 2011. Síntesis del Seminario Informativo Especial sobre Cambio Climático y Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación: Estado del Conocimiento de los Riesgos y Oportunidades. Publicado por el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IIDS). Boletín CRGAA. En: <http://www.ilsd.ca/blodlv/cgrfa13/> vol. 168, nº. 2, julio de 2011. 3.
- Boshier, D. H., y Young, A.G., 2000. Forest conservation genetics: Limitations and future directions. En: Young, A.; Bohier, D. and Boyle, T. (Eds.). *Forest conservation genetics: Principles and practice*. CSIRO/CABI, 289-297.
- Bozzano, M., Jalonen, R., Thomas, E., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S., Smith, P., y 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.
- Breed, M. F., Stead, M. G., Ottewell, K. M., Gardner, M. G., y Lowe, A.J., 2013. Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conserv. Genet.* 14, 1-10.
- Broadhurst, L. M., Lowe, A., Coates, D.J., Cunningham, S. A., Mc Donald, M., Vesk, P. A., y Yates, C., 2008. Seed supply for broad-scale restoration: Maximizing evolutionary potential. *Evol. Appl.* 1, 587-597.
- Conner, J. K., y Hartl, D. L., 2004. *A Primer to Ecological Genetics*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Eriksson, G., 2000. Red Europea de Conservación de Recursos Genéticos de Frondosas Nobles. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.: Fuera de Serie* Nº 2-2000. 59-69.
- Fernández-Manjarrés, J. F., y Benito-Garzón, M., 2015. El debate de la migración asistida en los bosques de la Europa Occidental. Capítulo 41 en Herrero, A. y Zavala, M. A. (Eds). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Magrama. 463-468.
- Hansen, J., 2009. *Storms of my grandchildren*. New York, NY, USA: Bloomsbury Press.
- Hansen, J., Sato, M., y Ruedy, R., 2012. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (37), 2415-2423. doi: 10.1073/pnas.1205276109.



- Hewitt, N., Klenk, N., Smith, A. L., Bazely, D. R., Yan, N., Wood, S., y Henriques, I., 2011. Taking stock of the assisted migration debate. *Biological Conservation*, 144, 2560-2572. doi: 10.1016/j.biocon.2011.04.031
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D. B., Parmesan, C., Possingham, H. P., y Thomas, C. D., 2008. Assisted colonization and rapid climate change. *Science* 321: 345-346.
- Holderegger, R., Kamm, Urs, y Gugerli, Felix, 2006. Adaptive vs. neutral genetic diversity: Implications for landscape genetics. *Landscape Ecology* (2006) 21:797-807.
- IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III para el cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Ipinza, R., 1998. Diseños de Ensayos Genéticos. En: Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V. (Eds). Curso Mejora Genética Forestal Operativa. 16-21 noviembre de 1998. Universidad Austral de Chile, Instituto Forestal, Corporación Nacional Forestal. Chile. 249-299.
- Ipinza, R., 2000. Modelo Básico de Mejora Genética. En: Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V. (Eds). *Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble*. Universidad Austral/ Instituto Forestal. 197-213.
- Ipinza, R., Gutiérrez, B., y Emhart, V., 2000. *Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble*. Universidad Austral/ Instituto Forestal. 468.
- Ipinza, R., y Barros, S. (Eds), 2011. *El Cambio Climático. Los Bosques y La Silvicultura*. Instituto Forestal. 139.
- Ipinza, R., y Gutiérrez, B., 2014. Consideraciones Genéticas para la Restauración Ecológica. En: *Ciencia e Investigación Forestal*. INFOR Chile. Volumen 20 N.o 2 agosto. 51-72.
- Ipinza, R., Gutiérrez, B., y Molina, M., 2014. Mejoramiento genético de eucaliptos, historia, avances y tendencias. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B. y Borralho, N. (Eds). *Mejoramiento Genético de Eucalipto en Chile*. Instituto Forestal. 17-34.
- Ipinza, R., Gutiérrez, B., y Molina, M., 2016. Una pauta sencilla para la restauración del bosque nativo chileno. Boletín de APROBOSQUE. Julio 2016. pp. 14-14. DOI: 10.13140/RG.2.1.3026.0727.
- Ipinza, R. 2018. Migración Asistida: El nuevo Paradigma de la Conservación de Recursos Genéticos Forestales para la Adaptación al Cambio Climático. *Ciencia e Investigación Forestal* 24(3):69-87.
- Kettenring, K. M., Mercer, K. L., Reinhardt, A., y Hines, J., 2014. Application of genetic diversity-ecosystem function research to ecological restoration. *J. Appl. Ecol.* 51 (2), 339-348.
- Kremer, A., 2007. How well can existing forests withstand climate change? In: Koskela, J.; Buck, A. and Teissier du Cros, E. (Eds). *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Bioversity International, Rome, Italy. 3-17.
- Latta R. G., 2003. Gene flow, adaptive population divergence and comparative population structure across loci. *New Phytol.* 161: 51-58.
- Ledig, F. T., y Kitzmiller, J. H., 1992. Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change. *For. Ecol. Manage.* 50:153-169.
- Lefèvre, F., 2007. Conservation of forest genetic resources under climate change: The case of France. In: Koskela, J.; Buck, A. and Teissier du Cros, E. (Eds). *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Bioversity International, Rome, Italy. 95-101.

- Lewis, S., 2006. Review: Tropical forests and the changing earth system. *Philosophical Transactions* 361, 195-210.
- Lowe, A. J., 2010. Composite provenancing of seed for restoration: Progressing the 'local is best' paradigm for seed sourcing. The State of Australia's Birds 2009: Restoring woodland habitats for birds. Compiled by David Paton and James O' Conner. *Supplement to Wingspan* 20 (1) March.
- Lowe, A. J., Boshier, D., Ward, M., Bacles, C. F. E., y Navarro, C., 2005. Genetic resource impacts of habitat loss and degradation; reconciling empirical evidence and predicted theory for neotropical trees. *Heredity* 95, 255-273.
- Manion, P., 1981. Tree Disease Concepts. Upper Sadle River. Prentice Hall, NKJ, USA. 324-339.
- Marris, E., 2009. Planting the forest for the future. *Nature* 459:906-908.
- Mátyás, C., 2007. What do held trials tell about the future use of forest reproductive material? In: Koskela, J.; Buck, A. and Teissier du Cros, E. (Eds). Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. *Biodiversity International*, Rome, Italy. 53-69.
- McLachlan, J., Hellmann, J. J., y Schwartz, M. W., 2007. A framework for debate of assisted migration in an era of climate change. *Conservation Biology*, 21(2), 297-302. doi: 10.1111/j.1523-1739.2007.00676.x
- Millar, M. A., Byrne, M., Nuberg, I. K., y Sedgley, M., 2012. High levels of genetic contamination in remnant populations of *Acacia saligna* from a genetically divergent planted stand. *Restor. Ecol.* 20, 260-267.
- MINAGRI-MMA, 2013. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario. Propuesta Ministerial Elaborada en el Marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012. Ministerio de Agricultura-Ministerio del Medio Ambiente. 64.
- Mueller, J. M., y Hellmann, J. J., 2008. An assessment of invasion risk from assisted migration. *Conserv. Biol.* 22:562-567.
- Navarro, C., Huaunstein, E., Pinares, J., Esse, C., y Cabello, J., 2014. Guía de reconocimiento de Estaciones Forestales de la Región de La Araucanía. Proyecto Innova 11BPC-10164. Implementación de una metodología de tipificación de bosque nativo para la aplicación de la Ley 20.283 sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal. Corfo, Universidad Católica de Temuco, CONAF. 89.
- O'Neill, G., Hamann, A., y Wang T., 2008. Accounting for population variation improves estimates of the impact of climate change on species growth and distribution. *Journal of Applied Ecology* 45: 1040-1049.
- Pedlar, J., Mckenney, D. W., Aubin, I., Beardmore, T., Beaulieu, J., Iverson, L. R., O'Neill, G. A., Winder, R. S., y Ste-Marie, C., 2012. Placing forestry in the assisted migration debate. *BioScience* 62:835-842.
- Pringle, A., Adams, R., Cross, H., y Bruns, T., 2009. The ectomycorrhizal fungus *Amanita phalloides* was introduced and is expanding its range on the west coast of North America. *Molecular Ecology* 18: 817-833.
- Quiroz, I., y Gutiérrez, B., 2014. Propuesta de reglamento para semillas y plantas forestales. INFOR-SAG-Innova Corfo. Concepción. 74.
- Rehfeldt, G. E. 1988. Ecological genetics of *Pinus contorta* from the Rocky Mountains (USA): a synthesis. *Silvae Genetica* 37(3-4): 131-135.
- Rehfeldt, G. E., Tchebakova, N. M., Parfenova, Y. I., Wykoff, W. R., Kuzmina, N. A., y Milyutin, L. I., 2002. Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology*, 8, 912-929. doi: 10.1046/j.1365-2486.2002.00516.x

- Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Sáenz-Romero, C., y Campbell, E., 2012. North American vegetation model for land use planning in a changing climate: A statistical solution to large classification problems. *Ecological Applications*, 22 (1), 119-141. doi: 10.1890/11-0495.1.
- Sáenz-Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Joyce, Dennis G., Beaulieu, J., Clair, J., Bradley St., y Jaquish, Barry C., 2016. Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo*. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente [en línea] 2016, XXII (septiembre-diciembre). 303-323.
- Savolainen, O., Bokma, F., García-Gil, R., Komulainen, P., y Repo, T., 2004. Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes. *For. Ecol. Manage.* 197: 79-89.
- Santibáñez, F., y Santibáñez, P., 2018. Evaluación de las forzantes bioclimáticas en la sustentabilidad de las comunidades de Araucarias en Chile. Hacia una estrategia de conservación del patrimonio natural frente a la amenaza del cambio climático. Infodep. Santiago, agosto de 2018.
- Sgrò, C. M., Lowe, A. J., y Hoffmann, A. A., 2011. Building evolutionary resilience for conserving biodiversity under climate change. *Evol. Appl.* 4, 326-337.
- SIMEF-INFOR, 2017. Migración Asistida. Una Opción para la Conservación de la Araucaria. Conservación *ex situ*. Reunión Internacional Daño Foliar de *Araucaria araucana* 7 al 9 de noviembre de 2017. Villarrica, Chile. 18.
- Vitt, P., Havens, K., Kramer, A.T., Sollenberger, D., y Yates, E., 2010. Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biol. Conserv.* 143:18-27.
- Whitham, T., Young, W., Martinsen, G., Gehring, C., Schweitzer, J., Shuster, S., Wimp, G., Fischer, D., Bailey, J., Lindroth, R., Woolbright, S., y Kuske, C., 2003. Community and ecosystem genetics: A consequence of the extended phenotype. *Ecology*, 84:559-573.
- Williams, M., y Kasten Dumroese, R., 2013. Preparing for Climate Change: Forestry and Assisted Migration. *J. For.* 111(4): 287-297.
- Winder, R. S., Nelson, E. A., y Beardmore, T., 2011. Ecological implications for assisted migration in Canadian forests. 2011. *The Forestry chronicle* 87 (6): 731-744.
- Winder, R., Nelson, E. A., y Beardmore, T., 2011. Ecological implications for assisted migration in Canadian forests. *For. Chron.* 87: 731-744.

## Reconocimientos

Por su siempre inspirador trabajo, mis agradecimientos a los colegas de INFOR Jorge González, Braulio Gutiérrez, Hernán Soto, Marcos Barrientos, María Paz Molina, Andrés Bello, Laura Koch, Patricio Rojas, Dante Corti y Richard Velásquez. También a los colegas de CMPC Juan Andrés Celhay, Verónica Emhart, Jean Pierre Laserre y Eduardo Hernández, y por supuesto a Norma Báez. A los colegas de CONAF Aida Baldini, Patricio Parra, Julio Figueroa, Mónica González, Leonardo Araya; a los guardaparques de los Parques Nacionales de Bío Bío, La Araucanía y Los Ríos, y un reconocimiento especial a Fernando Santibáñez.



# Artículo II

## Cosecha de semillas de *Araucaria araucana*

*María Paz Molina B., Jorge González C.,  
Hernán Soto G. y Marco Barrientos A.,  
Instituto Forestal, Chile*



© INFOR/Roberto Ipinza

### Introducción

*Araucaria araucana* es una importante especie nativa, tanto cultural, económica y socialmente, ya que produce madera de alta calidad y suministra un recurso único para el turismo y la recreación. Este árbol, de gran importancia en la cultura del pueblo pehuenche, también es valorado por sus grandes semillas comestibles, que son extensamente recolectadas para el autoconsumo y para ser vendidos en diferentes mercados a granel o como harinas.

En Chile, esta especie se encuentra declarada Monumento Natural desde 1990 mediante el D.S. N.º 43 del Ministerio de Agricultura, el que prohíbe su explotación. Además, fue clasificada como ‘vulnerable’ por el D.S. N.º 51, de 2008, de la Segpres. En el año 2013, según los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), es categorizada ‘en peligro de extinción’. En la “Ley 20.283/MINAGRI

sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal”, en el artículo 19, se prohíbe la corta de la *Araucaria*, con excepción de que sea para fines de investigación científica y sanitaria.

Su comercio internacional también está prohibido, ya que las poblaciones de Chile y Argentina están incluidas en el apéndice I de la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES).

En Chile, se estima que un 48,4% del área total de distribución se encuentra dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), concentrándose principalmente en la cordillera de los Andes.

A pesar de su estatus de especie protegida y de su excepcional significación ecológica, económica y cultural, continúa experimentando intensas presiones inducidas por el ser humano, y últimamente se encuentra afectada en la

mayor parte de su distribución por una extraña enfermedad foliar detectada en el año 2016. Existen diversas hipótesis respecto a sus causas, tales como las siguientes: (1) ataque de agentes patógenos, (2) cambio climático, (3) régimen de hambre de las Araucarias y (4) problemas en su genoma, todas ellas materia de investigación. Sin embargo, claramente la enfermedad es letal, ya que se ha detectado mortalidad de árboles en menos de un año después de haber manifestado los síntomas.

Es por esta razón que el grupo de Conservación y Mejoramiento Genético del Instituto Forestal, en su misión de apoyar a las instituciones públicas y agentes económicos privados del sector forestal, se ha propuesto la colecta de material genético de esta especie, junto con estudiar técnicas de conservación, con el fin de generar información útil para la preservación de

este recurso y establecer poblaciones base en el marco de un Programa de Migración Asistida hacia latitudes donde el grado de amenaza sea menor, en espera de que se reconozcan las causas y elementos de control que puedan evitar la pérdida del germoplasma de la especie. En este ambicioso plan concurren con recursos y profesionales SIMEF (Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales, proyecto FMAM-FAO), INFOR, CONAF y Forestal Mininco (Empresa CMPC).

En el presente capítulo se muestra un protocolo básico de colecta de semillas de la especie y los antecedentes de 458 familias de la distribución natural colectadas en las temporadas 2018 y 2019 y que se encuentran actualmente en fase de producción de plantas en el vivero Carlos Douglas de Forestal Mininco.

## Descripción general de la especie

La Araucaria o Pehuén (*Araucaria araucana*) es una conífera nativa de los bosques templados del centro-sur de Chile y Argentina. Capaz de superar los 1300 años de edad, es una de las coníferas más longevas. Puede crecer hasta 50 m de altura,

posee un tronco cilíndrico y muy recto de hasta 2,5 m de diámetro. Exhiben una copa abierta con ramas angostas; de esta manera la nieve no puede acumularse.

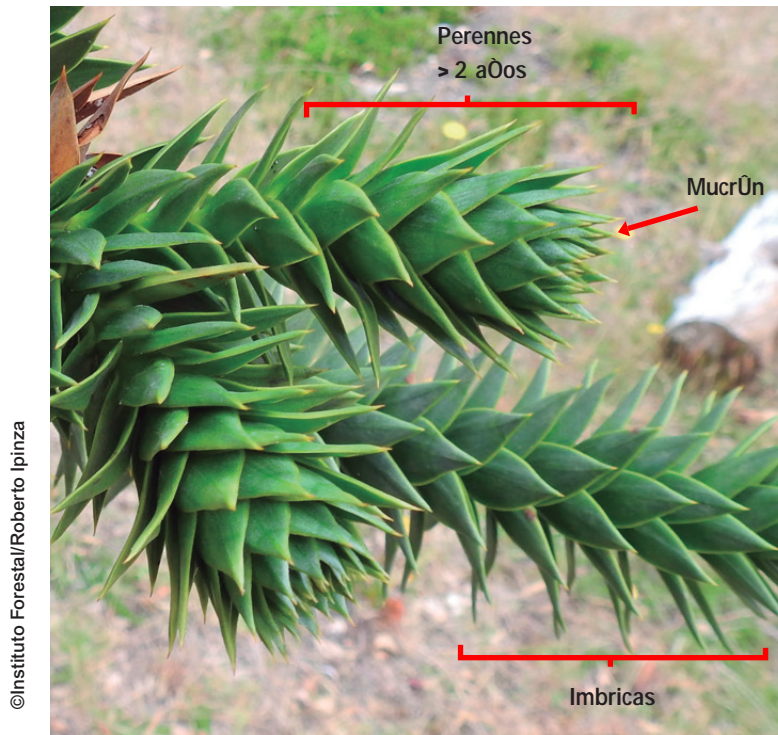


## Hojas y follaje

*Araucaria araucana* presenta dos formas que diferencian sustancialmente la etapa juvenil de la adulta. Durante la etapa juvenil, la copa es de aspecto piramidal, con un patrón de ramificación relativamente regular, con 3 a 7 ramas por verticilo, de disposición perpendicular al tronco, o bien ligeramente arqueadas hacia arriba. Sus ramas se disponen en verticilos, extendiéndose en forma horizontal, con los extremos doblados hacia arriba y cubriendo todo el tronco del individuo (Figura 1) (Donoso, 1993). En la etapa adulta, el árbol pierde las ramas inferiores, presentando una copa reducida en forma.

Las hojas son perennes, no cuentan con pecíolo (son sésiles), de textura muy rígida, dura, coriácea, de forma lanceolada y provista de un mucrón o espinita terminal. La base de la hoja es muy ancha y pegada a la rama o tallo. El tamaño de las hojas alcanza aproximadamente 3 a 4 cm de largo por 1,5 a 2 cm de ancho. Su color es verde oscuro, lustroso, y presentan estomas en ambas caras. Las hojas se disponen de manera helicoidal o espiralada, cubriendo totalmente el tallo. Aparasolada con las ramas dobladas hacia abajo, lo que determina que la copa se inicie a gran altura del fuste (Montaldo, 1974; Serra, 1987).

Figura 1: *Ramas de Araucaria araucana en estado juvenil (2009)*



Fuente: Ipinza, 2009, modificado por Molina, 2018.

## Flores, frutos y semillas

Se trata de una especie dioica (Figura 2), aunque existe evidencia de monoicos, es decir, hay ejemplares con flores masculinas y ejemplares con flores femeninas que producen frutos. La polinización es anemófila (viento), y se efectúa entre diciembre y enero.

- Las flores masculinas son conos amentiformes cilíndricos, de ubicación terminal en las ramas dispuestas en racimos. Son de color castaño oscuro, de 8 a 12 cm de largo y 4 a 5 cm de diámetro, con numerosas escamas punzantes, espiraladas, densamente imbricadas, que al abrir liberan abundante polen. Terminan en un apéndice aplanado. Los amentos masculinos aparecen entre agosto y septiembre. En condiciones naturales, solo los árboles del estrato dominante participan en la reproducción.
- Las flores femeninas son conos esféricos de color verde, de unos 15 a 20 cm de diámetro, compuestos por numerosas escamas coriáceas y punzantes. Estos conos femeninos se localizan en los extremos de las ramas nuevas y comienzan a desarrollarse hacia fines de noviembre.

Figura 2: **Flores masculinas y femeninas de *Araucaria araucana* (2018)**



Fuente: Ipinza, 2009, modificado por Molina, 2018.

Luego de la fertilización, que ocurre en enero, el cono se lignifica y endurece, para luego abrirse y diseminar las semillas 16 a 18 meses después dentro del ciclo reproductivo que dura dos años en condiciones naturales (Caro, 1995).

Cada cono libera aproximadamente entre 120 y 300 semillas<sup>8</sup> (Donoso, 1998; Gilman y Watson, 1993; Donoso y Cabello, 1977; González, 2017, datos no publicados), comúnmente llamadas “piñones”, que tienen un tamaño promedio de 4 a 5 cm de largo por 1,5 cm de ancho, de forma oblonga a cuneiforme, algo comprimidas, de color siena. Carecen de alas y presentan un ligero apéndice apical. El cono es pesado, con 200 a 300 semillas por kilo, en promedio 3,5 a 3,8 g por semilla. Un árbol puede producir entre 20 a 40 conos.

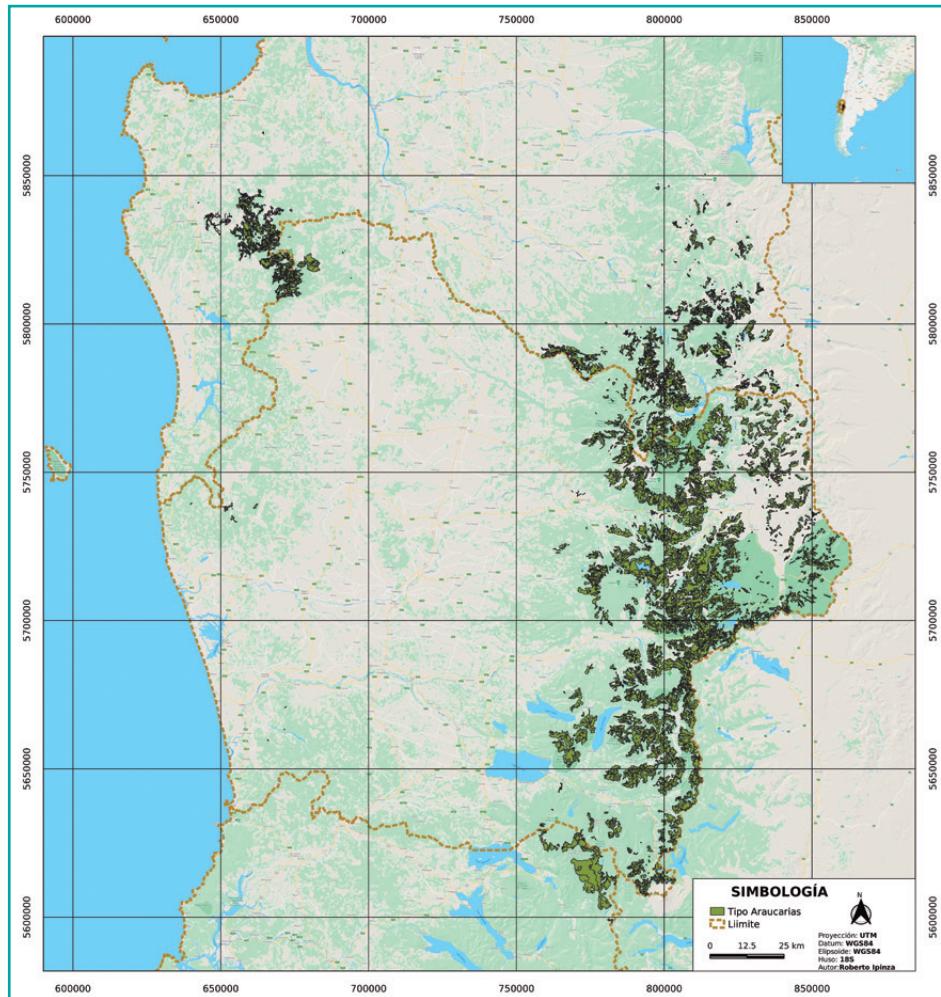
<sup>8</sup> El número de semillas por cono en la zona de Lonquimay fluctúa entre 100 y 200, encontrándose valores promedios entre 92 y 121 semillas (Muñoz, 1984; Serra, 1987; Caro, 1995).



## H-bitat

*Araucaria araucana* crece en ambas cordilleras de las regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos (Figura 3).

Figura 3: *Distribución geográfica de Araucaria araucana en Chile*



Fuente: Guzman, 2020.  
Conforme al mapa de Naciones Unidas.

En la cordillera de los Andes crece en suelos desarrollados sobre rocas volcánicas andesíticas y basálticas cuaternarias, cubiertas en gran parte por cenizas y escorias volcánicas de buen drenaje, en las que se arraiga mediante un potente sistema radicular, con una raíz principal o pivotante y raíces paralelas a la superficie que pueden extenderse en un radio de hasta 20 m, lo que le otorga estabilidad.

La mayor parte de estos sitios se caracterizan por sus condiciones ecológicas extremadamente marginales y frágiles, a una altitud en la que existe una importante precipitación en forma de nieve, la que permanece sobre el suelo durante largas temporadas, fluctuando entre los 2 000 y 4 500 mm.

Las condiciones climáticas son rigurosas, con clima de hielo por efecto de la altura, temperaturas invernales de -5 a -10 °C, mientras que la máxima absoluta puede alcanzar los 30 °C, con cortas estaciones de crecimiento. Hacia la vertiente oriental de los Andes, las precipitaciones disminuyen a 1600-1900 mm anuales, y el clima se vuelve seco hacia la estepa, con 600 mm de precipitación y temperaturas invernales que alcanzan los -20 °C.

En la vertiente occidental de la cordillera de los Andes se asocia con especies leñosas, tales como *Nothofagus pumilio* y *N. antarctica* en sitios de mayor altitud, llegando incluso a formar rodales puros de la especie ante extremas condiciones de sitio donde algunos individuos se presentan achaparrados.

En altitudes menores, en tanto, se asocia con *N. dombeyi*. Mientras que la vertiente andina oriental se presenta en bosquetes puros o en árboles aislados hacia la estepa patagónica, formando comunidades con *Austrocedrus chilensis*.

En la cordillera de Nahuelbuta crece sobre suelos de rocas metamórficas o graníticas, con mayor contenido orgánico que en los Andes. Las condiciones climáticas en general son más moderadas, con un clima templado-cálido con cuatro meses secos y fuerte influencia mediterránea, predominando las precipitaciones pluviales, con un monto de 1500 a 3000 mm anuales, y temperaturas medias que varían entre -1 °C en invierno y 9 °C en verano.

En la cordillera de Nahuelbuta se presenta junto a *N. pumilio* y *N. antarctica* en las mayores altitudes, mientras que al descender le acompañan *N. dombeyi*, *N. alpina* y en algunos sectores *N. obliqua*. En áreas de menor altitud, se asocia con *Saxegothaea conspicua*, *Eucryphia cordifolia*, *Weinmannia trichosperma*, *Laurelia sempervirens* y *Drimys winteri* en sectores de mayor humedad. El sotobosque comúnmente está integrado por *Chusquea couleu*, *Drimys andina* y especies del género *Berberis*. En sectores altos, muy abiertos, expuestos al océano, y con suelos muy pobres y delgados, constituye pequeñas poblaciones de araucarias enanas.



## Problemas de conservación de la especie

### › Regeneración

La regeneración natural de *Araucaria* se caracteriza por una baja capacidad de competencia. La semilla presenta germinación semihipogea de corta viabilidad, de 90 a 120 días, hecho que dificulta su regeneración. La mayoría de las plántulas crecen directamente bajo los árboles hembras adultos; no obstante, solo aquellas que lo hacen bajo claros de dosel abierto o en áreas expuestas tienen buena opción para desarrollarse exitosamente. Solo logra ventajas frente a las especies competidoras *Chusquea couleu*, *Nothofagus pumilio* o *N. dombeyi* si sobrevive a los disturbios o coloniza prontamente áreas devastadas luego de la destrucción de los rodales en su ambiente nativo. Pese a ser poco competitiva, es una especie bien adaptada a sobrevivir frente a duras condiciones por medio de su estrategia de reproducción y dispersión, así como de su supervivencia al fuego y su longevidad.

Algunos autores, tales como Muñoz (1984), Donoso (1993) y Caro (1995), afirman que el proceso de regeneración está fuertemente sujeto al azar y no puede ser predicho en forma precisa como un fenómeno cíclico, porque las alteraciones alogénicas son impredecibles y la disponibilidad de semillas que puedan producir plantas de ambos sexos y acceder al sitio dependerá de los fenómenos de floración y producción de semillas. Los autores además comentan que dentro de un rodal los árboles que se ubican en el dosel superior son los que producen la mayor cantidad de semillas.

Su producción está condicionada por el espaciamiento o área disponible para el crecimiento del árbol, ya que ello influye en el aprovechamiento de los distintos factores ambientales. Una fuerte reducción del área basal genera un significativo aumento en el número de árboles productores de semillas, que en su mayoría poseen diámetros inferiores a 50 cm.

En el estudio sobre la regeneración natural de *A. araucana* realizado en el Parque Nacional Nahuelbuta se concluye que la especie posee habilidad para regenerar en cualquier tipo de combinación con las especies del género *Nothofagus* como respuesta a perturbaciones de distinta escala, que van desde la apertura de dosel causadas por caída de uno o varios árboles, hasta incendios y deslizamientos de tierra. León y Villaruel (2004) indican que la ocurrencia de incendios forestales favorece el establecimiento y desarrollo de la regeneración de *A. araucana* sobre otras especies arbóreas. Burns (1993) y González *et al.* (2006) afirman que las características autoecológicas que le permiten resistir incendios de baja y mediana intensidad son su gruesa corteza, que puede llegar a 20 cm de espesor en individuos adultos, sus rebrotes vegetativos, su follaje grueso y la configuración de sus conos femeninos, capaces de proteger del fuego a las semillas.

› Daños en copa y ramas

En enero de 2016, en la Reserva Nacional Ralco se detectó una enfermedad desconocida en las Araucarias, que presentaban daños en su copa y ramas con distinta severidad (Figura 4), así como también se observó la mortalidad de árboles (Figura 5). Los síntomas de esta enfermedad se caracterizan por la pérdida de color verde de las hojas en las ramas inferiores, pasando a tonalidades café hasta secarse.

Existen diversas hipótesis respecto a las causas de dicha enfermedad, tales como las siguientes: (1) ataque de agentes patógenos, (2) cambio climático, (3) régimen de hambre de las Araucarias y (4) problemas en el genoma de las Araucarias. Esto actualmente es materia de investigación.

**Figura 4: Ramas cloróticas en individuos jóvenes de *Araucaria araucana*. Comuna de Lonquimay (IX Región) (2018)**



Fuente: Roberto Ipinza, 2018.

**Figura 5: Individuos adultos de *Araucaria araucana*. A la izquierda se observa un individuo muerto y a la derecha uno sano. Comuna de Lonquimay (IX Región) (2018)**



Fuente: Roberto Ipinza, 2018.

➤ **Protocolo de colecta de semillas utilizado para la cosecha de semillas**

facilitar la extracción de semillas de la especie con fines de investigación.

Previo a iniciar la cosecha de semillas se realizaron visitas a distintos puntos de la distribución natural de la especie con el propósito de conocer el estado de la enfermedad en distintos sectores y coordinar redes de apoyo con los profesionales de CONAF y algunas comunidades indígenas para

En este mismo período, profesionales de CONAF en Lonquimay procedieron a capacitar al equipo INFOR acerca de la manera de reconocer claramente los individuos afectados y el grado de daño. Figuras 6 a la 13.

**Figura 6: Reunión del equipo INFOR con profesionales de CONAF, Región de La Araucanía (2018)**

**Figura 8: Reunión con el equipo de programas indígenas de la I. Municipalidad de Lonquimay (2018)**

©Instituto Forestal/Roberto Ipinza



Fuente: Roberto Ipinza, 2018.

©Corporación Nacional Forestal



Fuente: CONAF, 2018.

**Figura 7: Visita a Parque Nacional Conguillío (2018)**

**Figura 9: Prospección inicial en Reserva Nacional China Muerta (2018)**

©Instituto Forestal/Roberto Ipinza



Fuente: Roberto Ipinza, 2018.

©Instituto Forestal/Roberto Ipinza



Fuente: Roberto Ipinza, 2018.

**Figura 10: *Prospección inicial en Reserva Nacional Ralco (2018)***



©Instituto Forestal

Fuente: INFOR, 2018.

**Figura 12: *Reunión del equipo de INFOR con loncos del sector Reserva Nacional Ralco (2018)***



©Instituto Forestal

Fuente: INFOR, 2018.

**Figura 11: *Vista particular de individuos de Araucaria seriamente dañados por la enfermedad (2018)***



©Instituto Forestal

Fuente: INFOR, 2018.

**Figura 13: *Experta de CONAF Aida Baldini capacita al equipo INFOR en el reconocimiento de daño en Araucarias (2018)***



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

Fuente: Ipinza, 2018.

# Consideraciones para la cosecha de semillas de *Araucaria araucana*



- 1. Confirmar su procedencia.** Una vez elegido el lugar, observar a su alrededor y considerar sectores de poco tránsito animal y de personas vinculadas a la recolección de piñones. Ubicar también sectores con regeneración abundante de *Araucaria araucana*. Todo esto nos indica los árboles posibles de cosechar (hembras), y también que pueden ser árboles no sobreexplotados a los cuales se les cosechan en su totalidad las semillas, razón por la que posee regeneración natural.
- 2. Distancia.** Cosechar semillas de árboles separados por una distancia mínima de 50 m para evitar el parentesco. Además, recolectar en un radio de 7 m en árboles inferiores e intermedios y de 13 m para árboles dominantes o codominantes. Nunca considerar árboles juntos.
- 3. Datos del lugar y árbol.** Registrar datos descriptivos del lugar (tipo de bosque, macrozona) y del árbol (coordenadas, tipo de daño y observaciones).
- 4. Método de colecta.** Dependiendo del terreno y de la accesibilidad a las semillas de cada árbol, se deben emplear diferentes métodos de colecta (honda, lazo, mallas recolectoras), y solo en el caso de contar con personal de apoyo especializado, escalar el árbol, procurando usar todas las medidas de seguridad para evitar accidentes personales y daños mayores a

los árboles durante esta labor.

- 5. Número de semillas.** Se debe coleccionar un mínimo de 250 semillas/árbol, las cuales son almacenadas en mallas de plástico, etiquetadas y registradas en un formulario de colecta creado para este fin (Ver formulario en Anexo 1).
- 6. Almacenar.** Una vez colectadas, almacenar las semillas a una temperatura de entre 0 °C y 5 °C hasta el momento de prepararlas para la siembra. Si el objetivo es realizar estudios moleculares, almacenar a una temperatura entre -20 °C y -80 °C.

Dentro de los materiales que se requirieron para la cosecha de semillas se encuentran: malla Rachel (> 75%); mallas plásticas para frutas, cuerdas (25 m de largo por 4 y 8 mm de diámetro), machetes, rozón, tijeras, antiparras, cascos, guantes, etiquetas, marcadores, huincha métrica, hipsómetro, vertex, brújula, GPS, formularios de colecta, documento de autorización de CONAF para ingreso a áreas protegidas (Ver documento de autorización en Anexo 2).

# Resultados



## Caracterización de procedencias

Al finalizar la campaña de colecta del año 2018, se obtuvieron 418 familias de un total de 12 procedencias, las cuales comprenden la distribución natural de *Araucaria araucana*.

El número de árboles madre colectados por procedencias varió de 8 a 97 en función de la cantidad existente, del acceso al lugar (público o privado), de la altura de los árboles, de la disposición de los usuarios del sector y el apoyo de personal especializado en colecta de semillas.

Durante 2018 se recibió el estudio “Evaluación de las forzantes bioclimáticas en la sustentabilidad de las comunidades de Araucarias en Chile”,

desarrollado por el Dr. Fernando Santibáñez, experto para este proyecto. En él se visualiza que la procedencia del Parque Nacional de Nahuelbuta es una de las más vulnerables frente al cambio climático, dada la tendencia que marca este fenómeno a nivel país.

En este contexto, durante los meses de marzo y abril de 2019 se cosecharon 40 nuevas familias en esta procedencia, llegando a un total de 458 para todas las procedencias. En el Cuadro 1 se resumen las procedencias y cantidad de semillas colectadas en cada una de ellas.



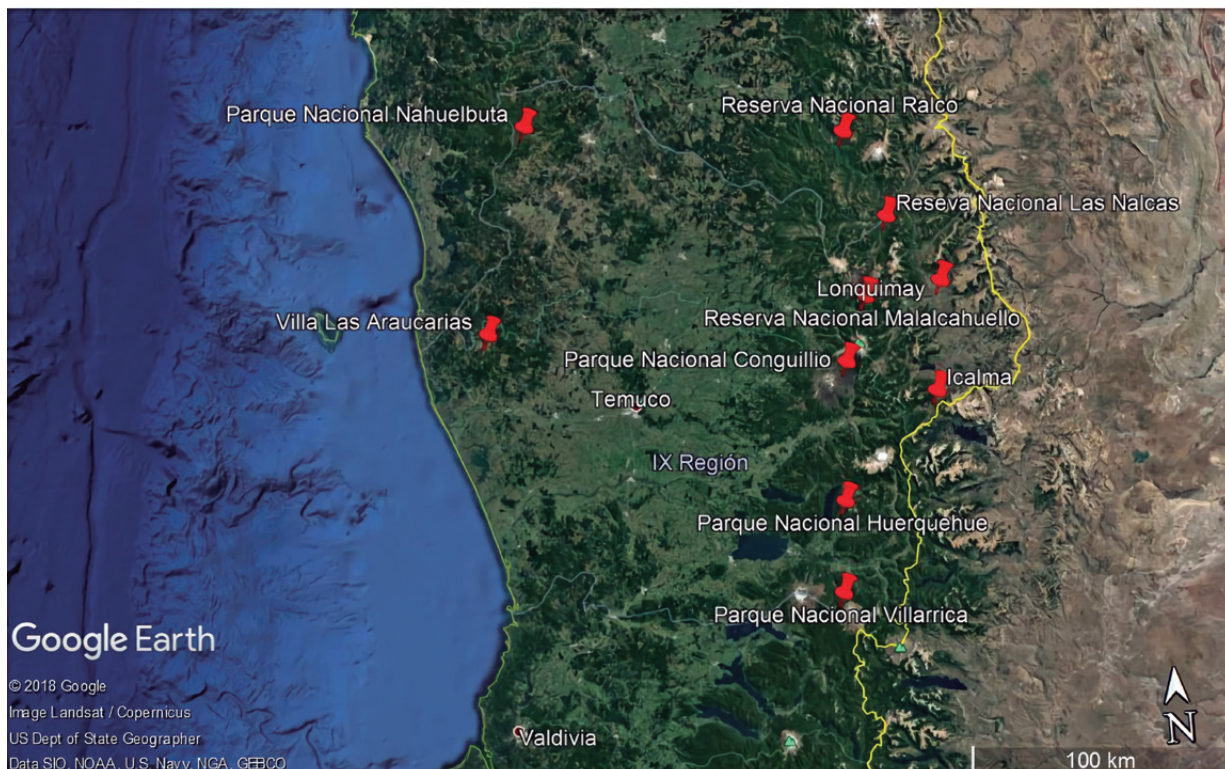
**Cuadro 1: Listado de procedencias de semillas de *Araucaria araucana* colectadas. Se muestra macrozona, procedencia y número de árboles madre colectados**

Macrozona	Procedencias	CÚd.	N°mero de árboles colectados 2018-2019	%
Costa	PN Nahuelbuta	PNN	61	13,3
	Villa Las Araucarias	VLA	26	5,7
	<b>Total Costa</b>		<b>87</b>	<b>19</b>
Andes	RN Ralco	RNR	97	21,2
	RN Nalcas	RNN	46	10,0
	Lonquimay	LON	8	1,7
	Cruzaco	CRU	20	4,4
	Marimenuco	MAR	8	1,7
	RN Malalcahuello	RNM	32	7,0
	PN Huerquehue	PNH	32	7,0
	PN Conguillío	PNC	46	10,0
	Icalma	ICA	38	8,3
	PN Villarrica	PNV	44	9,6
	<b>Total Andes</b>		<b>317</b>	<b>81</b>
<b>Total de árboles colectados</b>			<b>458</b>	<b>100</b>

Fuente: INFOR, 2019.

En la Figura 14 se presentan los puntos de cosecha de los 458 árboles colectados a lo largo de la distribución natural de la especie.

**Figura 14: Distribución de árboles cosechados de *Araucaria araucana* en las zonas de procedencia Andes y Costa**



Fuente: Imagen satelital de Google Earth. 2018. Modificado por Jorge González. 2018. Conforme al mapa de Naciones Unidas.

En la Figura 15 se aprecia el prototipo de árbol madre presente en la procedencia Lonquimay, en la Región de La Araucanía.

**Figura 15: Árboles madre de *Araucaria araucana*, procedencia Lonquimay, IX Región (2018)**



Fuente: Roberto Ipinza, 2018.

En la Figura 16 se observa el método de cosecha de piñones para no dañar los árboles. El árbol evidencia daño en la parte baja de su copa, sin embargo, posee semillas.

**Figura 16: Aspecto general de la cosecha de frutos de *Araucaria* utilizando pértiga para remover los piñones con vibración de la piña (2018)**

Fuente: Roberto Ipinza, 2018.

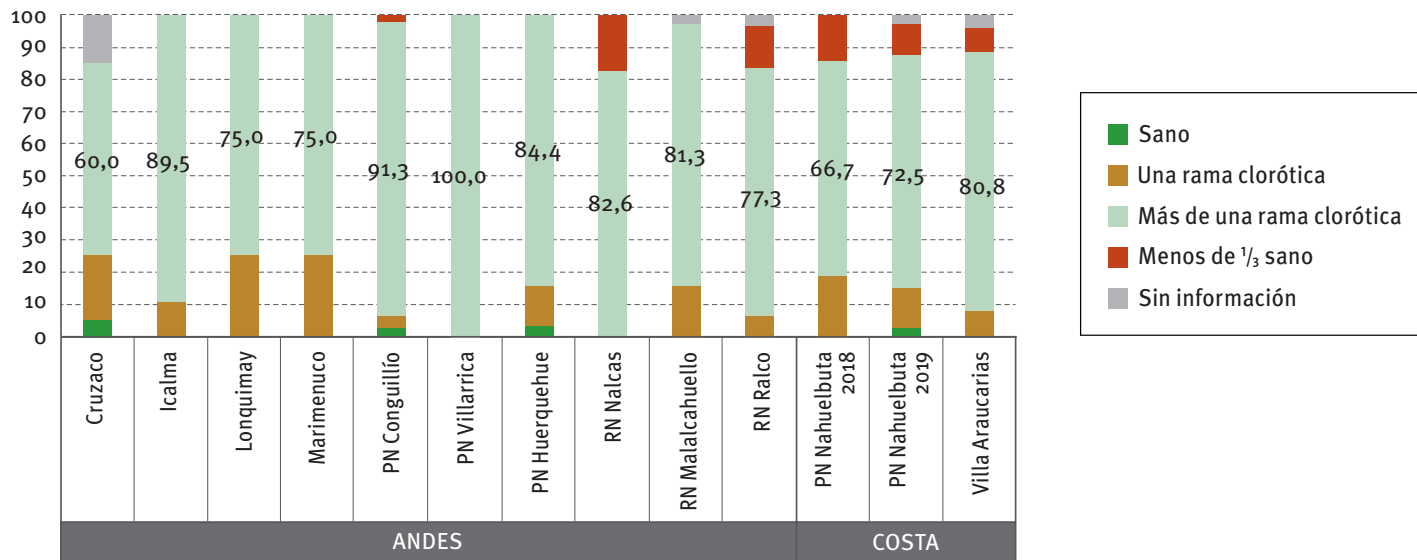


©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

Cada procedencia fue caracterizada mediante datos categóricos para registrar el estado de los árboles madre al momento de la colecta. Para ello, en el formulario de colecta se registró información respecto a categoría del daño, localización del daño y porcentaje de copa afectada, de acuerdo con la clasificación propuesta por Reyes, Pinto y Cruz (2017). Copia del formulario especificando las categorías utilizadas se incluye en el Anexo N.o 1 de este capítulo.

Para el primer criterio, “Categoría del daño” (Figura 17), se observa que la mayoría de las procedencias se clasifican en la subcategoría “Más de una rama clorótica”. En la procedencia PN Villarrica el 100% de los árboles se clasifica en esta categoría. Las procedencias con un mayor número de árboles dañados en categorías más altas, como “Menos de 1/3 sano”, son las de la macrozona Costa (PN Nahuelbuta y Villa Las Araucarias) y las procedencias RN Nalcas y RN Ralco. Procedencias en que se detectaron árboles sanos solo fueron 4: Cruzaco, PN Conguillío, PN Huerquehue y PN Nahuelbuta (cosecha 2019).

Figura 17: Porcentaje de árboles madre en cada categoría de daño por procedencia

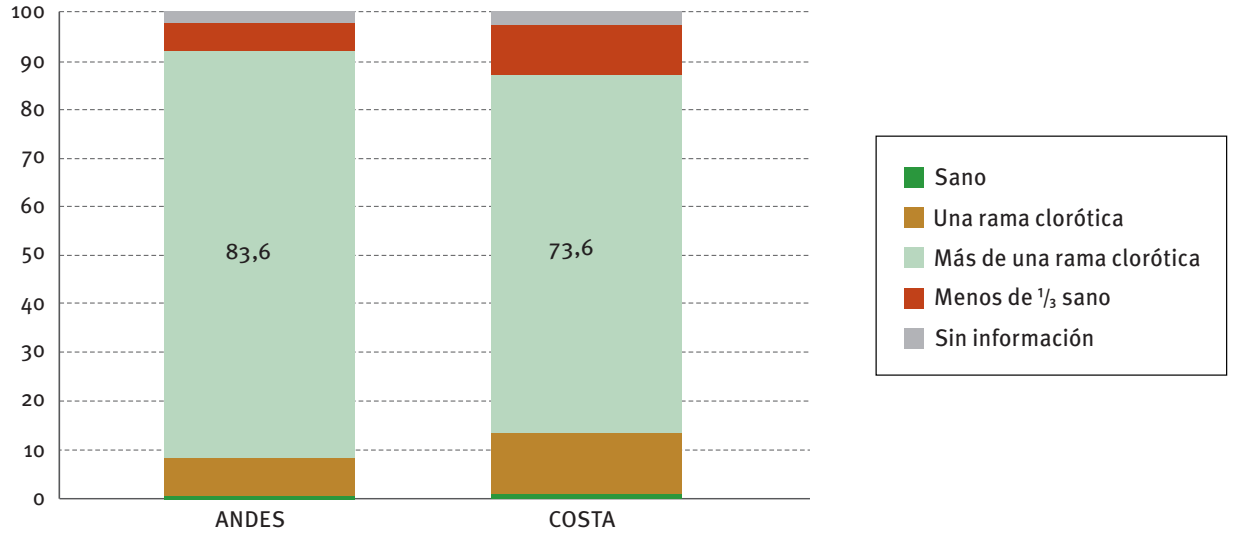


Fuente: INFOR, 2019.

NOTA: Frecuencias apiladas para el criterio “Categoría del daño” por procedencias muestreadas durante las campañas de colecta de semillas realizadas por el Instituto Forestal (marzo-abril 2018 y marzo-abril 2019) a lo largo de la distribución natural. Los colores representan las diferentes subcategorías del criterio.

Si se analiza la situación por macrozona, esta no parece tener diferencias significativas, ya que tanto en Costa (73,6%) como en Andes (83,6%) la mayor frecuencia de categoría de daño corresponde a “Más de una rama clorótica” (Figura 18).

**Figura 18: Porcentaje de árboles madre en cada categoría de daño por macrozona**



Fuente: INFOR, 2019.

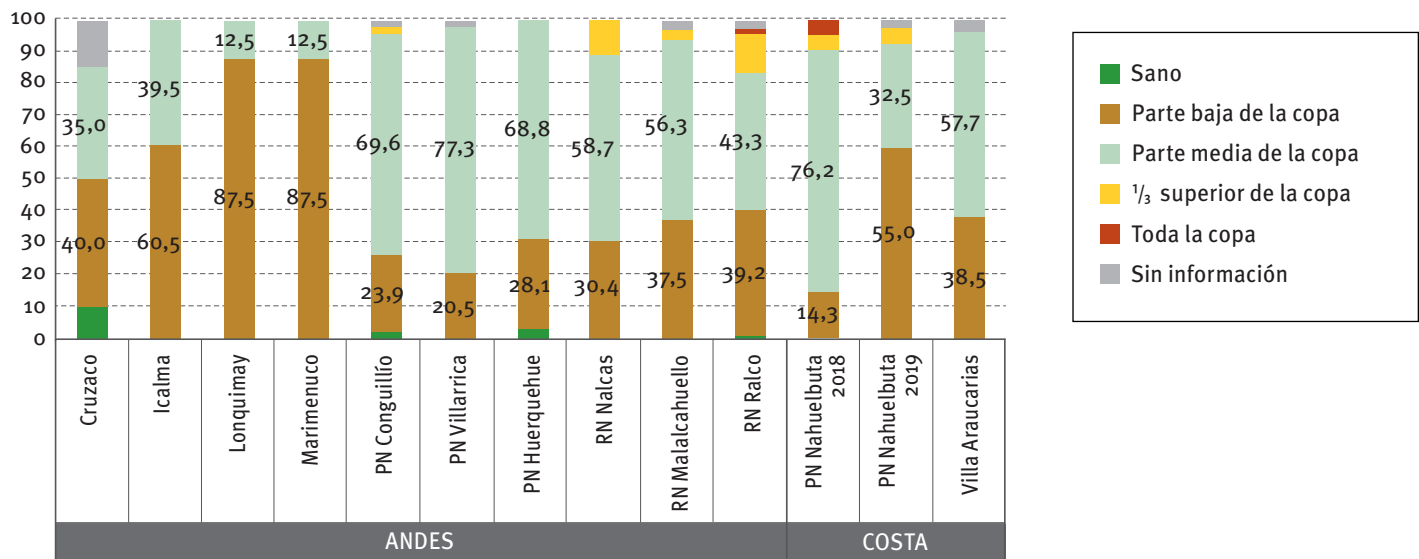
NOTA: Frecuencias apiladas para el criterio “Categoría del daño” por macrozonas muestreadas durante las campañas de colecta de semillas realizadas por el Instituto Forestal (marzo-abril 2018 y marzo-abril 2019). Los colores representan las diferentes subcategorías del criterio.



Continuando con los datos categóricos, el segundo criterio recogido durante la campaña de muestreo corresponde a “Localización del daño” (Figura 19), es decir, dónde se concentra el daño en el árbol madre muestreado. Para ello, se dividió la escala en cuartiles, comenzando desde la parte baja de la copa hasta la copa completa, considerando adicionalmente árbol sano y muerto. La mayoría de las procedencias localizan el daño en la “parte media” del árbol, a excepción

de Cruzaco, Icalma, Lonquimay y Marimenuco, que lo sitúan principalmente en la “parte baja” de la copa. Por otro lado, las procedencias RN Ralco y PN Nahuelbuta cosecha 2018 son las únicas que muestran árboles dañados en la totalidad de la copa. En contrapartida a lo anterior, las procedencias Cruzaco, PN Conguillío, PN Huerquehue y PN Nahuelbuta cosecha 2019 son las únicas en que se presentan árboles madre completamente sanos.

**Figura 19: Porcentaje de árboles madre según la localización del daño en la copa por procedencia**

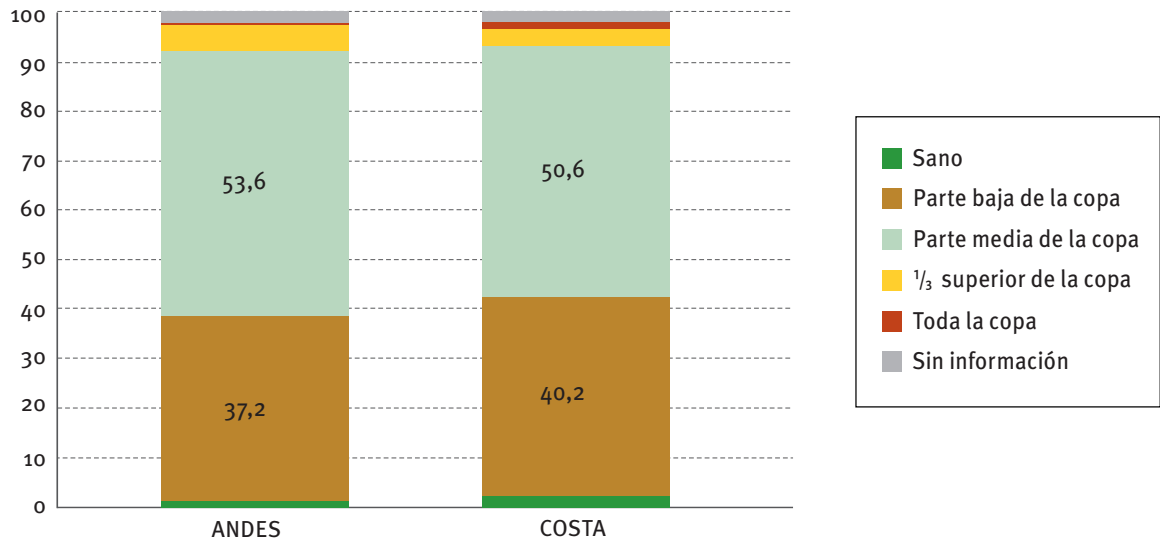


Fuente: INFOR, 2019.

NOTA: Frecuencias apiladas para el criterio “Localización del daño” por procedencias muestreadas durante las campañas de colecta de semillas realizadas por el Instituto Forestal (marzo-abril 2018 y marzo-abril 2019). Los colores representan las diferentes localizaciones del daño en la copa de los árboles.

En el análisis a nivel de macrozona para este criterio se observa tanto en Andes como en Costa que el mayor daño se localiza en la “parte media” de la copa de los árboles muestreados (Figura 20).

**Figura 20: Porcentaje de árboles madre según la localización del daño en la copa por macrozona**



Fuente: INFOR, 2019.

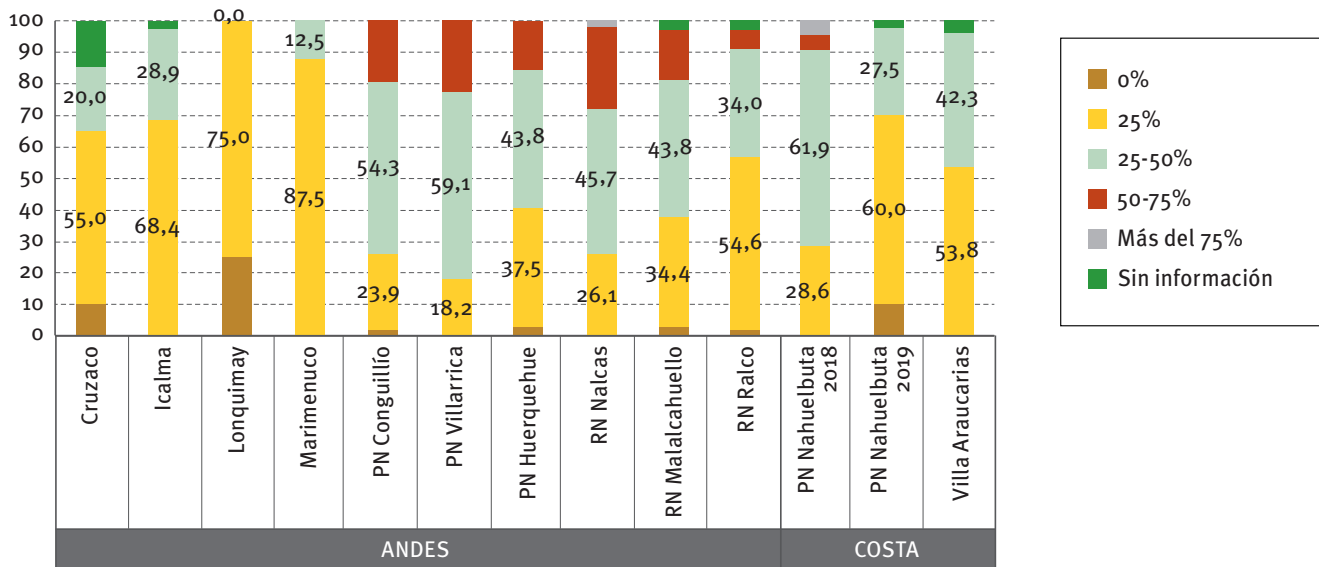
NOTA: Frecuencias apiladas para el criterio “Localización del daño” por macrozonas muestreadas durante las campañas de colecta de semillas realizadas por el Instituto Forestal (marzo-abril 2018 y marzo-abril 2019). Los colores representan las diferentes localizaciones del daño en la copa de los árboles.



Por último, en el criterio “Porcentaje de copa afectada” se observa una mayor heterogeneidad entre las procedencias. En 7 procedencias existe una mayor proporción de árboles en la categoría “25% o menos” (color amarillo) y en las 6 procedencias restantes predomina la categoría de

“25 a 50%” (color verde claro). El daño más severo a nivel de copa, “más del 75%”, se aprecia solo en dos procedencias: RN Nalcas y PN Nahuelbuta cosecha 2018. En ambos casos se consideró un solo árbol para la cosecha.

Figura 21: **Porcentaje de la porción de copa afectada en árboles madre por procedencia**

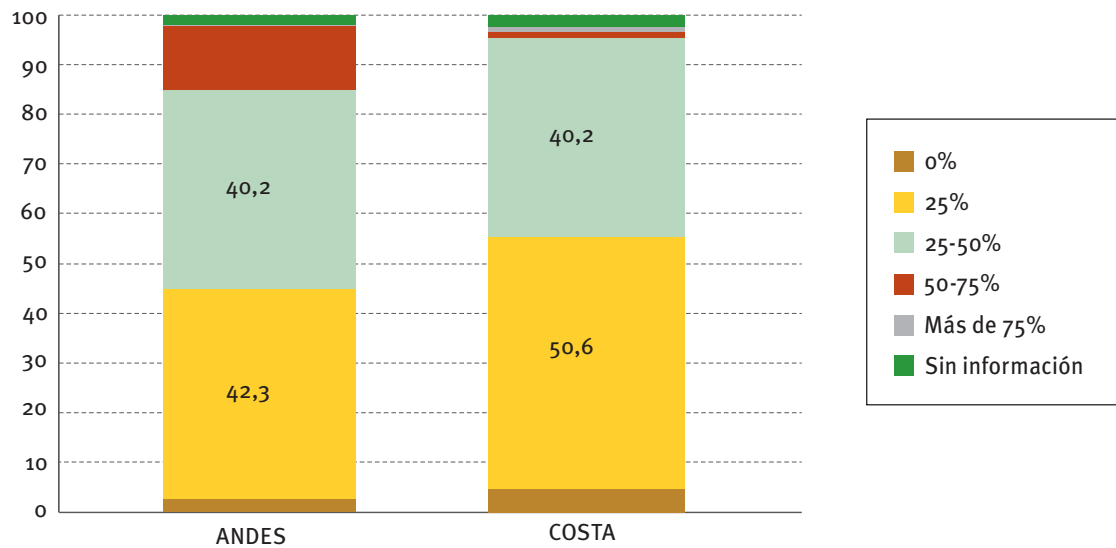


Fuente: INFOR, 2019.

NOTA: Frecuencias apiladas para el criterio “Porcentaje de copa afectada” por procedencias muestreadas durante la campaña de colecta de semillas realizada por el Instituto Forestal (marzo-abril 2018). Los colores representan las diferentes subcategorías de porcentaje de copa afectada de los árboles.

Al comparar ambas macrozonas (Figura 22), no se observan diferencias significativas. Solo se destaca el efecto de RN Nalcas, en la que existe una alta frecuencia de la subcategoría 50-75%, aumentando en este caso el resultado para la macrozona Andes.

**Figura 22: Proporción de copa afectada en árboles madre por macrozona**



Fuente: INFOR, 2019.

NOTA: Frecuencias apiladas para el criterio “Porcentaje de copa afectada” por macrozonas muestreadas durante la campaña de colecta de semillas realizada por el Instituto Forestal (marzo-abril 2018). Los colores representan las diferentes subcategorías de cobertura de la copa de los árboles.



# Conclusiones



De acuerdo con los resultados, todas las procedencias están afectadas por el daño foliar que presenta la *Araucaria* en la actualidad.

En la mayor parte de las procedencias el daño se localiza en las partes baja y media de la copa de los árboles muestreados.

Del total de los árboles seleccionados como árboles madre, en las procedencias Andes (371 árboles madre, equivalentes al 82,4% del total) los daños en la copa se distribuyen equitativamente entre el “25% o menos” y el “25 a 50%”. En la macrozona Costa (87 árboles) la

mitad de los árboles muestreados presentaron un daño en la copa de “25% o menos”.

Los antecedentes de este estudio son descriptivos de los árboles seleccionados, pero no necesariamente representan la situación sanitaria real de la especie *Araucaria araucana*, dado que si bien no se descartaron los árboles enfermos para la obtención de semillas, sí se priorizó la presencia de piñas, las que se encuentran solo en especímenes hembras y árboles lo suficientemente sanos para reproducirse.



© Instituto Forestal/Roberto Ipinza

# Referencias



Caro, M. 1995. Producción y dispersión de semillas de *Araucaria araucana* en Lonquimay. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 55.

Donoso, C. 1993. *Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica*. Primera edición. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 484.

Donoso, C., y Cabello, A. 1977. Antecedentes fenológicos y de germinación de especies leñosas chilenas. *Revista de la Facultad de Ciencias Forestales*, 1 (2), 31-4.

Donoso, C. 1998. *Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica*. Cuarta Edición. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 483.

Gilman, E., y Watson, D. 1993. *Araucaria araucana*. Fact sheet st-81. Series of the environment horticulture department, Florida cooperative extension service, institute of food an agricultural science. University of Florida. 3.

González, M., Cortés, M., Izquierdo, F., Gallo, L., Echeverría, C., Bekkessy, S., y P. Montaldo. 2006. *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch.; Araucaria, Monkey Puzzle Tree. En: Donoso (ed.). Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: Autoecología (36-53). Valdivia, Chile.

León, E., y Villarroel, D. 2004. Dinámica regeneracional posincendio de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch en la cordillera de la IX Región-Chile. Tesis Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 39.

Montaldo, P. 1974. La Bioecología de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch. Bol. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación de Venezuela, 46 (48), 3-55.

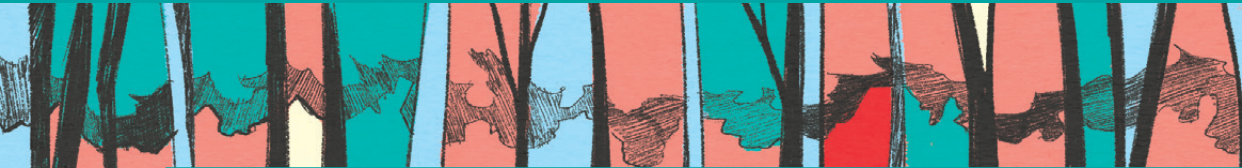
Muñoz, R. 1984. Análisis de la productividad de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch en el área de Lonquimay, IX Región. Tesis Universidad de Chile. Santiago, Chile. 140.

Olave, F. 2015. Efectos de la aplicación de cortas selectivas en bosques de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch ubicados en la Región de La Araucanía en Chile. Tesis doctoral Universidad Internacional de Andalucía, España.

Reyes, M., Pinto, R., y Cruz, P., 2017. Estudios de prospección fitosanitaria en los bosques de *Araucaria araucana*, para determinar los niveles de afectación de daño foliar en los bosques de las regiones del Biobío, La Araucanía y Los Ríos. UFRO-OTERRA. Presentación en seminario internacional International Meeting of the Araucaria. Pucón, Chile. 6-9 noviembre, 2017.


Serra, M. 1987. Dendrología de coníferas y otras gimnospermas. Apuntes Docentes N.º 2. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 264.


# Anexos



## Anexo 1

Formulario de colecta de semillas de *Araucaria araucana*.





SIMEF  
MODELO DE CONSERVACIÓN *ex situ*  
PARA SALVAGUARDAR LA DIVERSIDAD  
GENÉTICA DE LAS POBLACIONES DE *Araucaria*  
*Araucana*

**FICHA**  
IDENTIFICACIÓN DE ÁRBOLES DE ARAUCARIA PARA COLECTA DE SEMILLAS

CÓDIGO: <i>ABD001</i>	MACROZONA	Costa	
		Andes	X

COLECTOR: <i>Andrés Bello Durán</i>	FECHA COLECTA: <i>2018/03/25</i>	
PREDIO: <i>RN Ralco</i>	SECTOR: <i>La Mula</i>	
COORDENADAS UTM: <i>19H 291129,58 E; 5803226,57 S.</i>	ALTITUD: <i>1180 msnm</i>	
DAÑO (marcar una "X" según instrucciones del reverso)		
CATEGORÍA	LOCALIZACIÓN	PORCENTAJE DE COPA
Sano	Sano	0%
Una rama clorótica	Parte baja de copa X	25% o menos X
Más de una rama clorótica X	Parte media de copa	25 a 50%
Menos de un tercio sano	Tercio superior de copa	50 a 75%
Muerto	Toda la copa	más de 75%
	Muerto	Muerto


**CROQUIS Y OBSERVACIONES:**

*Rodal de Araucaria-lenga a aproximadamente 400 metros al SE de área de picnic del sector laguna seca. Único árbol con frutos en sector donde predominan machos. Aproximadamente 15 metros al norte del árbol cosechado hay un gran árbol recientemente caído.*

<b>INSTRUCCIONES DE LLENADO</b>
<b>CÓDIGO:</b> Iniciales del colector y número correlativo de tres dígitos
<b>MACROZONA:</b> Marcar con una "X" si es Costa o Andes
<b>COLECTOR:</b> Nombre del colector
<b>FECHA COLECTA:</b> Fecha en formato aaaa/mm/dd
<b>PREDIO:</b> Nombre de la reserva, parque, predio según corresponda
<b>SECTOR:</b> Identificación del sector dentro del predio
<b>COORDENADAS:</b> Dato del GPS, en UTM
<b>ALTITUD:</b> Dato del GPS en ms.n.m.
<b>DA—O:</b> Marcar con una "X" según clasificación de CONAF

## Anexo 2

Permiso de CONAF para la cosecha de semillas de *Araucaria araucana* en localidades bajo SNASPE.



**CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL  
GERENCIA DE ÁREAS SILVESTRES PROTEGIDAS  
DEPTO. DE CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA  
AUTORIZACIÓN N° 002/2018.- (JZM)  
SOLICITUD N° 675552**

**AUTORIZACION PARA REALIZAR ACTIVIDADES DE INVESTIGACION EN EL  
SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS SILVESTRES PROTEGIDAS DEL ESTADO**

**La Corporación Nacional Forestal, CONAF, autoriza al Sr.:**  
Roberto Ipinza Carmona

**PASAPORTE N°:** 6384092-0

**Domiciliado en:** Fundo Teja Norte s/n

**Teléfono:** 632335200

**Correo electrónico:** roberto.ipinza@infor.cl

**Nombre del proyecto:** Sistema Nacional Integrado de Monitoreo y Evaluación de Ecosistemas Forestales (SIMEF) en apoyo a políticas, normativas y prácticas de MFS incorporando REDD+ y conservación de la biodiversidad en ecosistemas forestales.

**Patrocinado por:**  
GEF.

**Investigadores Asociados:**  
Carlos Bahamondez Villarroel  
Francisco Squeo Porcile  
Rodrigo Sagardia Parga  
Cristian del Piano Lastra  
Jaime Pizarro Araya.

**Para realizar las siguientes actividades individualizadas en la solicitud de investigación presentada a esta Corporación:**

**Objetivo:**  
En el contexto del proyecto SIMEF (prodoc\_gef\_chile\_esp\_22enero.pdf), el objetivo del presente proyecto es "Salvaguardar el potencial evolutivo de la especie *Araucaria araucana* mediante el establecimiento de ensayos de progenie y procedencia", para lo cual se requiere coleccionar semilla en las unidades del SNASPE.

**Métodos:**  
En primer lugar se establecerá una prospección a lo largo del área de distribución de la especie *Araucaria araucana*, en el área del SNASPE, donde se monitoreará el estado fenológico del estróbilos femenino y masculino, mediante métodos visuales. En segundo lugar, se procederá a contactar a los respectivos administradores del cuerpo de guardaparques para explicarles el proyecto y sus alcances y recibir de ellos las sugerencias y recomendaciones para optimizar la labor de colecta. En tercer lugar se procederá a la colecta de semillas de árboles individuales de la especie *Araucaria araucana*, mediante mallas, o métodos recomendados por el cuerpo de guardaparques. Se coleccionará semilla de *Araucaria araucana* mediante mallas, aproximadamente 300 semillas por árbol, y un total de 450 árboles distribuido en el SNASPE, o mediante sistemas alternativas de colecta de semillas sugeridos por el cuerpo de guardaparques.

**En las siguientes unidades del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado:**

- RESERVA NACIONAL RALCO (Región del Biobío)
- PARQUE NACIONAL CONGUILLIO, PARQUE NACIONAL HUERQUEHUE, PARQUE NACIONAL NAHUEL BUTA, RESERVA NACIONAL CHINA MUERTA, RESERVA NACIONAL MALLECO, RESERVA NACIONAL VILLARRICA, RESERVA NACIONAL MALALCAHUELLO, RESERVA NACIONAL ALTO BÍO – BÍO, PARQUE NACIONAL TOLHUACA, PARQUE NACIONAL VILLARRICA (Región de La Araucanía)
- PARQUE NACIONAL VILLARRICA (Región de Los Ríos)

Durante el período comprendido entre la fecha de emisión del presente permiso y el 30 de mayo del 2018.



El informe final o la separata del trabajo publicado se deberán entregar antes del 31 de mayo del 2018. Se solicitarán además reportes para entrega de resultados preliminares de las distintas campañas en las distintas unidades.

#### Observaciones Generales:

Los investigadores deberán contactarse, previo a su visita a las unidades, con el Depto. de Áreas Silvestres Protegidas Regional, de las respectivas regiones y/o con los administradores de las áreas a visitar para afinar detalles referidos al proyecto (sitios de muestreo y compañía de guardaparques en terreno).

Los investigadores deberán dictar una charla al personal de CONAF de las unidades visitadas sobre los objetivos del proyecto de investigación, las metodologías utilizadas y los resultados esperados.

De acuerdo al compromiso contraído por el investigador en su solicitud de Investigación, éste declara conocer y se compromete a cumplir con los requisitos establecidos en el Reglamento sobre Proyectos de Investigación en Áreas Silvestres Protegidas del Estado.

Las actividades a realizar no deberán ocasionar un impacto ambiental donde se desarrollen, velando por la conservación del suelo y los recursos de flora, fauna, culturales y físicos.

Al término de las colectas los investigadores deberán dar cuenta del material colectado al administrador de la unidad visitada o, en su defecto, a la oficina regional correspondiente. La Administración de las Unidades y los Guardaparques están expresamente autorizados para supervisar el normal cumplimiento de las actividades autorizadas.

Los trabajos que se publiquen con los antecedentes obtenidos de este proyecto de investigación deberán consignar las Áreas Silvestres Protegidas donde dichos antecedentes fueron obtenidos y agradecer a la Corporación Nacional Forestal por el permiso otorgado.

El investigador se compromete a entregar un informe final con información relevante de la investigación, el cual podrá ser incorporado en la página Web de CONAF. La no entrega de éste, al cabo de tres años de finalizada la investigación, inhabilitará a todos los investigadores de la institución patrocinante para realizar nuevas investigaciones en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado.

Si, como fruto de esta investigación se describen nuevas especies para la ciencia, el material de holotipo deberá ser entregado a la custodia del Museo Nacional de Historia Natural de Chile o a quien este organismo determine.

Cabe destacar que la legislación vigente, prohíbe encender fuego o la utilización de fuentes de calor en las Áreas Silvestres Protegidas en todos aquellos lugares no autorizados y señalizados. El coordinador deberá informarse una vez ingresado a las Unidades, cuáles son los sitios autorizados para ello. El incumplimiento de esta prohibición está sancionado conforme a la Ley N° 20.653.

El investigador desarrollará sus actividades de acuerdo a los protocolos de seguridad de cada unidad, declarando expresamente que exime de toda responsabilidad a CONAF por toda contingencia, cualquiera fuere su causa y efectos, que comprometan al investigador y/o a su equipo de trabajo.

Se prohíbe estrictamente pernoctar en sitios aislados (no establecidos con ese fin), dentro de las ASP.

Las campañas deben ajustarse a los horarios de apertura y cierre al uso público de cada área protegida a visitar.

Se podrá cancelar la autorización de ingreso cuando las áreas protegidas se encuentren cerradas por riesgo de incendios forestales.

Téngase presente que este documento representa solamente una autorización para realizar investigación al interior del SNASPE y no constituye de por sí un permiso de captura, extracción ni exportación de especies con protección especial tanto a nivel nacional como internacional, para lo cual el investigador se compromete a obtener cualquier otro permiso requerido por la legislación chilena para el desarrollo de sus actividades.

#### Observaciones regionales específicas

##### Región Del Biobío

La aprobación de esta investigación, queda condicionada, a que el investigador, previamente a visitar el ASP, el investigador se comunique con el Encargado Provincial de esta Reserva, Sr. Juan Carlos Bascur, y entre ambos



definan la metodología para informar oportuna y pertinentemente a la comunidad Pehuenche que realiza cosecha del pehuén en esta ASP.

**Región De La Araucanía**

Para coordinar actividades de terreno, Investigador debe comunicarse con los Administradores de las Áreas Silvestres Protegidas de la Región, cuyo detalle es el siguiente: Sr. Eleodoro Gutiérrez Administrador del PN Conguillío y RN China Muerta (correo: [parque.conguillio@conaf.cl](mailto:parque.conguillio@conaf.cl)) y Mauricio Carrasco A, Administrador PN Nahuelbuta (correo: [mauricio.carrasco@conaf.cl](mailto:mauricio.carrasco@conaf.cl)), Sr. Alvaro Marín, Administrador PN. Tolhuaca, correo electrónico: [alvaro.marin@conaf.cl](mailto:alvaro.marin@conaf.cl); Sr. John Ruminot V. Administrador PN. Huerquehue; correo: [parque.huerquehue@conaf.cl](mailto:parque.huerquehue@conaf.cl); Sr. Jorge Paredes R. Administrador PN. Villarrica, correo electrónico: [parque.villarrica@conaf.cl](mailto:parque.villarrica@conaf.cl); Sr. Iván Bolívar Administrador RN. Malaicahuello y RN. Nalcas, correo: [reserva.malaicahuello@conaf.cl](mailto:reserva.malaicahuello@conaf.cl); Sra. Patricia Rodríguez, Administradora RN Alto Biobío. Correo: [patricia.rodriguez@conaf.cl](mailto:patricia.rodriguez@conaf.cl); Sr. Mario Higuera F, Administrador RN Malleco, correo: [reserva.malleco@conaf.cl](mailto:reserva.malleco@conaf.cl); Sr. Benito Millalen: Administrador RN Villarrica, correo: [reserva.villarrica@conaf.cl](mailto:reserva.villarrica@conaf.cl); con copia al Sr. Marcelo Saavedra, correo: [marcelo.saavedra@conaf.cl](mailto:marcelo.saavedra@conaf.cl)) y Sr. Basilio Guíñez, (correo: [basilio.guinez@conaf.cl](mailto:basilio.guinez@conaf.cl)). Investigadores deben enviar un cronograma de visitas a las Unidades. No se podrán coleccionar semillas en aquellos árboles de Araucaria hembra que tengan 1 o 2 conos femeninos o estróbilos. Administradores y Guardaparques participaran en la selección de los lugares para la colecta de semillas en conjunto con los Investigadores, los cuales serán en sectores alejados de las Áreas de Uso Público. Para la colecta se semillas se dejaran mallas debajo de los árboles seleccionados. Se debe enviar el nombre completo y Rut de las personas que participaran en las colectas. Una vez concluidas las colectas, enviar un Informe de terreno a la Oficina Regional, Conaf Región de La Araucanía, indicando los sectores y las coordenadas en UTM de los árboles de Araucaria hembra, donde se coleccionaron las semillas y con sus respectivas cantidades (Kg).

**Región de Los Ríos**

En el PN Villarrica, Porción Los Ríos, no disponemos de alojamiento para los investigadores. Se enfatiza la necesidad de avisar al Sr. Luis Borquez ([luis.borquez@conaf.cl](mailto:luis.borquez@conaf.cl)), administrador del área, con anterioridad a la visita.

FIRMA :

NOMBRE : **Richard Torres Pinilla**

CARGO : **GERENTE DE AREAS SILVESTRES PROTEGIDAS (I)**

FECHA : **15 MAR 2018**

Distribución : Interesados Región del Biobío, Región De La Araucanía, Región de Los Ríos.



# Artículo III

## Análisis de la emergencia de plántulas durante la viverización de una colección de semillas de 418 familias de *Araucaria araucana*

Braulio Gutiérrez C.,  
Instituto Forestal, Chile



© INFOR/Roberto Ipinza

### Introducción

La *Araucaria araucana* es una especie emblemática del bosque nativo chileno sobre la que se realizan prácticas ancestrales asociadas a la alimentación del pueblo pehuenche. Está declarada Monumento Natural, protegida por la convención CITES, y constituye un patrimonio nacional que contribuye a la belleza escénica del paisaje y a la protección de las cuencas altas de las regiones de La Araucanía, Biobío y Los Ríos.

Atendiendo a las amenazas que se ciernen sobre esta especie, particularmente al fenómeno de declinación de origen desconocido denominado daño foliar de la araucaria (DFA), que se encuentra difundido en toda su área de distribución natural y que prolifera con inusitada rapidez, distintas entidades, bajo la coordinación de CONAF, buscan desde hace algunos años dar solución a esta problemática. En este contexto, y en el marco del proyecto “Sistema integrado de

monitoreo de ecosistemas forestales” (SIMEF), financiado por la FAO a través del “Fondo para el medioambiente mundial” (FMAM), se decidió cooperar en este esfuerzo desde una nueva óptica, implementando la migración asistida, cuyo objetivo es salvaguardar la diversidad genética y el potencial evolutivo de la especie mediante el establecimiento de bancos de conservación *in vivo*, estructurados como ensayos de progenies y procedencias fuera del área de distribución natural de la especie. Tales bancos permitirán obtener material para propagación, mejoramiento, estudios genéticos, sanitarios y otros que contribuyan a la conservación de la especie, y estarán disponibles para el uso de la comunidad académica y de otras entidades o instituciones vinculadas o interesadas en la conservación de los recursos genéticos forestales.

Para ello, en el verano-otoño de 2018 se implementó una colecta de semillas en las cinco macrozonas (poblaciones o estratos ecológico-genéticos) que conforman el área de distribución natural de *Araucaria*, lo que permitió obtener semillas de un total de 418 árboles madres individuales. Estas fueron viverizadas por personal especializado del Vivero Carlos Douglas de Forestal Mininco S.A. para generar las plantas que constituirán el banco de conservación *in vivo*. En este contexto, en el presente documento se entrega información

compilada durante el proceso de viverización, particularmente la derivada del monitoreo de emergencia de plántulas. Estos antecedentes, ordenados por macrozona, predio y sector de colecta, se presentan en este informe, donde también se incluye información referente a la relación entre el tamaño de las semillas y la emergencia de plántulas y los eventuales vínculos entre los niveles de afectación por DFA en los árboles madre y la posterior emergencia de plántulas desde sus semillas.

## Antecedentes generales de la reproducción de *Araucaria*

*Araucaria araucana* es una especie dioica, es decir, presenta las estructuras reproductivas masculinas y femeninas en árboles separados, aunque ocasionalmente aparecen individuos monoicos que portan simultáneamente flores masculinas y femeninas. Según referencias citadas por Olave (2015), esto ocurre en el 1% de los árboles.

Los amentos o flores masculinas brotan entre agosto y septiembre y se ubican en la porción terminal de las ramas. Ellos poseen numerosas escamas punzantes, espiraladas, densamente imbricadas, que al abrirse liberan abundante polen. Las flores femeninas o estróbilos son conos esféricos de 15 a 20 cm de diámetro, compuestos por numerosas escamas coriáceas y punzantes. Estos conos femeninos se localizan en los extremos de las ramas nuevas y comienzan a desarrollarse hacia finales de noviembre (Marticorena y Rodríguez, 1995; Rodríguez *et al.*, 1983).

La polinización es anemófila, y ocurre a fines de primavera o principios de verano cuando el viento traslada el polen disponible en nubes compactas desde las flores masculinas a las femeninas. Después de la fertilización, el cono femenino se lignifica y endurece, para luego abrirse y diseminar las semillas 16 a 18 meses posfertilización (Muñoz, 1984; Marticorena y Rodríguez, 1995). Cada cono libera entre 120 y 200 semillas, las cuales son relativamente grandes y pesadas (en promedio, 3,8 g cada una, es decir, 200 a 300 unidades por kilogramo). La cosecha de semillas se realiza en los meses otoñales de marzo y abril, siendo colectada desde el suelo o trepando a los árboles (Benítez, 2005).

Donoso (1993) indica que la madurez reproductiva de la especie ocurre aproximadamente a los 25 años, observándose que el máximo de formación de semillas y de floración sucede con posterioridad a los 40 años.



Debido a su tamaño y peso, la diseminación de las semillas se produce básicamente por gravedad, de modo que la mayoría de ellas cae en la vecindad inmediata en torno al árbol que las produjo (Caro, 1995; Muñoz, 1984). No obstante, existen especies animales (loros y ratones) que actúan como vectores que contribuyen a dispersar las semillas al transportarlas hacia áreas alejadas del árbol madre (Olave, 2015).

Las semillas se caracterizan por perder rápidamente su viabilidad por deshidratación (90 a 120 días). Por lo mismo se clasifican como semillas recalcitrantes, que son aquellas a las cuales no se les puede secar por debajo de 25-40% de contenido de humedad para almacenarlas por largos períodos (Chávez *et al.*, 1999), por cuanto se deterioran si su contenido de humedad se reduce demasiado o muy rápidamente (Troncoso, 2015).

Otra característica de las semillas de *Araucaria araucana* es que presentan latencia fisiológica. No obstante, germinan con relativa facilidad tras el invierno, o al aplicarles un

tratamiento pregerminativo de estratificación fría (Benítez, 2005; López *et al.*, 1986; Muñoz, 2010). Debido a esta situación, la siembra se efectúa normalmente durante el período otoñal, inmediatamente después de la colecta, emulando así las condiciones naturales de estratificación que se experimentan durante el invierno.

Según Donoso (1978, cit. por Zavala, 2018), la germinación de la semilla de *A. araucana* es semihipogea, es decir, los cotiledones son visibles, pero permanecen en el suelo. González *et al.* (2006) la describen como hipogea; otros autores, como cryptógea (Burrows *et al.*, 1992; Burrows y Stockey, 1994 cit. por Zavala, 2018). Por su parte, Salazar *et al.* (2000, cit. por Alvarado y Levet, 2014) la describen como hipogea y criptocotilar. El proceso de germinación se inicia entre 35 a 50 días después de la siembra y finaliza en un lapso de 35 a 45 días (González *et al.*, 2006). El proceso, desde la aparición de la radícula hasta la liberación de los cotiledones fluctúa entre 15 y 20 días (Urrutia, 1986).



©Instituto Forestal/Roberta Ipinza

## Material y método

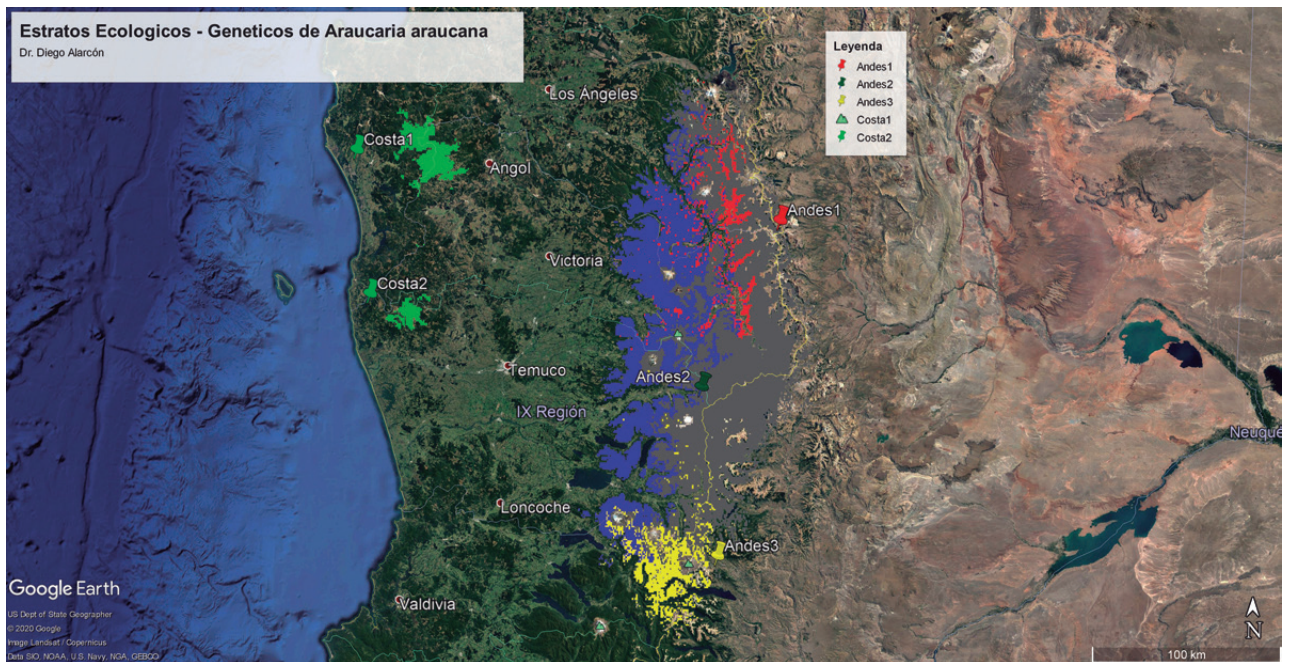
### › Colecta y clasificación de semilla

Durante el verano-otoño de 2018 se implementó una campaña de colecta de semillas de árboles individuales de *Araucaria* en toda el área de distribución natural de la especie. Se colectaron semillas de 418 árboles y se obtuvo igual número de lotes familiares que fueron identificados, evaluados y sembrados en forma individual, manteniendo siempre la identificación del árbol madre.

Además, se registró información de cada árbol donante, particularmente su ubicación, coordenadas y variables descriptivas del nivel de daño foliar exhibido.

Las coordenadas de cada individuo se superpusieron en el plano de definición de estratos ecológicos/genéticos desarrollado por Alarcón (2019), lo que permitió clasificar los lotes de semillas en los 5 estratos o macrozonas que se muestran en la Figura 1. Estas macrozonas se utilizaron posteriormente para agrupar la información de la emergencia de plántulas de las 418 familias evaluadas.

**Figura 1: Clasificación de la distribución natural de *Araucaria araucana* en cinco estratos ecológico-genéticos. Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos**



**Fuente:** Imagen satelital de Google Earth. 2018. Modificado por Diego Alarcón. 2018. Conforme al mapa de Naciones Unidas.

Respecto a la incidencia del daño foliar, cada árbol fue caracterizado en función de las variables y rangos definidos por Reyes *et al.* (2017), las cuales se sintetizan en el Cuadro 1. Esta información se utilizó para evaluar la existencia de relaciones entre el daño y la emergencia de plántulas.

Posteriormente, las semillas de cada familia fueron evaluadas en laboratorio, en términos de tamaño y peso, información que para efectos de este análisis se sintetizó en la variable “N.o de semillas por kilo de semilla limpia”. Finalmente se correlacionó esta variable con la emergencia de plántulas, tanto a nivel de familias individuales como agrupadas en estratos ecológico-genéticos (macrozonas).

➤ **Emergencia de plántulas y análisis de datos**

Una vez colectadas, las semillas se mantuvieron almacenadas en cámara de frío a una temperatura de 4 °C hasta el momento de su siembra, en junio de 2018. Esta se realizó en invernadero, en dependencias del Vivero Carlos Douglas de Forestal Mininco S.A., usando bandejas contenedoras de plástico con 104 cavidades de 125 cc y corteza de pino compostada como sustrato (Figura 2). En función de la cantidad de semillas de cada familia, se sembraron 1 o 2 bandejas de cada una de ellas, registrando el número de semillas sembradas e identificando individualmente las bandejas con el código correspondiente a su lote familiar. El proceso de viverización se efectuó de acuerdo con protocolos y estándares de calidad del vivero.

**Cuadro 1: Variables utilizadas para caracterizar el daño foliar exhibido por los árboles desde donde se obtuvo la colección de semillas**

Variables de daño			
	Categoría del daño	Localización del daño	Porcentaje de copa afectada
Rangos	Sano	Sano	0
	Una rama clorótica	Parte baja de la copa	25 o menos
	Más de una rama clorótica	Parte media de la copa	25 a 50
	Menos de un tercio sano	Tercio superior de la copa	50 a 75
	Muerto	Toda la copa	más de 75

Fuente: Reyes *et al.*, 2017.

**Figura 2: Siembra de semillas de *Araucaria* en vivero Carlos Douglas (arriba). Vista general de la siembra efectuada (abajo) (2018)**



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

Fuente: Roberto Ipinza, 2018.

La emergencia de plántulas se monitoreó en dos ocasiones, octubre de 2018 y enero de 2019, tras 4 y 7 meses transcurridos, respectivamente, desde la siembra. En ambas ocasiones se procedió al conteo de la totalidad de las plántulas de cada familia. Estos datos expresados en porcentaje respecto al número de semillas sembradas por familia se agruparon a nivel de procedencias y macrozonas para presentarlos en tablas y cuadros; la misma información a nivel de macrozonas se relacionó con parámetros de la semilla, específicamente con su tamaño expresado en número de semillas por kilo, mediante gráficos y coeficientes de correlación lineal; similar procedimiento se utilizó para representar las eventuales relaciones entre la emergencia de plántulas y los parámetros descriptivos del daño observado en los árboles desde donde fueron obtenidas las semillas.

Es necesario aclarar que a diferencia de lo que suele ser habitual, en este artículo se analiza la

emergencia de plántulas y no la germinación. La primera corresponde a una situación más real que permite caracterizar el comportamiento de las semillas durante la viverización, y constituye una respuesta física de la siembra más que fisiológica del proceso de germinación de estas. Ambas evaluaciones tienen aplicaciones y objetivos distintos.

Se debe entender que un ensayo de germinación se realiza bajo condiciones ambientales óptimas para que el proceso se lleve a cabo. Los resultados se utilizan para precisar requerimientos de pretratamientos en las semillas y, por lo tanto, los valores de emergencia de plántulas en vivero o terreno no tienen por qué ser los mismos que entrega el análisis de germinación en laboratorio. Lo normal es que los de emergencia de plántulas sean menores porque difícilmente las condiciones ambientales de un vivero son las ideales para que se produzca la germinación (Escobar, 2007).

## Resultados y discusión

### › Colecta y clasificación de semillas

Se colectaron semillas de un total de 418 árboles. De ellos, 47 corresponden a la distribución Costa y 371 a la distribución Andes (Cuadro 2).



©Instituto Forestal/Roberto Ipínza

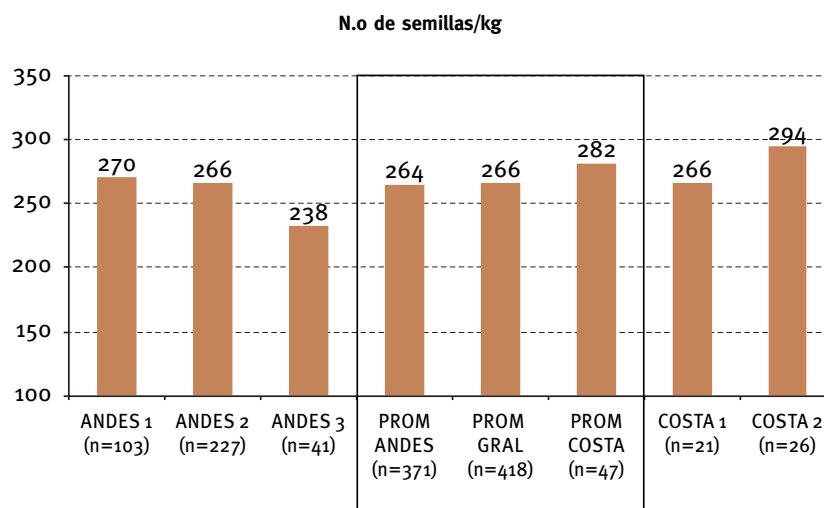
**Cuadro 2: Detalle del número de familias que componen la colección de semillas de *Araucaria***

Macrozona	Predio Sector	N.o de familias colectadas	Macrozona	Predio Sector	N.o de familias colectadas
Costa 1	Nahuelbuta	21	Andes 2	Pichimalín	5
	Camino A. P. E.A	1		Lonquimay	8
	Camino Caramávida-Trongol	1		Cuesta Las Raíces	8
	Camino a cerro Anay	2		Marimenuco	8
	Camino a Piedra del Águila	3		Marimenuco	8
	Cerro Anay	1		PN Conguillío	46
	Desvío cerro Anay	2		Captrén	9
	Estacionamiento	2		Centro de esquí	6
	Mirador	1		Conguillío	16
	Piedra del Águila	1		Conguillío sendero	2
	Portería Arauco	3		Conguillío-Cabañas	1
	Portería Malleco	1		Lago -Restaurant	1
	Primer cruce	2		Las Cabañas	2
	Sendero Anay	1		Los Paraguas	4
	<b>Subtotal Costa 1</b>	<b>21</b>		Nevados de Vilcún	2
Costa 2	Villa Araucarias	26		Sin Sector	3
	La Cabaña	2		PN Huerquehue	32
	Las Mercedes	1		Quinchol	32
	Pte. El Diablo	23		PN Villarrica	3
<b>Subtotal Costa 2</b>	<b>26</b>	Chinay Palguín		2	
Andes 1	RN Nalcas	35		Coñaripe	1
	Guardería de CONAF	35		RN Nalcas	11
	RN Ralco	68		C/RN Nalcas	3
	Adecahuín	15		Guardería de CONAF	8
	Agua de la Argentina	6		RN Malalcahuello	32
	Caicune	5		Coloradito	10
	Guardería de CONAF	3		Corralco	1
	La mula	8		Corralco Guardería	3
	La Vega	3		Corralco Hotel	14
	La Vega camino a La mula	5		El trueno	2
	La Vizcacha	1		Guardería Corralco	1
	Los Chenques	1		Hotel Corralco	1
	Piedra Santa	4	RN Ralco	29	
	Proville	12	Acceso volcán	5	
	Sendero Laguna	2	Adecahuín	18	
	Sendero Vega	1	La Vega	4	
	SIN GPS	1	Ojo de Agua	2	
	Vega Ralco	1	<b>Subtotal Andes 2</b>	<b>227</b>	
	<b>Subtotal Andes 1</b>	<b>103</b>	Andes 3	PN Villarrica	41
	Andes 2	Icalma		38	Chinay-Palguín
Huillinco		4		Mamuil Malal	22
Pudu Mahuida		3		Puesco	18
Rincón K Icalma		28	<b>Subtotal Andes 3</b>	<b>41</b>	
Tiltilco		3	<b>Subtotal Costa (1 y 2)</b>	<b>47</b>	
Cruzaco		20	<b>Subtotal Andes (1, 2 y 3)</b>	<b>371</b>	
Cruzaco		10	<b>TOTAL</b>	<b>418</b>	
Cumillán	5				

En la colección evaluada, el número de semillas por kilogramo, variable que orienta respecto al tamaño de las semillas, alcanza un promedio de 266. Este parámetro fluctúa ampliamente entre familias. Las semillas más grandes corresponden a una familia de la macrozona Andes 1, con 144 unidades por kilogramo, mientras que las más pequeñas se encuentran en una familia de

Costa 2, con 506 unidades por kilogramo. Los valores medios de las familias agrupados a nivel de macrozonas evidencian que las semillas de la zona andina (264 unidades por kilogramo) son de mayor tamaño que las de zonas costeras (282 unidades por kilogramo), situación que se expresa gráficamente en la Figura 3.

**Figura 3: Caracterización del número de semillas por kilogramo de 418 familias de *Araucaria araucana*. Agrupadas a nivel de macrozonas**



Macrozonas (N.o de familias)	N.o de semillas por kg			
	Promedio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
ANDES 1 (n=103)	270,1	58,7	144	430
ANDES 2 (n=227)	266,3	55,5	149	502
ANDES 3 (n=41)	237,8	41,5	166	400
COSTA 1 (n=21)	266,1	58,6	187	400
COSTA 2 (n=26)	294,3	63,4	202	506
Total	266,2	56,7	144	506

Fuente: Gutiérrez, 2019.

Los valores obtenidos resultan coincidentes con los registrados en la bibliografía. El número medio de semillas por kilogramo de la colección evaluada es de 266,2, muy similar a las 260 unidades por kilogramo y 3,8 g/piñón que mencionan como valores medios Muñoz (1984) y Caro (1995).

Respecto a la variación observada en el número de semillas por kilogramo, esta también es relativamente coincidente con la documentada en la bibliografía. Zavala (2018), en evaluaciones efectuadas durante tres años consecutivos en la localidad de Lonquimay, señala valores extremos de producción de semillas que fluctúan entre 190 y 523 unidades por kilogramo. El mismo autor indica valores medios por árbol de 297 a 405 semillas por kilogramo.

Por su parte, para el área costera, Troncoso (2015) muestra valores en el rango de 267 a 348 semillas por kilogramo para la población de Villa Las Araucarias. En ambos casos los valores registrados en las zonas andina y costera resultan más altos y denotan semillas más pequeñas que las obtenidas en la colección evaluada en este capítulo.

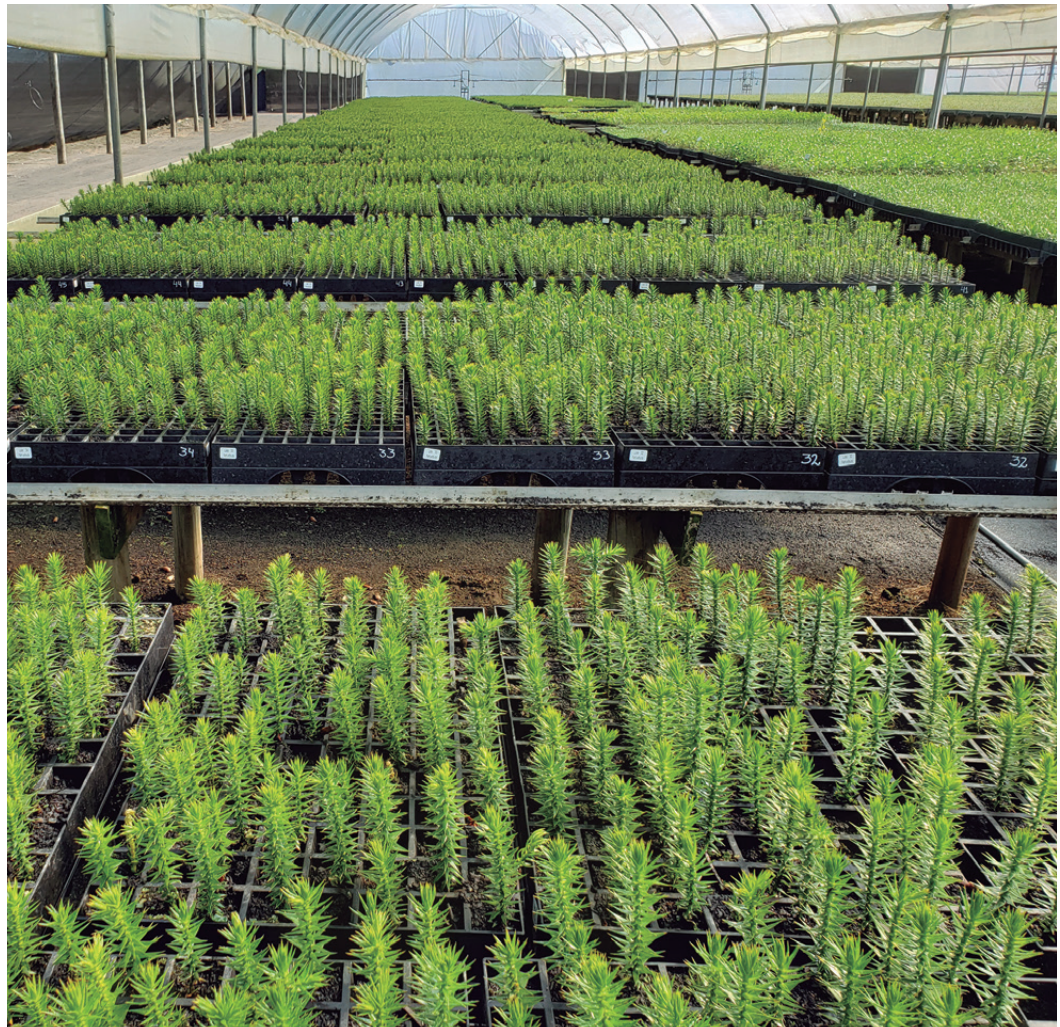
Las variaciones en el tamaño y producción de semillas se han tratado de explicar con distintos argumentos, siendo el más frecuente el que dice relación con la disponibilidad de recursos durante la fase reproductiva, señalándose que la producción de frutos y semillas está condicionada por los niveles de factores limitantes (Zavala, 2018).



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

En cuanto a las variables que describen la incidencia del daño foliar (categoría del daño, localización del daño y porcentaje de copa afectada) en las Araucarias desde las cuales se colectó la semilla, se observa una distribución similar para las cinco macrozonas evaluadas (Figura 4). En general, los árboles de todas las familias y de todas las macrozonas se concentran en la categoría “Más de una rama clorótica”, con el daño concentrado principalmente en la parte media y baja de la copa, y con una proporción de copa afectada que fluctúa entre 25 y 50%.

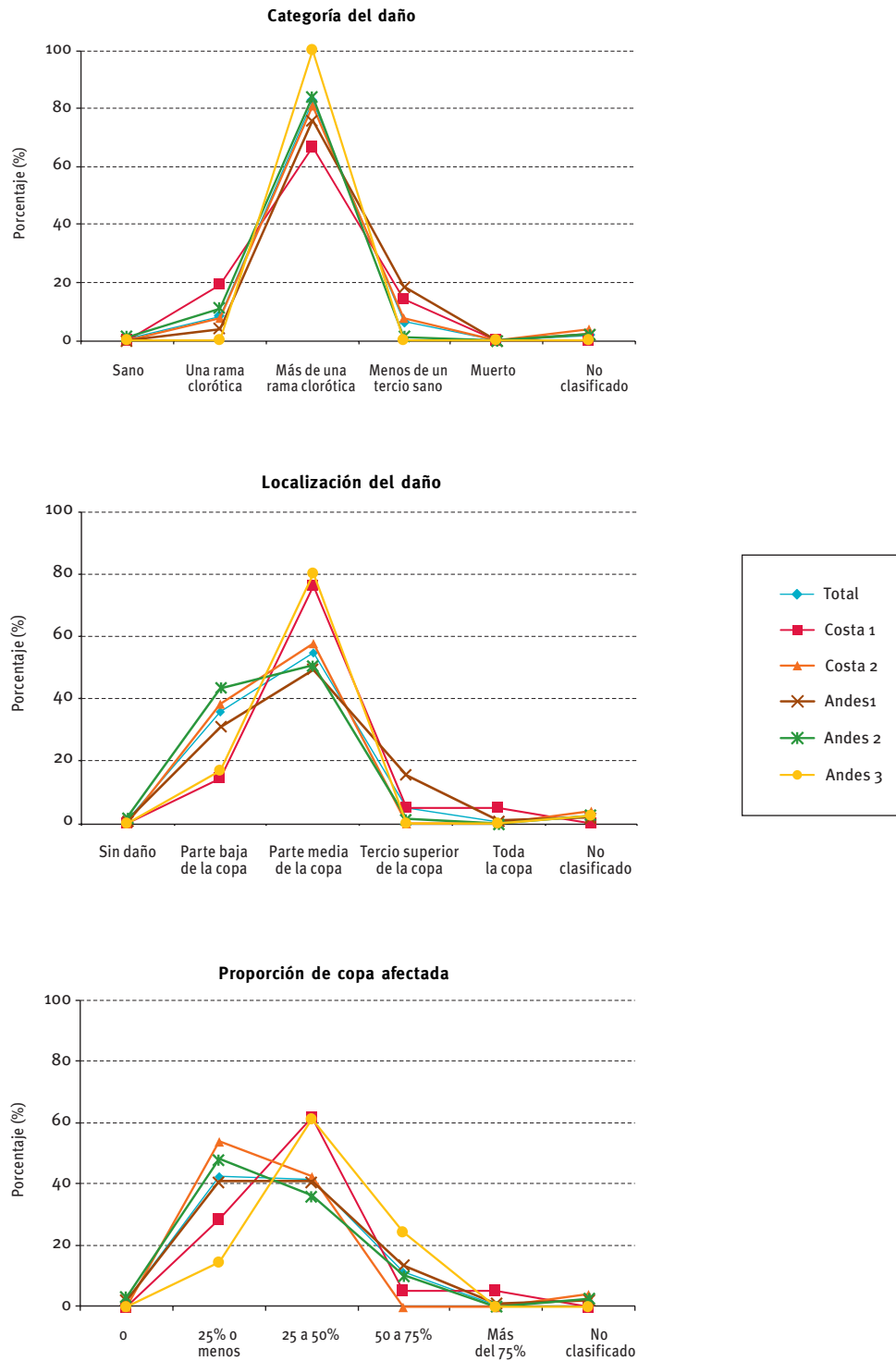
De este análisis se desprende también que la enfermedad daño foliar de la Araucaria se encuentra ampliamente difundida en toda el área de distribución natural de la especie, y que todos los árboles desde los que se cosecharon semillas presentaban algún grado de afectación por esta patología.



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza



**Figura 4: Caracterización de la incidencia de la enfermedad daño foliar de la *Araucaria* en los 418 árboles desde donde se obtuvo la colección de semillas**



Fuente: Gutiérrez, 2019.

➤ **Emergencia de plántulas**

La primera evaluación de emergencia de plántulas, realizada en octubre de 2018, 4 meses posplantación, alcanzó un valor medio de 58,9% (Figura 5). En la ocasión se observó que en las procedencias costeras la germinación y la emergencia de plántulas (68,1 %) se manifiestan antes que en las procedencias andinas (57,8%).

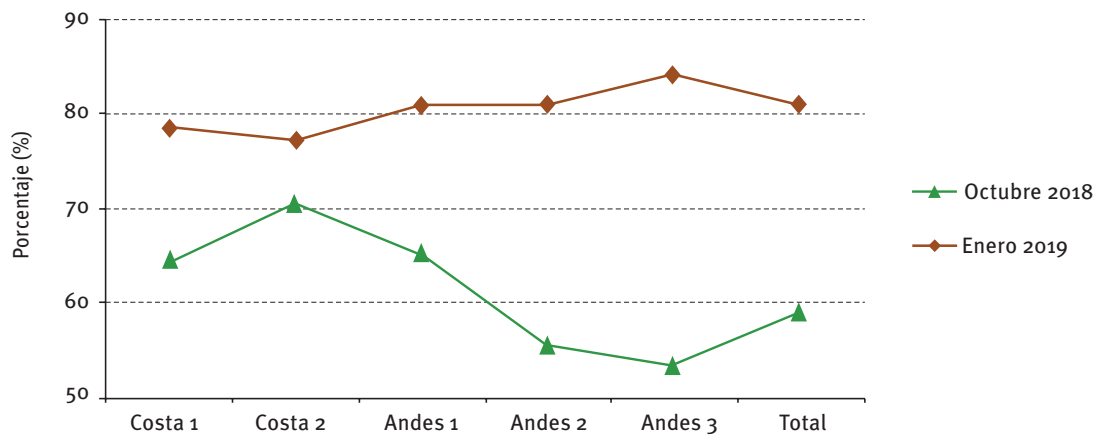
En una segunda evaluación, efectuada 7 meses postsiembr, en enero de 2019, se constató un aumento general de la emergencia de plántulas, que subió de 58,9 a 81,1%. Este incremento fue de mayor envergadura para las procedencias andinas, las cuales, a pesar de exhibir una germinación más lenta, alcanzaron valores de emergencia de plántulas superiores a los de las procedencias costeras (Figura 6; Cuadro 3).

Figura 5: **Emergencia de plántulas de Araucaria (2018)**



Fuente: Braulio Gutiérrez, 2018.

Figura 6: **Emergencia promedio de plántulas de 418 familias de Araucaria araucana agrupadas por macrozonas, a los 4 y 7 meses postsiembr (siembra en junio de 2018)**



Fuente: Gutiérrez, 2019.

**Cuadro 3: Estadística descriptiva de emergencia de plántulas para 418 familias de *Araucaria araucana* sembradas en junio de 2018**

Macrozona	N°mero de familias colectadas	Par-metro	N°mero de semillas sembradas por familia	Porcentaje de emergencia de pl-ntulas	
				Octubre, 2018	Enero, 2019
Costa 1	21	Prom.	187	64,8	78,6
		Rango	[54 - 208]	[42,6 - 81,4]	[42,6 - 93,0]
Costa 2	26	Prom.	194	70,5	77,2
		Rango	[108 - 208]	[33,0 - 91,5]	[34,6 - 97,5]
Andes 1	103	Prom.	202	65,1	81,0
		Rango	[165 - 312]	[22,2 - 88,9]	[30,3 - 99,0]
Andes 2	227	Prom.	198	55,5	81,1
		Rango	[78 - 208]	[13,1 - 89,1]	[32,2 - 98,5]
Andes 3	41	Prom.	198	53,5	84,2
		Rango	[99 - 208]	[28,6 - 76,0]	[64,1 - 94,3]
Total	418	Prom.	198,2	59,1	81,0
		Rango	[54-312]	[13,1-91,5]	[30,3-99,0]

Fuente: Gutiérrez, 2019.

Considerando la evaluación de enero 2019 (7 meses postsiembra), en promedio la emergencia de plantas de los 418 lotes de semillas alcanzó un 81%, siendo mayor en las semillas de la macrozona Andes (81,4%) que en la macrozona Costa (77,9%). En el primer caso, el valor corresponde a 371 progenies con semillas que

en promedio son algo más grandes que las de la costa (264 semillas/kg), mientras que en el caso de Costa, corresponde a 47 progenies que en promedio presentan 282 semillas/kg. El detalle de la emergencia de plántulas a nivel de predios y sectores dentro de cada macrozona se presenta en el Cuadro 4.

**Cuadro 4: Detalle de la emergencia de plántulas para 418 familias de *Araucaria araucana* 4 y 7 meses postsiembra**

Macrozona	Predio Sector	N°mero de familias colectadas	N°mero de semillas sembradas	Emergencia pl-ntulas			
				4 meses postsiembra (Octubre 2018)		7 meses postsiembra (Enero 2019)	
				N.o	%	N.o	%
Costa 1	Nahuelbuta	21	3929	2569	65,4	3108	79,1
	Camino A. P. E. A	1	200	132	66,0	174	87,0
	Camino Caramávida-Trongol	1	202	98	48,5	129	63,9
	Camino a cerro Anay	2	397	290	73,0	325	81,9
	Camino a Piedra del Águila	3	553	403	72,9	466	84,3
	Cerro Anay	1	202	122	60,4	183	90,6
	Desvío cerro Anay	2	398	225	56,5	284	71,4
	Estacionamiento	2	315	199	63,2	252	80,0
	Mirador	1	54	23	42,6	23	42,6
	Piedra del Águila	1	208	155	74,5	170	81,7
	Portería Arauco	3	599	315	52,6	434	72,5
	Portería Malleco	1	200	139	69,5	172	86,0
	Primer cruce	2	400	307	76,8	314	78,5
	Sendero Anay	1	201	161	80,1	182	90,5
<b>Sub total Costa 1</b>		<b>21</b>	<b>3929</b>	<b>2569</b>	<b>65,4</b>	<b>3108</b>	<b>79,1</b>
Costa 2	Villa Las Araucarias	26	5058	3551	70,2	3891	76,9
	La Cabaña	2	398	238	59,8	289	72,6
	Las Mercedes	1	200	142	71,0	152	76,0
	Pte. el Diablo	23	4460	3171	71,1	3450	77,4
<b>Subtotal Costa 2</b>		<b>26</b>	<b>5058</b>	<b>3551</b>	<b>70,2</b>	<b>3891</b>	<b>76,9</b>
<b>TOTAL Costa 1 y 2</b>		<b>47</b>	<b>8987</b>	<b>6120</b>	<b>68,1</b>	<b>6999</b>	<b>77,9</b>
Andes 1	RN Nalcas	35	7083	4862	68,6	6205	87,6
	Guardería de CONAF	35	7083	4862	68,6	6205	87,6
Andes 1	RN Ralco	68	13743	8717	63,4	10678	77,7
	Adecahuin	15	3054	2040	66,8	2521	82,5
	Agua de la Argentina	6	1202	498	41,4	714	59,4
	Caicune	5	1005	686	68,3	870	86,6
	Guardería de CONAF	3	608	439	72,2	453	74,5
	La mula	8	1621	1054	65,0	1249	77,1
	La Vega	3	598	443	74,1	544	91,0
	La Vega camino a La mula	5	1022	715	70,0	928	90,8
	La Vizcacha	1	200	63	31,5	77	38,5
	Los Chenques	1	208	120	57,7	133	63,9
	Piedra Santa	4	807	534	66,2	599	74,2
	Provile	12	2403	1498	62,3	1866	77,7
	Sendero Laguna	2	399	233	58,4	267	66,9
	Sendero Vega	1	200	135	67,5	170	85,0
	SIN GPS	1	208	120	57,7	150	72,1
Vega Ralco	1	208	139	66,8	137	65,9	
<b>Subtotal Andes 1</b>		<b>103</b>	<b>20826</b>	<b>13579</b>	<b>65,2</b>	<b>16883</b>	<b>81,1</b>
Andes 2	Icalma	38	7520	3618	48,1	5714	76,0
	Huillinco	4	707	382	54,0	559	79,1
	Pudu Mahuida	3	605	277	45,8	467	77,2
	Rincón K Icalma	28	5608	2613	46,6	4188	74,7
	Tiltitico	3	600	346	57,7	500	83,3

Macrozona	Predio Sector	N°mero de familias colectadas	N°mero de semillas sembradas	Emergencia pl-ntulas			
				4 meses postsiembra (Octubre 2018)		7 meses postsiembra (Enero 2019)	
				N.o	%	N.o	%
Andes 2	Cruzaco	20	3 985	1 802	45,2	3 043	76,4
	Cruzaco	10	1 967	856	43,5	1 566	79,6
	Cumillán	5	1 014	548	54,0	746	73,6
	Pichimalín	5	1 004	398	39,6	731	72,8
Andes 2	Lonquimay	8	1 612	1 055	65,4	1 325	82,2
	Cuesta Las Raíces	8	1 612	1 055	65,4	1 325	82,2
Andes 2	Marimenuco	8	1 607	1 039	64,7	1 343	83,6
	Marimenuco	8	1 607	1 039	64,7	1 343	83,6
Andes 2	PN Conguillío	46	9 018	4 671	51,8	7 717	85,6
	Captrén	9	1 801	981	54,5	1 590	88,3
	Centro de esquí	6	1 191	693	58,2	1 012	85,0
	Conguillío	16	3 022	1 436	47,5	2 570	85,0
	Conguillío sendero	2	401	228	56,9	368	91,8
	Conguillío-Cabañas	1	201	106	52,7	174	86,6
	Lago-Restaurant	1	198	144	72,7	171	86,4
	Las Cabañas	2	408	119	29,2	369	90,4
	Los Paraguas	4	792	459	58,0	602	76,0
	Nevados de Vilcún	2	407	200	49,1	328	80,6
	Sin Sector	3	597	305	51,1	533	89,3
	Andes 2	PN Huerquehue	32	6 336	3 569	56,3	5 338
Quinchol		32	6 336	3 569	56,3	5 338	84,2
Andes 2	PN Villarrica	3	601	305	50,7	545	90,7
	Chinay Palguín	2	399	186	46,6	360	90,2
	Coñaripe	1	202	119	58,9	185	91,6
Andes 2	RN Nalcas	11	2 192	1 400	63,9	1 731	79,0
	C/RN Nalcas	3	608	352	57,9	486	79,9
	Guardería de CONAF	8	1 584	1 048	66,2	1 245	78,6
Andes 2	RN Malalcahuello	32	6 238	3 665	58,8	4 830	77,4
	Coloradito	10	1 959	1 296	66,2	1 549	79,1
	Corralco	1	200	115	57,5	142	71,0
	Corralco Guardería	3	590	254	43,1	461	78,1
	Corralco Hotel	14	2 721	1 535	56,4	2 116	77,8
	El trueno	2	377	210	55,7	239	63,4
	Guardería Corralco	1	196	120	61,2	157	80,1
	Hotel Corralco	1	195	135	69,2	166	85,1
Andes 2	RN Ralco	29	5 817	3 687	63,4	4 855	83,5
	Acceso volcán	5	1 011	502	49,7	838	82,9
	Adecahuin	18	3 618	2 398	66,3	3 019	83,4
	La Vega	4	800	602	75,3	654	81,8
	Ojo de Agua	2	388	185	47,7	344	88,7
<b>Subtotal Andes 2</b>		<b>227</b>	<b>44 926</b>	<b>24 811</b>	<b>55,2</b>	<b>36 441</b>	<b>81,1</b>
Andes 3	PN Villarrica	41	8 119	4 329	53,3	6 834	84,2
	Chiany Palguín	1	200	95	47,5	162	81,0
	Mamuil Malal	22	4 398	2 255	51,3	3 623	82,4
	Puesco	18	3 521	1 979	56,2	3 049	86,6
<b>Subtotal Andes 3</b>		<b>41</b>	<b>8 119</b>	<b>4 329</b>	<b>53,3</b>	<b>6 834</b>	<b>84,2</b>
<b>Total Andes 1, 2 y 3</b>		<b>371</b>	<b>73 871</b>	<b>42 719</b>	<b>57,8</b>	<b>60 158</b>	<b>81,4</b>
<b>Total General</b>		<b>418</b>	<b>82 858</b>	<b>48 839</b>	<b>58,9</b>	<b>67 157</b>	<b>81,1</b>

La emergencia de plántulas observadas es alta y se condice con los mejores valores de capacidad germinativa reportada para la especie en la bibliografía, particularmente para los procesos de viverización con semilla sometida a tratamientos pregerminativos.

En efecto, existen variados antecedentes de germinación de semillas de *Araucaria araucana* en ensayos de laboratorio, siembra directa en campo y siembra en vivero, los que, si bien son muy variables, coinciden en señalar valores relativamente altos durante la viverización. Echeverría *et al.* (2004) mencionan valores de 2% a 33% en operaciones de siembra directa en terreno y viverización, respectivamente.

Donoso y Cabello (1978) determinaron una capacidad germinativa de 56% para semillas provenientes de la provincia de Cautín sin tratamientos pregerminativos. Muñoz (2010) informa valores de 51 a 89% para semilla sin tratar y estratificada, respectivamente. Sanguinetti y Kitzberger (2009, cit. por Duplancic, 2011) obtuvieron una capacidad germinativa de entre 60 y 95% para siembras directas con exclusión de depredadores vertebrados. Zavala (2018), citando diversas fuentes, indica valores de germinación de 70 a 82%. Otros autores citados por Duplancic (2011) señalan germinación en vivero de 70%, y de hasta 100% en algunos ensayos de producción de plantas en vivero.

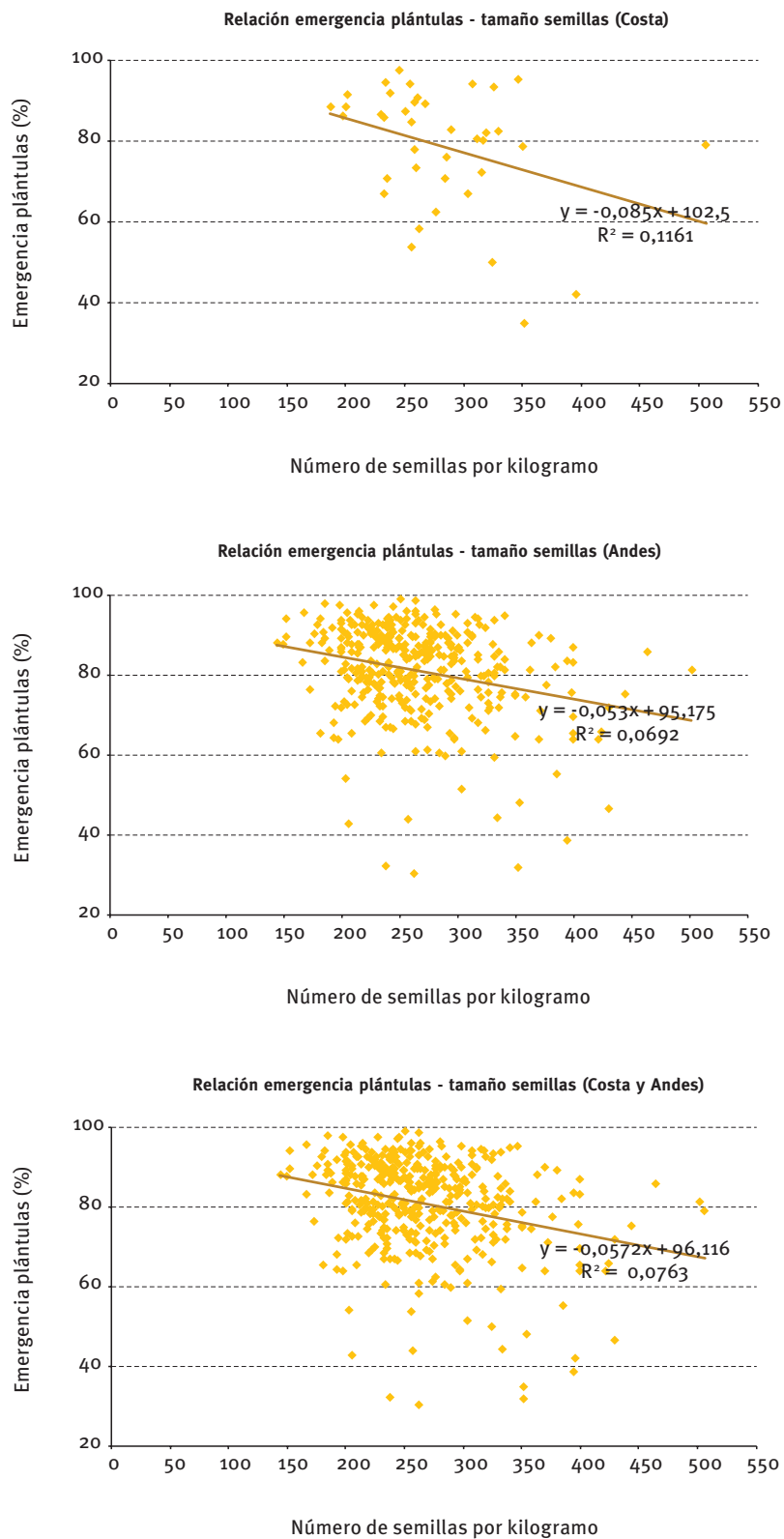
### Relación entre emergencia de plántulas, tamaño de semillas y nivel de daño foliar en árboles madre

A nivel de árboles individuales se observa que los lotes que cuentan con menos semillas por kilogramo (semillas más grandes) tienen una mayor emergencia de plántulas que los lotes con más semillas por kilogramo (semilla más pequeña). La misma tendencia general se observa en las macrozonas Costa y Andes. La correlación entre ambas variables es escasa y ligeramente negativa (Figura 7).



©Instituto Forestal/Jorge González

Figura 7: Relación entre emergencia de plantas y número de semillas por kilogramo



La relación observada es reconocida en el ámbito de la viverización de plantas. Sobre este particular, Escobar (2007) indica que generalmente las semillas más pequeñas de una muestra tienen menor viabilidad y mayor latencia que las intermedias y más grandes. Por lo mismo, la práctica de calibrar la semilla y preferir la más grande para producir plantas suele implementarse en los viveros, añadiendo que para algunas especies, entre ellas eucalipto, muchos viveristas evitan utilizar en el proceso de siembra las semillas de menor calibre (más pequeñas), las cuales consideran como desecho.

En cuanto a la relación entre emergencia de plántulas y variables descriptivas del daño foliar en los árboles fuente de semillas, se observa una tendencia opuesta entre los árboles de las macrozonas Costa y Andes.

En la primera se aprecia una tendencia natural a que los árboles con mayor incidencia de daño

exhiban menor emergencia de plántulas, lo que se manifiesta en forma opuesta en los árboles de la macrozona Andes (Figura 8).

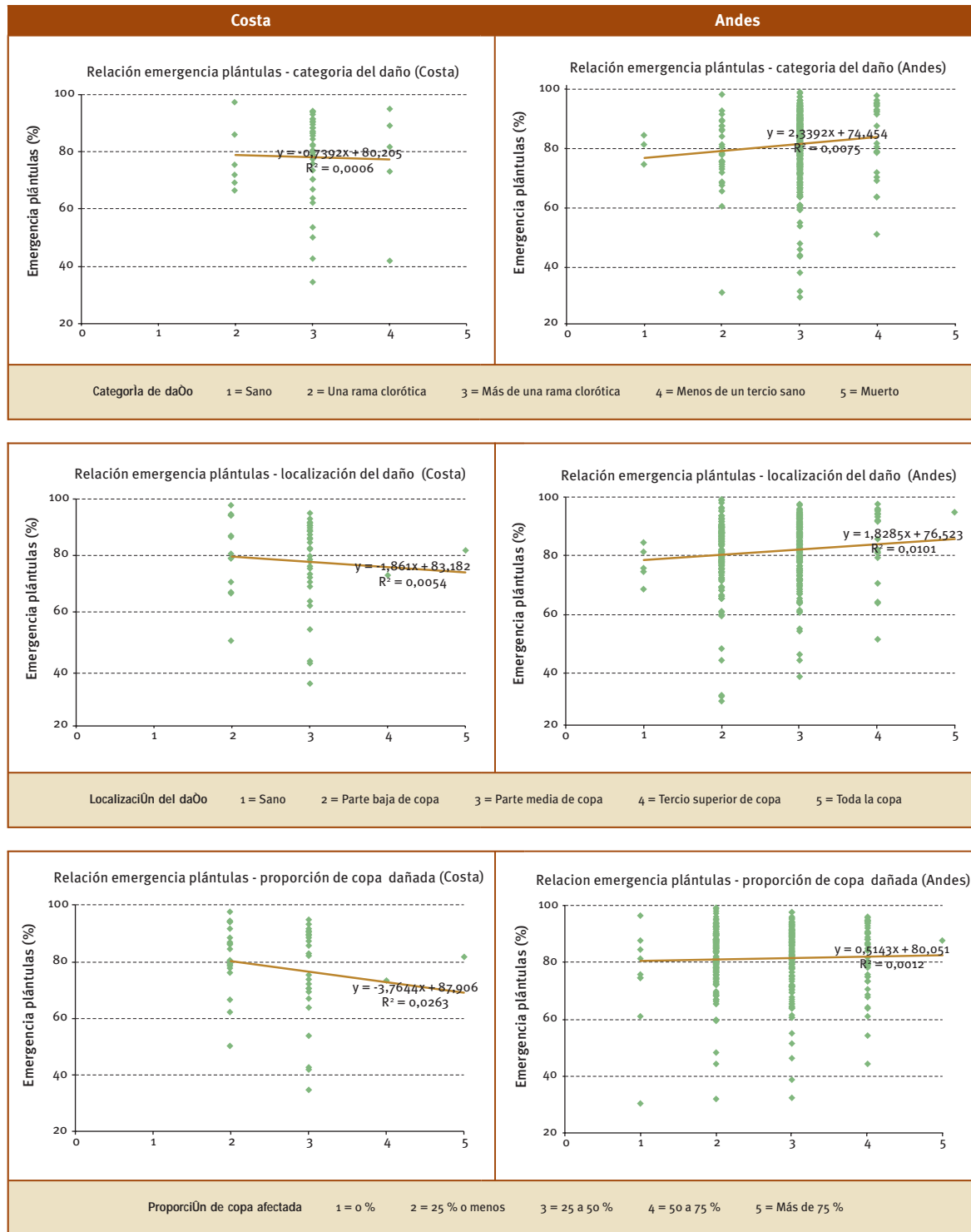
En la práctica, las relaciones observadas parecen ser circunstanciales, observándose gran variación en la emergencia de plántulas dentro de cada valor de las variables que caracterizan el daño (“Categoría del daño”, “Localización del daño” y “Proporción de copa afectada”). Por lo mismo, las tendencias observadas estarían respondiendo más bien al número de árboles en cada nivel y no al nivel propiamente tal.

Análogamente, las diferencias entre Costa y Andes obedecerían a esta misma situación, por cuanto entre los árboles de Costa no se registran individuos en el nivel 1 de las variables “Categoría del daño”, “Localización del daño” y “Proporción de copa afectada”, lo que sí ocurre entre los árboles de la macrozona Andes.





Figura 8: Relación entre emergencias de plántulas y daño foliar en árboles fuente de semillas



Fuente: Gutiérrez, 2019.

## Conclusiones



Existe una natural variación en la emergencia de plantas entre las distintas familias de Araucaria. No obstante, los valores son relativamente altos y se condicen con la alta germinación que se reporta para la especie.

La emergencia de plántulas para las semillas procedentes de las macrozonas Costa y Andes sigue la tendencia general reportada para otras especies en cuanto a que las semillas de mayor tamaño germinan más y producen más plantas que las de tamaño menor.

A nivel de macrozonas, las semillas colectadas en árboles de poblaciones costeras resultaron de tamaño ligeramente menor y exhibieron una emergencia de plántulas más rápida que en las semillas de la macrozona Andes.

No obstante, los valores de emergencia de plántulas fueron final y definitivamente mayores en las semillas colectadas en poblaciones andinas, las que si bien emergieron más tarde, experimentaron incrementos de emergencia en el tiempo mayores que los exhibidos en la macrozona Costa.

En cuanto a la incidencia del daño foliar de los árboles donantes de semillas, no parece que este sea un factor que incida en la emergencia de plántulas. Al respecto, debe tenerse en cuenta que al momento de la colecta, se privilegió a los que presentaban menores niveles de daño.



# Referencias



- Alarcón, D. 2019. Estratos ecológico-genéticos para *Araucaria araucana*. ECOBIOS. Documento en preparación.
- Alvarado, A., y Levet, O. 2014. Manual de protocolos de producción de especies utilizadas por el programa de arborización. Corporación Nacional Forestal, Gerencia Forestal, Dpto. de arborización. Santiago, Chile. 177.
- Benítez, C. 2005. Viabilidad de las semillas y crecimiento inicial de plántulas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch de la cordillera de Nahuelbuta en la IX Región de Chile. Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile. 107.
- Caro, M. 1995. Producción y dispersión de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch, en Lonquimay. Memoria de título de Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. Chile. 25-51.
- Chávez, A., Mugridge, A., Fassola, H., Alegranza, D., y Fernández, R. 1999. Conservación refrigerada de semillas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. Bosque 20 (2): 117-124.
- Donoso, C., y Cabello, A. 1978. Antecedentes fenológicos y de germinación de especies leñosas chilenas. Departamento de silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 1: 31-41.
- Donoso, C. 1993. *Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica*. Primera Edición. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 484.
- Duplancic, M. 2011. Germinación de semillas de *Araucaria araucana* provenientes del bosque xérico norpatagónico. *Multequina* 20: 113-115. ISSN 1852-7329 on-line.
- Echeverría, C., Zamorano, C., y Cortés, M. 2004. Conservation and restoration of monkey puzzle (*Araucaria araucana*) forest in Chile. Global Trees Campaign. Final Report. [www.globaltrees.org/downloads/ChileReportS.pdf](http://www.globaltrees.org/downloads/ChileReportS.pdf).
- Escobar, R. 2007. *Manual de viverización*. Instituto Forestal, Centro Tecnológico de la Planta Forestal. Concepción, Chile. 230.
- González, M., Cortés, M., Izquierdo, F., Gallo, L., Echeverría, C., Bekkesy, S., y Montaldo, P. 2006. *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. In Cuneo M eds. *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina*. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones. 36-53.
- Gutiérrez, B. 2019. Análisis de la emergencia de plántulas durante la viverización de una colección de semillas de 418 familias de *Araucaria araucana*. *Ciencia e Investigación Forestal* 25(1):21-38.

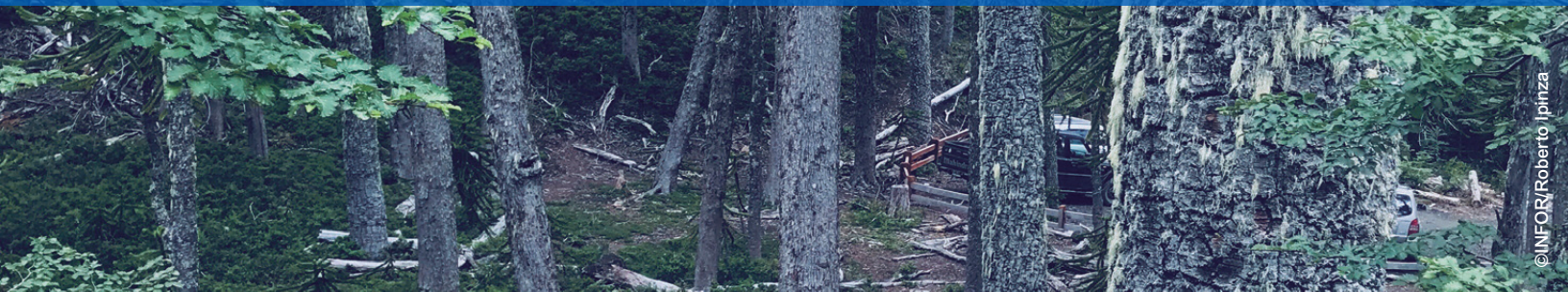
- López, H., Jiménez, G. y Reyes, B. 1986. Algunos antecedentes sobre cosecha, procesamiento y viverización de varias especies nativas. *Revista Chile forestal*. Documento técnico N.o 5.
- Marticorena, C. y Rodríguez, R. 1995. Flora de Chile. Volumen I, *Pteridophyta-Gymnospermae*. Universidad de Concepción. Concepción, Chile: Editorial Aníbal Pinto. 352.
- Muñoz, R. 1984. Análisis de la productividad de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch en el área de Lonquimay, IX Región. Tesis. Fac. Cs. Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 84.
- Muñoz, F. 2010. Evaluación del almacenamiento, germinación de semillas y producción de plantas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch, procedentes de la comuna de Lonquimay, IX Región. Memoria para optar al título profesional de ingeniero forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 49.
- Olave, F. 2015. Efectos de la aplicación de cortas selectivas en bosques de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch ubicados en la Región de La Araucanía, Chile. Tesis doctoral presentada en satisfacción de los requisitos necesarios para optar al grado de doctor por la Universidad Internacional de Andalucía. Programa de doctorado compartido Universidad de Andalucía- Universidad de Córdoba. España. 202.
- Reyes, M.; Pinto, R. y Cruz, P. 2017. Estudios de prospección fitosanitaria en los bosques de *Araucaria araucana* para determinar los niveles de afectación de daño foliar en los bosques de las regiones del Biobío, La Araucanía y Los Ríos. Ufro-Oterra. Presentación en seminario internacional International Meeting of the Araucaria. Pucón, Chile. 6-9 noviembre, 2017.
- Rodríguez, R.; Matthei, O. y Quezada, M. 1983. *Flora Arbórea de Chile*. Concepción, Chile: Editorial de la Universidad de Concepción.
- Troncoso, A. 2015. Evaluación del proceso de germinación de la especie *Araucaria araucana* (Mol.) Koch proveniente del sitio prioritario de conservación de Villa Las Araucarias, Región de La Araucanía. Trabajo de titulación presentado como parte de los requisitos para optar al título de ingeniero en Conservación de Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Valdivia, Chile. 46.
- Urrutia, J. 1986. Análisis bibliográfico y pictórico de semillas y sus procesos germinativos para 32 especies forestales nativas. Tesis, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 64.
- Zavala, J. 2018. Análisis de la producción, germinación y viabilidad de semillas de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch para tres años de fructificación y tres localidades de la comuna de Lonquimay, Región de La Araucanía. Memoria para optar al título de ingeniero forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza. Santiago, Chile. 29.

## Artículo IV

# Evaluación de parámetros morfológicos y fisiológicos en semillas de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch, cosecha temporada 2018

Jorge González C. y Laura Koch Z.

Instituto Forestal, Chile



© INFOR/Roberto Ipinza

### Introducción

La distribución actual de *Araucaria araucana* se divide entre un área principal a ambos lados de la cordillera de los Andes, que separa a Chile y Argentina, y dos poblaciones disjuntas en la cordillera de la Costa en Chile, que corresponden a la cordillera de Nahuelbuta. El rango completo de la distribución está solo dentro de 3 grados de latitud desde los 37° 20' hasta los 40° 20' S (Bekessy *et al.*, 2002; 2004).

La especie se desarrolla sobre un amplio rango ecológico que incluye una variedad de condiciones climáticas y edáficas. En la cordillera de los Andes se presenta a entre 900 y 1700 m s. n. m., caracterizado por una precipitación anual de 800 a 4000 mm, con temperatura mínima invernal < 0 °C (Donoso *et al.*, 2013). Utilizan suelos poco evolucionados que derivan de materiales de cenizas, gravas, arenas de escorias y pómez volcánicas (Donoso *et al.*, 2013; Muñoz *et al.*, 2014). La ecología y dinámica de la *Araucaria* está normalmente

afectada por alteraciones o disturbios exógenos, siendo el vulcanismo y los incendios los factores más importantes que intervienen en la distribución. Frente a estos, la especie ha generado algunas adaptaciones, como una corteza gruesa (mayor a los 10 cm en individuos adultos) y la capacidad de reproducirse vegetativamente (Bekessy *et al.*, 2002; 2004).

En vista de la separación geográfica de las poblaciones costeras y andinas, y del amplio rango ecológico, es posible pensar que existe un alto grado de diferenciación genética entre estas. Este supuesto fue sugerido tempranamente por Delmastro y Donoso (1980) (citado por Bekessy *et al.*, 2004; Raffi y Dodd (1998)), quienes observaron algunas diferencias morfológicas en las plantas y grados de reproducción vegetativa. Los mismos autores predijeron diferencias dentro del rango andino como resultado de la mayor variación climática en la precipitación anual.

Posteriormente, Raffi y Dodd (1998) evaluaron los perfiles de hidrocarburos de la cera epicuticular foliar en poblaciones y concluyeron que existe una alta variación intraespecífica, y también interespecífica, atribuibles a adaptaciones genecológicas. Mundo *et al.* (2012) estudiaron la correlación entre el crecimiento radial de los árboles, usando la cronología de los anillos de crecimiento, y las condiciones climáticas y determinaron que existe una fuerte correlación entre las temperaturas medias y las precipitaciones de verano y primavera.

Los estudios, para los que utilizaron herramientas moleculares, tales como marcadores moleculares tipo RAPD y microsatélites, confirmaron una alta variación intraespecífica (Bekessy *et al.*, 2002; Ruiz *et al.*, 2007; Marchelli *et al.*, 2010; Martín *et al.*, 2014).

Se sabe que la producción de semillas en árboles es un proceso complejo, y en el caso de las coníferas puede durar de dos a tres años. Las etapas de este proceso incluyen el desarrollo y diferenciación (inducción floral) de yemas para la formación de estróbilos; la formación de óvulos y su posterior fecundación vía polinización generalmente por viento, y finalmente el crecimiento y desarrollo de las semillas y de los conos que las protegen. Cada una de estas etapas está controlada por numerosos factores endógenos y exógenos que interactúan entre sí (Sanguinetti, 2014).

Conocer el patrón temporal y espacial de la producción de semillas de *A. araucana* puede ayudar a los científicos a entender el proceso ecológico representado por la producción y dispersión de semillas y su vinculación con los factores que limitan la reproducción y la regeneración (Sanguinetti, 2014). Además, dado que la semilla es un recurso utilizado por los humanos, también puede ayudar a definir pautas para el uso sustentable.

A escala regional, las diferencias entre los sitios en la productividad de semillas puede deberse a variaciones en la disponibilidad de recursos (ej. fósforo, nitrógeno), ya sea por el efecto del clima, de la topografía (exposición o latitud) o por las diferencias en la fertilidad de los suelos. A escala local, los árboles pueden presentar diferencias en su productividad reproductiva debido al efecto de la competencia intra- e interespecífica frente a los nutrientes o luz limitantes.

En este capítulo se hace un análisis espacial de los caracteres morfológicos de la semilla de *A. araucana* a partir de la semillación de la temporada 2018 de algunas poblaciones costeras y andinas. Dadas las condiciones contrastantes de las poblaciones, es posible que las semillas presenten ciertas adaptaciones a su lugar de origen. Complementariamente, se evalúa la viabilidad de la semilla de las mismas poblaciones.

## Materiales y métodos

Las semillas de *Araucaria araucana* colectadas durante marzo-abril 2018 de 418 árboles provenientes de su distribución natural fueron almacenadas en cámara de frío a 4 °C hasta su análisis (Figura 1). De cada familia colectada se seleccionaron de forma aleatoria 10 semillas, a las cuales se les aplicaron los parámetros morfológicos y fisiológicos. Todas las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Semillas Forestales del Instituto Forestal San Pedro de la Paz, Región del Biobío.

### ➤ Parámetros morfológicos

Utilizando un pie de metro digital se efectuaron las mediciones y se registraron los valores para los parámetros morfológicos (Figura 2): largo de la semilla (LA), ancho de la semilla (para esta variable, dada la forma oblonga a cuneiforme, se consideró el ancho medio (ASM) tomando el valor en la mitad del largo, y el ancho basal (ASB) desde la base de la semilla). El peso de la semilla (PS) se midió utilizando una balanza analítica marca Intelligent (Weighing Technology), modelo AS220/C/2, precisión 0,01 g. Para la variable número de semillas por kilogramo se utilizó una balanza comercial.

**Figura 1: Mallas de semillas de *Araucaria araucana*, de diferentes poblaciones, colectadas durante marzo-abril 2018**



©Recrea

Fuente: González, 2019.

**Figura 2: Medición de datos morfológicos de semillas de *Araucaria araucana* colectadas durante marzo-abril 2018**



©Instituto Forestal/Jorge González

Fuente: Jorge González, 2018.

### ► Parámetros fisiológicos

Se evaluó la viabilidad de las semillas utilizando el método indirecto del Tetrazolio. Este es una prueba bioquímica empleada para evaluar rápidamente los valores de viabilidad de las semillas, que consiste en revelar los procesos de reducción que tienen lugar dentro de las células vivas. El compuesto acepta los hidrógenos (H+) generados a partir de las enzimas deshidrogenasas. La hidrogenación del Tetrazolio se produce en células vivas, originando una sustancia de color rojo intenso, estable y no difusible, denominada formazán de trifenilo. Esto hace que sea posible distinguir las partes vivas de color rojo de las semillas muertas, incoloras.

El método es ideal, cuando se debe sembrar rápidamente, en semillas con profunda dormancia, de germinación lenta, o en casos en que se requiera una evaluación muy rápida del potencial de germinación. Una semilla viable debe mostrar una coloración en todos los tejidos, lo que es necesario para el normal desarrollo de las plántulas. Dependiendo de la especie, pueden aceptarse pequeñas áreas no teñidas en algunas partes de los tejidos. Para los propósitos del ensayo, una semilla viable debe mostrar, por su actividad bioquímica, el potencial de producir una plántula

normal. Una semilla no viable presenta deficiencias o anomalías de naturaleza tal que impiden su desarrollo en una plántula normal.

Con las mismas semillas utilizadas en el ensayo anterior se realizó el análisis de viabilidad con Tetrazolio. La solución se preparó al 0,05%, pesando 0,5 g de Tetrazolio en polvo (marca Merck) y disolviendo en 100 ml de agua destilada. El pH fue ajustado a 5,8 utilizando KOH 0,1 N.

Las muestras se dejaron embebidas en agua destilada, dentro de un refrigerador a 4 °C por 24 horas, lo cual permite que la semilla se ablande y aumente la actividad de la hidrogenasa. Posteriormente, a cada semilla se le extrajo su embrión intacto (Figura 3) para luego ser sumergidos en la solución de Tetrazolio hasta cubrirlos por completo. Los 10 embriones, junto con la solución, se dejaron en una estufa a 30 °C por dos horas.

Durante ese tiempo, el Tetrazolio interactuó con los procesos de reducción y oxidación de las células vivas en el embrión, cambiando su color blanco natural por una gama del color rojo, lo que permitió la diferenciación entre embriones viables (de color rojo) y embriones no viables (mantienen su color blanco). Los embriones fueron sacados de la solución y puestos en una superficie plana para su observación y su posterior fotografía.

**Figura 3: Esquema temporal del método de extracción de embriones de *Araucaria araucana* a partir de semillas maduras embebidas en agua por 24 horas a 4 °C (2018)**



Fuente: Jorge González, 2018.



## Análisis estadístico

Para las variables morfológicas se obtuvo la media aritmética de las 10 semillas evaluadas para cada familia, alcanzando una media familiar. Dada la naturaleza cuantitativa de estas variables, se evaluaron mediante la prueba paramétrica Análisis de Varianza o ANOVA. Para ello, se utilizaron como factores las poblaciones de origen y los estratos ecológicos definidos por Alarcón 2019 para la especie (datos no publicados) (Anexo 1).

Para cada variable se evaluaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov ( $\alpha = 0,05$ ). La elección de esta prueba se sustenta en el número de muestras ( $N > 50$ ). Además, se midió el supuesto de homocedasticidad mediante la prueba de Levene ( $\alpha = 0,05$ ). Para las variables que no cumplan los supuestos se reemplazó la prueba ANOVA por la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Una vez que se determinó que existen diferencias entre las medias de las poblaciones para cada una de las variables morfológicas, se utilizó la prueba *post hoc* Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para evaluar cuáles poblaciones presentan diferencias significativas.

Todas las pruebas estadísticas y los gráficos se realizaron utilizando el programa R-Project 2018 versión 3.5.0.

Para las variables fisiológicas se obtuvo la frecuencia relativa de semillas vivas y semillas

muertas de las 10 semillas evaluadas para cada familia, alcanzando un porcentaje por familia. A partir de estos valores, se calculó la media aritmética sobre la base de 20 árboles por localidad (i.e. 200 semillas por localidad). Dado que la naturaleza de estos números es cuantitativa discreta, y considerando la baja variabilidad de los resultados, no se realizaron pruebas estadísticas.

©Instituto Forestal/Roberto Ipinza



## Resultados y discusión



### Largo de la semilla

El largo promedio de las semillas (LS) para todas las poblaciones muestreadas durante 2018 fue de  $3,9 \pm 0,36$  cm. La evaluación de supuestos para realizar la prueba de ANOVA arrojó que para esta variable todas las poblaciones cumplen con el supuesto de normalidad, excepto RNR ( $p = 0,01 < \alpha$ ). Sin embargo, considerando que la prueba ANOVA es robusta, esta localidad también fue incluida en el análisis. Se cumple el supuesto de homocedasticidad.

El test ANOVA, utilizando las poblaciones (o localidades) como factor, indica que existen diferencias para esta variable. Las dos poblaciones de la macrozona Costa, Parque Nacional Nahuelbuta (PNN) y Villa Las Araucarias (VA), presentan diferencias significativas entre ellas. Las semillas de VA son más pequeñas ( $3,61 \pm 0,29$  cm) que las semillas de PNN ( $4,19 \pm 0,36$  mm) (Cuadro 1), lo que constituye un resultado particular, dado que durante los últimos años varios autores reportan una disminución en la variabilidad genética para la especie en Villa Las Araucarias. Los análisis mediante el uso de marcadores moleculares tipo microsatélites (SSR) revelan que la población de VA evidencia la menor variación genética con respecto al resto de las poblaciones de la especie, medida como heterocigosidad no sesgada ( $UHe = 0,560$ ).

Los mismos autores registran también una diferencia en la estructura genética de las poblaciones de la macrozona Costa mediante métodos bayesianos, en la que VA difiere de PNN (Martín *et al.*, 2014). Además, otros autores informan que VA tiene el menor número de alelos por locus polimórfico utilizando marcadores tipo aloenzimas (Ruiz *et al.*, 2007). Por lo tanto, se podría hipotetizar que la falta de diversidad genética tiene efectos en la expresión de rasgos morfológicos. Sin embargo, es necesario profundizar estos análisis. Es posible afirmar, entonces, que en general los índices de diferenciación genética (Índice de fijación: *Fst*) en poblaciones de la macrozona Costa enseñan valores mayores que las poblaciones Andes (Martín *et al.*, 2014).

Por último, se puede realizar para la localidad VA una comparación con los datos reportados para la variable LA. Troncoso (2015) determinó que las semillas colectadas en 2013 en esta localidad miden  $3,84 \pm 0,28$  cm. En este estudio, esta localidad presenta valores de  $3,61 \pm 0,29$  cm, los que se consideran similares a los anteriores. Otros autores reportan valores de 4 a 5 cm en el largo de las semillas para la especie a través de su distribución natural (Donoso, 1998; Gilman y Watson, 1993; Donoso y Cabello, 1977). Sin una

prueba estadística, se puede hipotetizar que las semillas han disminuido su tamaño, pero para confirmar estas suposiciones se debería contar con información temporal sobre la variable.

En la macrozona Andes, la localidad RNR ( $3,82 \pm 0,35$  cm) exhibe diferencias significativas con respecto a PNV ( $4,08 \pm 0,40$  cm), lo que se explica debido a que ambas poblaciones corresponden a los extremos de la distribución norte y sur, respectivamente (Cuadro 1). Lonquimay (LON) también se diferencia de la Reserva Nacional Ralco (RNR), sin embargo, se debe considerar que LON presenta el menor número de muestras. Con respecto a las otras poblaciones de la distribución, no se observan diferencias.

Por otra parte, es posible utilizar los estratos ecológicos definidos para la especie por Alarcón (2019, datos no publicados) para realizar un análisis de varianza, ya que se cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

El test ANOVA revela que existen diferencias para esta variable. Nuevamente en la macrozona Costa

el Estrato 1 (Costa-Sur), que considera solamente a la localidad de VA, cuya media es  $3,61 \pm 0,29$  cm, exhibe diferencias con respecto al Estrato 2 (Costa-Norte), que incluye solo a la localidad PNN, cuya media es  $4,10 \pm 0,34$  cm. El Estrato 1, presenta diferencias con el resto de los estratos evaluados, siendo las semillas más pequeñas siguiendo el patrón de las poblaciones como factores.

Con respecto a los estratos ecológicos de la macrozona Andes, el Estrato 5 (Andes-Sur), que contempla a la localidad PNV, cuya media es  $4,11 \pm 0,39$  cm, muestra diferencias significativas con respecto a los estratos 3 y 4 (Andes-Norte), cuyas medias son  $3,84 \pm 0,34$  y  $3,88 \pm 0,32$  cm, respectivamente, los cuales no presentan diferencias entre sí, por lo que se puede inferir que las semillas del sur de la distribución son más largas. Lo anterior sugiere una tendencia latitudinal en la variación por lo menos en la macrozona Andes. Al respecto, Sersic *et al.* (2011) describen que existen quiebres filogeográficos latitudinales para algunas especies del género *Nothofagus* y Ciprés de la cordillera, lo que explicaría estas diferencias.

## Ancho medio de la semilla

El ancho medio de las semillas para todas las poblaciones muestreadas durante el año 2018 fue de  $1,26 \pm 0,10$  cm. Todas las poblaciones cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

El test ANOVA, utilizando las poblaciones como factor, denota que existen diferencias para esta variable. Nuevamente las dos poblaciones de la macrozona Costa (PNN y VA) presentan diferencias significativas. Las semillas de la PNN ( $1,33 \pm 0,10$  cm) son más anchas que las semillas de VA ( $1,24 \pm 0,08$  cm) (Cuadro 1).

Resultados similares se observaron en el largo de la semilla. Como se ha manifestado, uno de los factores puede corresponder a la pérdida de diversidad genética.

En la macrozona Andes las diferencias significativas se exhiben en las poblaciones de los extremos de la distribución. En la distribución sur, PNV presenta semillas levemente más anchas ( $1,30 \pm 0,09$  cm) que las poblaciones más septentrionales RNR ( $1,22 \pm 0,11$  cm) y RNM ( $1,21 \pm 0,10$  cm) (Cuadro 1), manteniéndose la tendencia latitudinal.



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

Troncoso (2015) reportó un valor de  $1,39 \pm 1,2$  cm de ancho medio de la semilla para la localidad VA. En este estudio para esta localidad se reporta un valor de  $1,24 \pm 0,08$  cm de ancho medio de la semilla. Se observa el mismo patrón con respecto al largo. Las semillas pareciesen disminuir en su tamaño, aunque cabe destacar la baja diversidad genética de la localidad reportada.

Los estratos ecológicos definidos para la especie por Alarcón (2019, datos no publicados), cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

El test ANOVA, usando los estratos ecológicos como factores, muestra que existen diferencias

para esta variable. En la macrozona Costa, el Estrato 1 (Costa-Sur), cuya media es  $1,24 \pm 0,08$  cm, difiere del Estrato 2 (Costa-Norte), cuya media es  $1,33 \pm 0,10$  cm (Cuadro 2).

Con respecto a la macrozona Andes, el Estrato 5 (Andes-Sur), cuya media es  $1,31 \pm 0,09$  cm, presenta diferencias significativas con respecto a los estratos 3 y 4 (Andes-Norte), cuyas medias son  $1,24 \pm 0,10$  cm y  $1,23 \pm 0,11$  cm, respectivamente, los cuales no muestran diferencias entre sí, manteniéndose la tendencia latitudinal, al igual que en el largo de la semilla.

### Ancho basal de la semilla

El ancho basal de las semillas para todas las poblaciones muestreadas durante el año 2018 fue de  $1,29 \pm 0,12$  cm. Todas las poblaciones cumplen el supuesto de normalidad y homocedasticidad

El test ANOVA, utilizando las poblaciones como factor, muestra que existen diferencias para esta variable en algunas poblaciones (Cuadro 1). En la macrozona Costa no se observan diferencias significativas para esta variable.

En la macrozona Andes, la localidad PNV, cuya media es  $1,39 \pm 0,09$  cm, difiere de las otras poblaciones, siendo esta localidad la que posee el mayor valor para esta variable. Las poblaciones de RNR y PNC, cuyas medias son  $1,30 \pm 0,13$  cm y  $1,30 \pm 0,19$  cm, respectivamente, difieren de las poblaciones de CRU, ICA y MAR, cuyas medias son  $1,21 \pm 0,07$ ,  $1,21 \pm 0,08$ , y  $1,21 \pm 0,09$  cm, respectivamente.

Los estratos ecológicos definidos para la especie por Alarcón (2019, datos no publicados), cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad para la variable ASM.

El test ANOVA, usando los estratos ecológicos como factores, muestra que existen diferencias para esta variable. En la macrozona Costa no existe diferencia entre los estratos 1 y 2 (Cuadro 2).

La macrozona Andes, el Estrato 5 (Andes-Sur), cuya media es  $1,40 \pm 0,09$  cm, siendo el valor más alto entre los estratos, presenta diferencias significativas con respecto a los estratos 3 y 4 (Andes-Norte), cuyas medias son  $1,26 \pm 0,11$  y  $1,29 \pm 0,13$  cm, respectivamente, los cuales no presentan diferencias entre sí, y se mantiene la tendencia latitudinal, al igual que el largo y el ancho medio (Cuadro 2).

**Cuadro 1: Resumen Análisis de Varianza (ANOVA) para parámetros morfológicos de las semillas de *Araucaria araucana***

Localidad	Largo de semillas (cm)	Ancho medio de semillas (cm)	Ancho basal de semillas (cm)	Peso de semillas (g)	N'mero de semillas por kilogramo
Villa Las Araucarias	3,61 ± 0,29 <sup>c</sup>	1,24 ± 0,08 <sup>c</sup>	1,35 ± 0,12 <sup>abc</sup>	3,49 ± 0,53 <sup>d</sup>	285
PN Nahuelbuta	4,11 ± 0,36 <sup>a</sup>	1,33 ± 0,10 <sup>a</sup>	1,36 ± 0,11 <sup>ab</sup>	3,95 ± 0,64 <sup>bc</sup>	256,41
RN Ralco	3,83 ± 0,35 <sup>bc</sup>	1,22 ± 0,11 <sup>c</sup>	1,30 ± 0,13 <sup>cb</sup>	3,53 ± 0,62 <sup>d</sup>	276
RN Nalcas	3,99 ± 0,26 <sup>ab</sup>	1,26 ± 0,08 <sup>bc</sup>	1,30 ± 0,09 <sup>cde</sup>	4,21 ± 0,68 <sup>ab</sup>	227,50
Lonquimay	3,60 ± 0,41 <sup>c</sup>	1,24 ± 0,08 <sup>bc</sup>	1,24 ± 0,07 <sup>de</sup>	3,59 ± 0,68 <sup>cd</sup>	292
RN Malalcahuello	3,80 ± 0,40 <sup>bc</sup>	1,21 ± 0,10 <sup>c</sup>	1,27 ± 0,12 <sup>cde</sup>	3,60 ± 0,72 <sup>cd</sup>	275,75
PN Huerquehue	3,94 ± 0,19 <sup>ab</sup>	1,23 ± 0,09 <sup>bc</sup>	1,24 ± 0,07 <sup>de</sup>	4,06 ± 0,54 <sup>abc</sup>	259
PN Conguillío	3,92 ± 0,43 <sup>ab</sup>	1,25 ± 0,11 <sup>bc</sup>	1,30 ± 0,19 <sup>bcd</sup>	4,00 ± 0,89 <sup>abc</sup>	260,50
PN Villarrica	4,08 ± 0,40 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,09 <sup>ab</sup>	1,39 ± 0,09 <sup>a</sup>	4,39 ± 0,63 <sup>a</sup>	239
Cruzaco	3,76 ± 0,17 <sup>bc</sup>	1,23 ± 0,09 <sup>bc</sup>	1,21 ± 0,07 <sup>e</sup>	3,83 ± 0,63 <sup>bcd</sup>	254
Icalma	3,76 ± 0,26 <sup>bc</sup>	1,26 ± 0,08 <sup>abc</sup>	1,21 ± 0,08 <sup>e</sup>	3,90 ± 0,69 <sup>bcd</sup>	249
Marimenuco	3,75 ± 0,36 <sup>bc</sup>	1,25 ± 0,10 <sup>bc</sup>	1,21 ± 0,09 <sup>de</sup>	3,82 ± 0,45 <sup>bcd</sup>	274
<b>μ ± desviación estándar CV (%)</b>	<b>3,90 ± 0,36 9,36</b>	<b>1,26 ± 0,10 8,28</b>	<b>1,29 ± 0,12 9,31</b>	<b>3,87 ± 0,71 18,44</b>	<b>Med: 257 261</b>

Fuente: INFOR, 2019.

<sup>1</sup> Calculado sobre la mediana

Se muestra la media ± desviación estándar. Las letras indican diferencias significativas utilizando el test de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Se muestran  $\mu$  (media poblacional) ± desviación estándar poblacional y coeficiente de variación (CV%).

**Cuadro 2: Resumen Análisis de Varianza (ANOVA) para parámetros morfológicos de las semillas de *Araucaria araucana***

Localidad	Largo de semillas (cm)	Ancho medio de semillas (cm)	Ancho basal de semillas (cm)	Peso de semillas (g)	N'mero de semillas por kilogramo <sup>1</sup>
Estrato 1	3,61 ± 0,29 <sup>c</sup>	1,24 ± 0,08 <sup>bc</sup>	1,35 ± 0,12 <sup>ab</sup>	3,49 ± 0,53 <sup>c</sup>	285
Estrato 2	4,10 ± 0,36 <sup>a</sup>	1,33 ± 0,10 <sup>a</sup>	1,36 ± 0,11 <sup>a</sup>	3,95 ± 0,64 <sup>b</sup>	256,41
Estrato 3	3,84 ± 0,34 <sup>b</sup>	1,24 ± 0,10 <sup>c</sup>	1,26 ± 0,11 <sup>c</sup>	3,86 ± 0,70 <sup>bc</sup>	260
Estrato 4	3,88 ± 0,32 <sup>b</sup>	1,23 ± 0,11 <sup>c</sup>	1,29 ± 0,13 <sup>bc</sup>	3,71 ± 0,75 <sup>bc</sup>	262
Estrato 5	4,11 ± 0,39 <sup>a</sup>	1,31 ± 0,09 <sup>ab</sup>	1,40 ± 0,09 <sup>a</sup>	4,44 ± 0,60 <sup>a</sup>	239

Fuente: INFOR, 2019.

<sup>1</sup> Mediana, datos cuantitativos discretos.

Se muestra la media ± desviación estándar. Las letras indican diferencias significativas utilizando el test de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

## Peso de la semilla

El peso promedio de las semillas para todas las poblaciones muestreadas durante 2018 fue de  $3,87 \pm 0,71$  g. Todas las poblaciones cumplen con el supuesto de normalidad y homocedasticidad.

El test ANOVA, utilizando las poblaciones como factor, muestra diferencias significativas en las semillas. Las poblaciones de la costa se diferencian entre sí, presentando mayor peso las semillas de PNN ( $3,95 \pm 0,64$  g) que las de VA ( $3,49 \pm 0,53$  g).

En la macrozona Andes, la localidad PNV ( $4,39 \pm 0,63$  g) se diferencia de las poblaciones RNR, LON, RNM, CRU, ICA y MAR, exhibiendo un mayor peso. Nuevamente se muestra una tendencia latitudinal. Al parecer las semillas del sur de la distribución son las más grandes registradas durante el año 2018. Con respecto a las diferencias entre las demás poblaciones, PNV no muestra diferencias significativas con las poblaciones de RNN, PNH y PNC (Cuadro 1).

Troncoso (2015) reportó un valor de  $2,8 \pm 0,4$  g/semilla para la localidad VA. En este estudio se informa un valor de  $3,49 \pm 0,53$  g/semilla para esta localidad. Se trata de una semilla pesada, teniendo en promedio un peso de 3,8 g (Donoso y Cabello, 1977; Caro, 1995; Marticorena y Rodríguez, 1995).

Los estratos ecológicos definidos para la especie por Alarcón (2019, datos no publicados) cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad para la variable PS.

El test ANOVA, usando los estratos ecológicos como factores, muestra que existen diferencias para esta variable (Cuadro 2). En la macrozona Costa (Estrato 1 (Costa-Sur) y Estrato 2 (Costa-Norte), ambas poblaciones, VA y PNN, cuyas medias son  $3,49 \pm 0,53$  y  $3,95 \pm 0,64$  g, respectivamente, presentan diferencias significativas para esta variable.

En la macrozona Andes, el Estrato 5 (Andes-Sur), cuya media es  $4,44 \pm 0,60$  g, sigue siendo el valor más alto y presenta diferencias significativas con respecto a los estratos 3 y 4 (Andes-Norte), cuyas medias son  $3,86 \pm 0,70$  g y  $3,71 \pm 0,75$  g, respectivamente, los cuales no revelan diferencias entre sí. Se mantiene la tendencia latitudinal, al igual que para LS, AMS y ABS (Cuadro 2).



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

## Número de semillas por kilogramo

El peso promedio de las semillas para todas las poblaciones muestreadas durante el año 2018 fue de  $267,31 \pm 59,10$  semillas/kg. Sin embargo, los datos muestran una distribución asimétrica negativa, por lo que el estadígrafo más apropiado para describir los datos en ese caso es la mediana, la cual es de 257. No cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad, por lo que para esta variable se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la cual reemplaza a la ANOVA ( $\alpha = 0,05$ ). Las poblaciones presentan diferencias significativas entre ellas ( $P = 0,00 < \alpha = 0,05$ ).

En la literatura se reporta un número estimado de 260 semillas por kilo (Muñoz, 1984; Caro, 1995; González *et al.*, 2006). Troncoso (2015) informa un valor de  $311 \pm 19,10$  semillas/kg (año 2013)

y  $406 \pm 12,00$  semillas/kg (año 2014) para la localidad VA. En este estudio para esta localidad se reporta un valor  $294 \pm 63,37$  semillas/kg.

En la cordillera de los Andes, el número de semillas por kilogramo varía de 180 a 250, siendo también un número mucho menor que en Villa Las Araucarias. La diferenciación en el tamaño de las semillas está correlacionada con numerosos factores ambientales, como la variación altitudinal (Baker, 1972 citado por Donoso, 2004), la que implica variaciones de temperatura, cantidad y tipo de precipitaciones (pluviales o nivales). Las diferencias ambientales podrían explicar la diversidad de tamaños de las semillas de *Araucaria araucana*.

## Viabilidad de semillas

Con respecto a la viabilidad de la semilla, todas las poblaciones muestran porcentajes superiores a 97%. Existe diversa información respecto a la capacidad germinativa de *Araucaria araucana*, reportándose valores desde 2% a 33% en siembra directa y de 33% a 100% en vivero. Sin embargo, los resultados generados en este estudio muestran que las semillas poseen una viabilidad similar (Cuadro 3), independiente de diferencias morfológicas que se puedan presentar entre las poblaciones, por lo que es posible inferir que la pérdida en la capacidad germinativa no se debe a factores internos, ya que todas las poblaciones presentan la misma capacidad. No obstante, se debe considerar que la prueba bioquímica representa un método indirecto.

**Cuadro 3: Porcentaje de viabilidad (%) evaluado mediante prueba bioquímica de Tetrazolio 0,05% entre diferentes poblaciones de *Araucaria araucana***

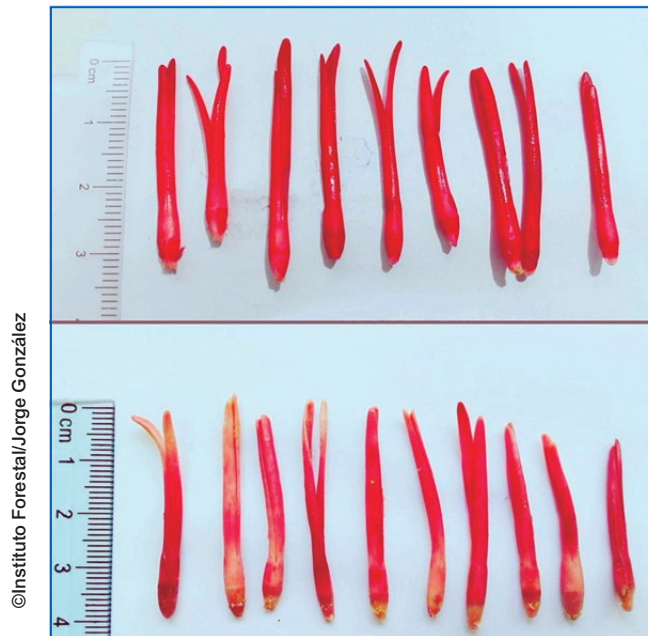
Población	Porcentaje viabilidad estimado
Villa Las Araucarias	100
PN Nahuelbuta	99,35
RN Ralco	99,34
RN Nalcas	98,89
Lonquimay	97,30
RN Malalcahuello	97,25
PN Huerquehue	98,17
PN Conguillío	98,27
PN Villarrica	98,24
Cruzaco	100
Icalma	100
Marimenuco	100
Total	

Fuente: INFOR, 2019.

Se repitió el análisis de Tetrazolio, en algunas semillas, 6 meses después de la colecta. Durante ese tiempo las semillas fueron almacenadas en cámara de frío a 4 °C. En la Figura 4 se muestra

que en este período las semillas van perdiendo coloración, lo que es atribuible a la pérdida de viabilidad debido a la naturaleza recalcitrante de la especie.

**Figura 4: Pérdida de viabilidad de las semillas de *Araucaria araucana* (2018)**



Fuente: Jorge González, 2018.

En la fotografía de arriba se muestran embriones teñidos con una solución de tetrazolio al 0,5% inmediatamente después de la cosecha en mayo de 2018. En la fotografía de abajo se muestran semillas del mismo árbol teñidas con una solución

de Tetrazolio al 0,5% 6 meses después de su cosecha. Durante este tiempo, las semillas se almacenaron en cámara de frío a 4 °C. Se observa una pérdida en la tinción.



# Conclusiones

Los parámetros morfológicos de las semillas siguen una distribución latitudinal; la diferencia entre las poblaciones continúa la tendencia de la estructura genética reportada por Martín *et al.* (2014) y los estratos ecológicos descritos por Alarcón (2019, datos no publicados).

El parámetro que mayor variación presenta en la distribución natural es el peso de las semillas.

No existe una relación entre el tamaño y peso de la semilla con la viabilidad. Las semillas pequeñas tienen la misma viabilidad que las semillas grandes. Se confirma visualmente la pérdida de viabilidad mediante la prueba bioquímica de Tetrazolio.



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

## Referencias



Bekessy, S., Allnut, T., Premoli, A., Lara, A., Ennos, R., Burgman, M., Cortés, M., y Newton, A. 2002. Genetic variation in the vulnerable and endemic Monkey Puzzle tree, detected using RAPDs. *Heredity*, 88:243-249.

Bekessy, S., Lara, A., González, M., Cortés, M., Gallo, L., Premoli, A., y Newton, A. 2004. Variación en *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch (Araucaria o Pehuén). En: Donoso, C., Premoli, A., Gallo, L., Ipinza, R. 2004. *Variación Intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina*. Editorial Universitaria. 215.

Caro, M. 1995. Producción y dispersión de semillas de *Araucaria araucaria* (Mol.) K. Koch., en Lonquimay. Memoria para obtener el título de ingeniero forestal, Universidad de Chile. Santiago, Chile, 55.

Delmastro, R., y Donoso, C. 1980. Review of distribution, variation and utilization of gene resources of *Araucaria araucana* (Mol.) Koch in Chile.

Donoso, C., y Cabello, A. 1977. Antecedentes fenológicos y de germinación de especies leñosas chilenas. *Revista de la Facultad de Ciencias Forestales*, 1 (2), 31-41.

Donoso, C. 1998. *Bosques templados de Chile y Argentina; Variación, estructura y dinámica*. Cuarta Edición. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 483.

Donoso, C., González, M., Cortés, M., González, C., Donoso, P., y Hernández, M. 2008. Poblaciones de *Araucaria enana* (*Araucaria araucana*) en la cordillera de Nahuelbuta, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 29 (2), 170-175.

Donoso, S., Peña-Rojas, K., Espinoza, C., Galdames, E., y Pacheco, C. 2013. Producción, permanencia y germinación de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch en bosques naturales, aprovechados por comunidades indígenas del sur de Chile. *Interciencia* 39 (5): 338-343.

Duplancic, M. 2011. Germinación de semillas de *Araucaria araucana* provenientes del bosque xérico norpatagónico. *Multequina* 20:113-115.

Gilman, E., y Watson, D. 1993. *Araucaria araucana*. Fact Sheet ST-81. Series of the Environment Horticulture Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Science. University of Florida. 3.

González, M., Cortés, M., Izquierdo, F., Gallo, L., Echeverría, C., Bekkesy, S., y Montaldo, P. 2006. *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch; Araucaria (o), Pehuén, Piñonero, Pino Araucaria, Pino chileno, Pino de Neuquén, Monkey puzzle tree.

- Marchelli, P., Baier, C., Mengel, C., Ziegenhagen, Gallo, L. 2010. Biogeographic history of the threatened species *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch and implications for conservation: a case study with organelle DNA markers. *Conservation Genetics*, 11: 951-963.
- Martcorena, C., y Rodríguez, R. 1995. *Flora de Chile*. Vol. 1. Concepción, Chile: Ediciones Universidad de Concepción. 351.
- Martín, M., Mattioni, C., Lusini, I., Molina, J., Cherubini, M., Drake, F., Herrera, M., Villani, F., y Martín, L. 2014. New insights into the genetic structure of *Araucaria araucana* forest base don molecular and historic evidences. *Tree Genetics & Genomes*, 10: 839-851.
- Mundo, I., Roig Juñent, F., Villalba, R., Kitzberger, T., y Barrera, M. 2012. *Araucaria araucana* tree-ring chronologies in Argentina: Spatial growth variations and climate influences. *Trees* 26: 443-458.
- Muñoz, R. 1984. Análisis de la productividad de semillas de *Araucaria araucana* (Mol.) C. Koch, en el área de Lonquimay. Tesis. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 84.
- Muñoz, A., Barichivich, J., Duncan, C., Dorigo, W., Sauchyn, D., González-Reyes, Á., Villalba, R., Lara, A., Riquelme, N., y González, M. 2014. Patterns and drivers of *Araucaria araucana* forest growth along a biophysical gradient in the northern Patagonian Andes: Linking tree rings with satellite observations of soil moisture. *Austral Ecology* 39: 158-169.
- Rafii, Z., y Dodd, R. 1998. Genetic diversity among coastal and Andean natural populations of *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. *Biochemical Systematics and Ecology*, 26: 441-451.
- Ruiz, E., González, F., Torres-Días, C., Fuentes, G., Mardones, M., Stuessy, T., Samuel, R., Becerra, J., y Silva, M. 2007. Genetic diversity and differentiation within and among Chilean populations of *Araucaria araucana* (Araucariaceae) base don allozyme variability. *Taxon*, 56 (4): 1221-1128.
- Sanguinetti, J. 2014. Producción de semillas de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch durante 15 años en diferentes poblaciones del Parque Nacional Lanín (Neuquén-Argentina). *Ecología Austral*, 24: 265-275.
- Troncoso, A. 2015. Evaluación del proceso de germinación de la especie *Araucaria araucana* (Mol.) Koch, proveniente del sitio prioritario de conservación de Villa Las Araucarias, Región de La Araucanía. Trabajo de titulación presentado como parte de los requisitos para optar al título de ingeniero en Conservación de Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile.

# Anexos



## Anexo 1

**Cuadro 4: Procedencias muestreadas en las macrozonas Andes y Costa de Araucaria araucana según estratos ecológicos. Se incluyen puntos que no estaban en los estratos y que fueron estimados por cercanía**

ID estrato Ecológico	Color	N° mero de árboles	Procedencias
1	Verde	26	Villa Las Araucarias
2	Verde	61	PN Nahuelbuta
5	Azul	227	Cruzaco, Icalma, Marimenuco, RN Huerquehue, Lonquimay, PN Conguillío, PN Villarrica, RN Nalcas, RN Malalcahuello, RN Ralco
4	Rojo	103	RN Nalcas, RN Ralco
5	Amarillo	41	PN Villarrica
Total		458	

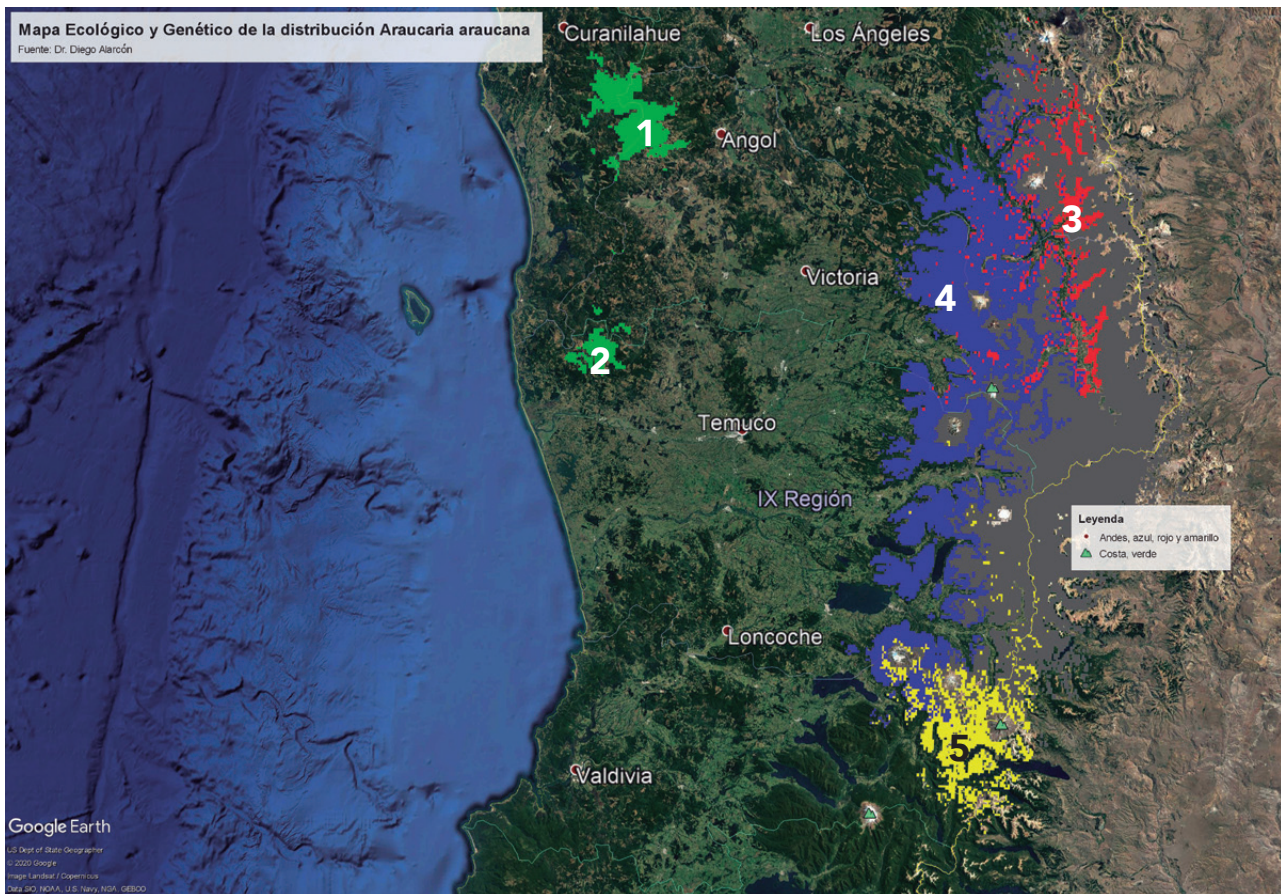
Fuente: INFOR, 2019.

## Anexo 2

Estratos ecológicos definidos gracias al modelamiento de nicho ecológico según la definición clásica de Hutchinson (1957) para la *Araucaria araucana*. Se detalla su amplitud ecológica, en cuanto a variables climáticas, a través de la relación de información espacial explícita de las distribuciones geográficas de la especie y las variables ambientales mediante conjuntos de protocolos estadísticos comparados (RF, MAXENT, ANN, CTA, GAM, GBM, GLM, MARS, FDA y SRE)<sup>9</sup>,

escogiendo aquellos de mejor ajuste absoluto (best model) y ponderando ensambles de modelos de mejor ajuste (ensemble forecasting) con el uso del *software* BIOMOD (Thuiller, 2003) y MAXENT (Phillips *et al.*, 2006). Este proceso arroja una cartografía proyectada para todo el territorio nacional a escala espacial de tamaño mínimo cercano a 1 km<sup>2</sup>, para un escenario de clima contemporáneo.

**Figura 5: Estratos ecológico-genéticos *Araucaria araucana*. Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos**



**Fuente:** Imagen satelital de Google Earth. 2018. Modificado por Diego Alarcón, 2018.  
Conforme al mapa de Naciones Unidas.

<sup>9</sup> RF = Random Forest ; MaxEnt = es un software estadístico; ANN = Artificial Neural Networks; CTA = Classification Tree Analysis; GAM = Generalized Additive Models; GBM = Generalized Boosting Models; GLM = Generalized Linear Models; MARS = Multivariate Adaptive Regression; FDA = Flexible Discriminant Analysis; SER = Standard Error of the Regression.



# Artículo V

## La migración de la *Araucaria araucana*. Plan operacional

Roberto Ipinza C., Braulio Gutiérrez C., Sabine Müller-Using W.,  
María Paz Molina B., Jorge González C. y Hernán Soto G.  
Instituto Forestal, Chile



©INFOR/Roberto Ipinza

### Introducción

El cambio climático está afectando a muchas especies forestales en Chile, y sobresale entre ellas la *Araucaria araucana*, en la que el estrés integral (T° máxima de enero, T° mínima de julio, el déficit hídrico) (Santibáñez y Santibáñez, 2018) actúa como un factor de predisposición (Manion, 1981) que hace que esta especie pierda su vitalidad y sea afectada por hongos patógenos (Sanfuentes, *et al.*, 2018) que estarían provocando el daño foliar de la *Araucaria* (DFA). De acuerdo con Parra *et al.* (2018), más del 90% de la distribución biogeográfica de la especie está afectada por este síndrome, provocando incluso 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, la que fue sobrepasada por la presión del cambio climático. Por lo tanto, no es sorprendente que la idea de una migración asistida aparezca como una solución lógica y eficaz al problema de la adaptación, o

mejor dicho, 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 ni menos 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).

A continuación se describirá sucinta y fotográficamente el plan o procedimiento operativo de un ensayo complementario de progenie y procedencia de *Araucaria araucana* que marca el inicio de la migración asistida de esta especie en Chile. El ensayo se estableció durante septiembre-octubre de 2019 en la Reserva Forestal Coyhaique en la Región de Aysén. Otros ensayos se establecerán también en 2020 y 2021 en comunidades pehuenches, CONAF, empresas forestales, particulares y universidades, en forma individual o colaborativa.

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

# Procedimientos



Para iniciar el Programa de Migración Asistida de *Araucaria araucana*, se realizaron las siguientes acciones:

## 1. Presentación en el seminario

En la Figura 1 se muestran los integrantes de la Reunión Internacional del Daño Foliar de *Araucaria araucana* celebrada los días 7 al 9 de noviembre de 2017, en la ciudad de Villarrica,

Chile, en la que se aprueba que el SIMEF realice la conservación *ex situ* de la *Araucaria* mediante la migración asistida.

**Figura 1: Integrantes de la Reunión Internacional del Daño Foliar de la *Araucaria araucana*, celebrada en Villarrica, del 7 al 9 de noviembre de 2017**



©Corporación Nacional Forestal

Fuente: CONAF, 2017.



## 2. Prospección y capacitación

En el primer trimestre de 2018 se realizó una prospección y capacitación en asuntos fitosanitarios de la *Araucaria araucana* de personal especializado de CONAF al equipo de colecta de semillas de INFOR.

En la Figura 2 están los integrantes involucrados de ambas instituciones. De izquierda a derecha: Marcos Barrientos, Cristian Duchens, Patricio Rojas, Braulio Gutiérrez, Aida Baldini, Hernán Soto, Mónica González, Roberto Ipinza. Primer plano Jorge González.

**Figura 2: Asistentes a la capacitación de personal especializado de CONAF al equipo de colecta de semillas de INFOR (2018)**



©Instituto Forestal/Jorge González

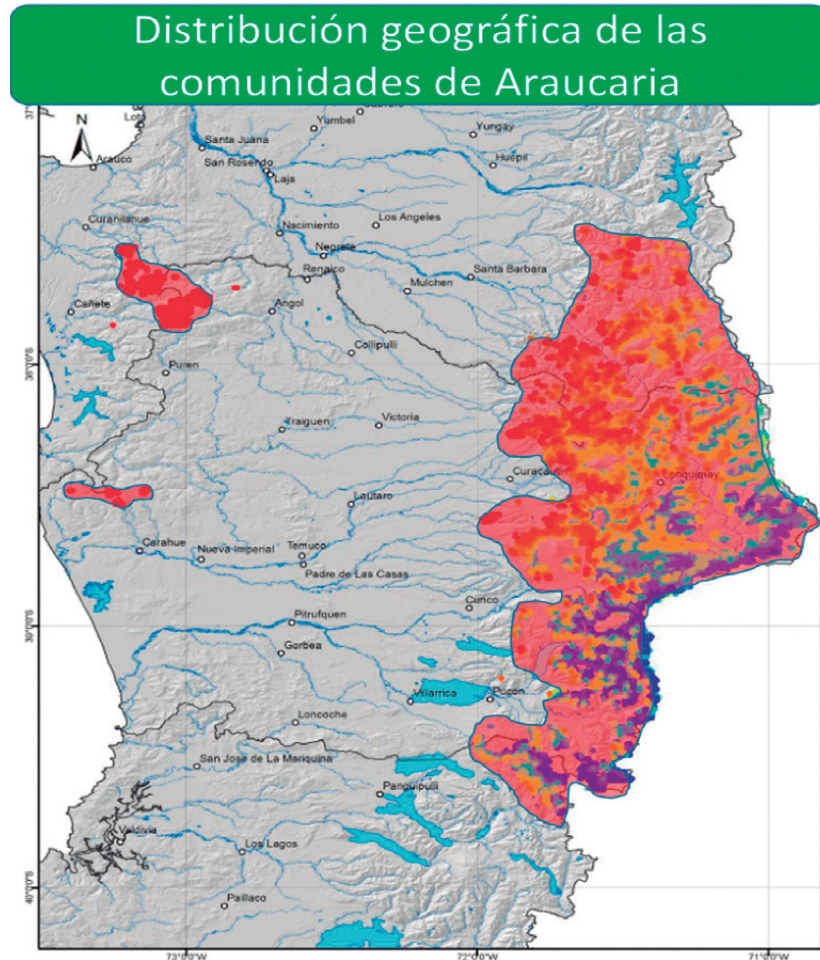
Fuente: Jorge González, 2018.

### 3. Identificación de la distribución de la *Araucaria* afectada por el cambio climático

En la Figura 3 se muestra la distribución de la *Araucaria* afectada por el cambio climático. El color rojo implica un mayor nivel de estrés climático integral (altas temperatura, bajas temperaturas y 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 desencadenan el daño foliar de la *Araucaria* (DFA), que en condiciones de pleno vigor de la *Araucaria* no le harían daño.

**Figura 3: Relación entre la distribución de la *Araucaria araucana* y el nivel del estrés climático integral. Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos**



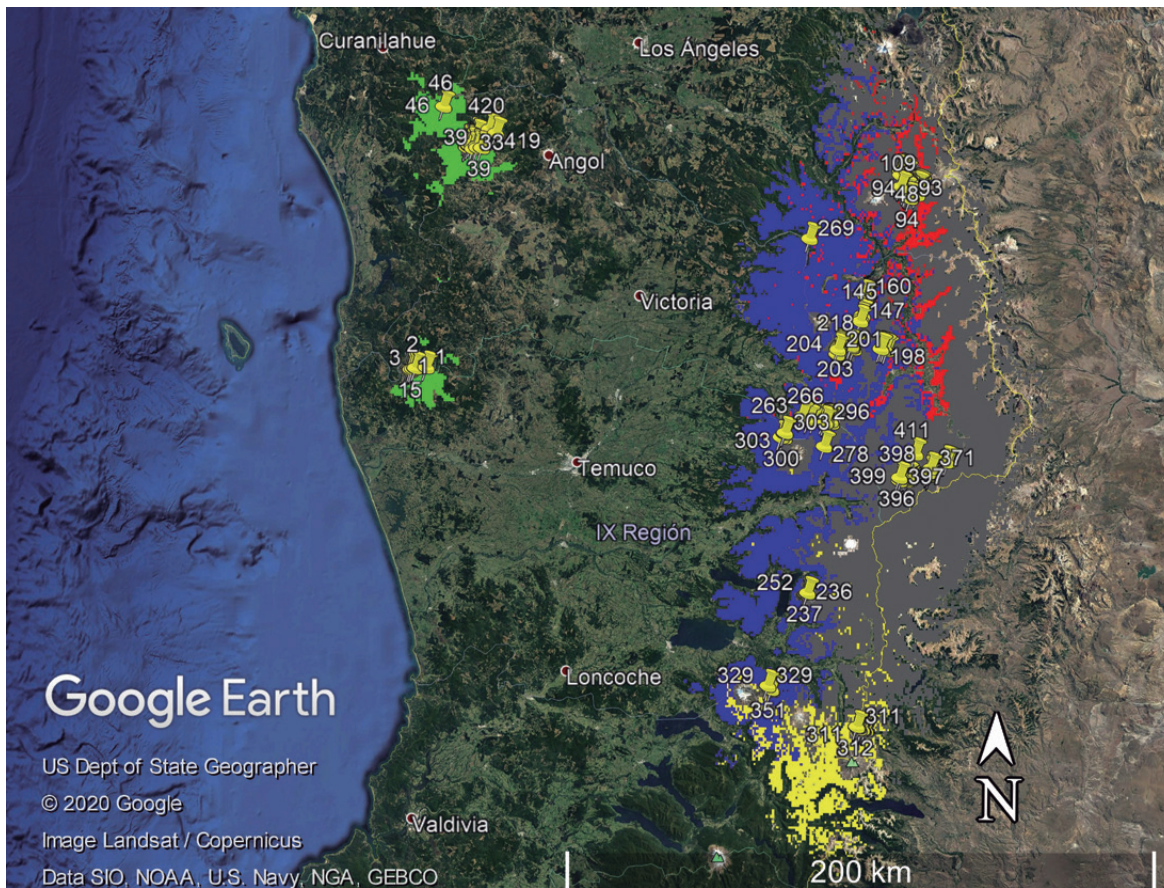
Fuente: Santibáñez y Santibáñez, 2018.  
 Conforme al mapa de Naciones Unidas.

#### 4. Colecta de Semillas de *Araucaria araucana*

En los acápite anteriores se ha presentado el protocolo básico de colecta de semillas de la especie y los antecedentes de 458 familias de la distribución natural colectadas en las temporadas 2018 y 2019. En la Figura 4

se muestran los puntos de cosecha de las 458 madres seleccionadas a lo largo de la distribución natural de *Araucaria araucana* en las zonas de procedencia Andes y Costa de Chile.

**Figura 4: Puntos de cosecha de las 458 madres seleccionadas a lo largo de la distribución natural de *Araucaria araucana* en las zonas de procedencia Andes y Costa de Chile. Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos**

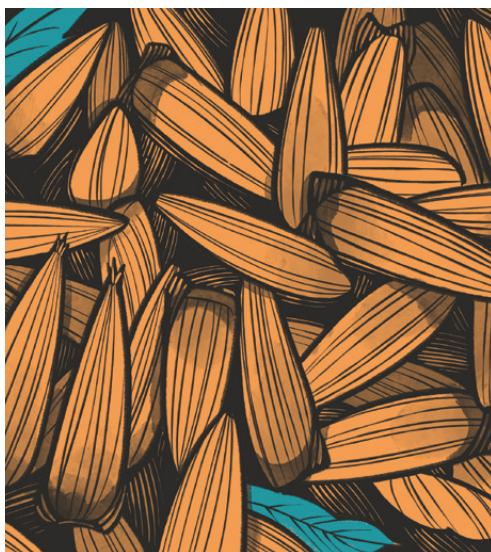


**Fuente:** Imagen satelital de Google Earth, 2020. Modificado por Jorge González, 2020. Conforme al mapa de Naciones Unidas.

## 5. Análisis de laboratorio de la semilla

Previo a la siembra, la semilla de cada una de las familias se guardó en una cámara de frío a 4 grados Celsius, y se realizó un análisis completo morfológico y fisiológico de la semilla. Los

detalles se muestran en el apartado “Evaluación de parámetros morfológicos y fisiológicos en semillas de *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch, Cosecha Temporada 2018”.



©Recrea



©Instituto Forestal/Laura Koch

NOTA: Ilustración de la izquierda: Piñones; fotografía de la derecha: el investigador Jorge González.

## 6. Viverización

Corresponde a la siembra de las semillas o piñones en contenedores de corteza de pino descompostada y sus respectivos cuidados culturales. A partir del 8 de junio de 2019, las semillas se encuentran en fase de desarrollo en el vivero Carlos Douglas de Forestal Mininco (Empresa CMPC).

A continuación se observa la firma del convenio de colaboración (INFOR-CMPC) y la siembra de la colección de semillas.



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza



NOTA: Plantas viverizadas de *Araucaria araucana*, al 8 de julio del 2019.

## 7. Micorrización artificial de plantas de *Araucaria araucana*

El día 8 de julio en el vivero Carlos Douglas de CMPC se realizó la micorrización artificial.

El trabajo fue desarrollado por el grupo de Mejoramiento y Conservación Genética de INFOR destacándose a:

- Patricio Chung, responsable de la producción de inculo del *Pisolithus tinctorius* (PT).
- Laura Koch y Jorge González ejecutaron el trabajo de la separación de 418 familias de *Araucaria araucana* de la cosecha 2018.
- Norma Báez y Juan Andrés Celhay, responsables de la coordinación logística por parte de CMPC.

- María Paz Molina y Braulio Gutiérrez coordinaron la actividad de micorrización artificial por inmersión.
- Juan Martínez de Aragón, experto en micosilvicultura de la Universidad de Lleida, prest  apoyo científico en esta importante actividad de innovación tecnológica.

La micorrización artificial permite dotar a las plantas de *Araucaria* de los enlaces biológicos radiculares que permitirán que ellas tengan una mayor resistencia a la presión de selección del cambio climático.



©Instituto Forestal/Roberto Ipinza

NOTA: De izquierda a derecha:

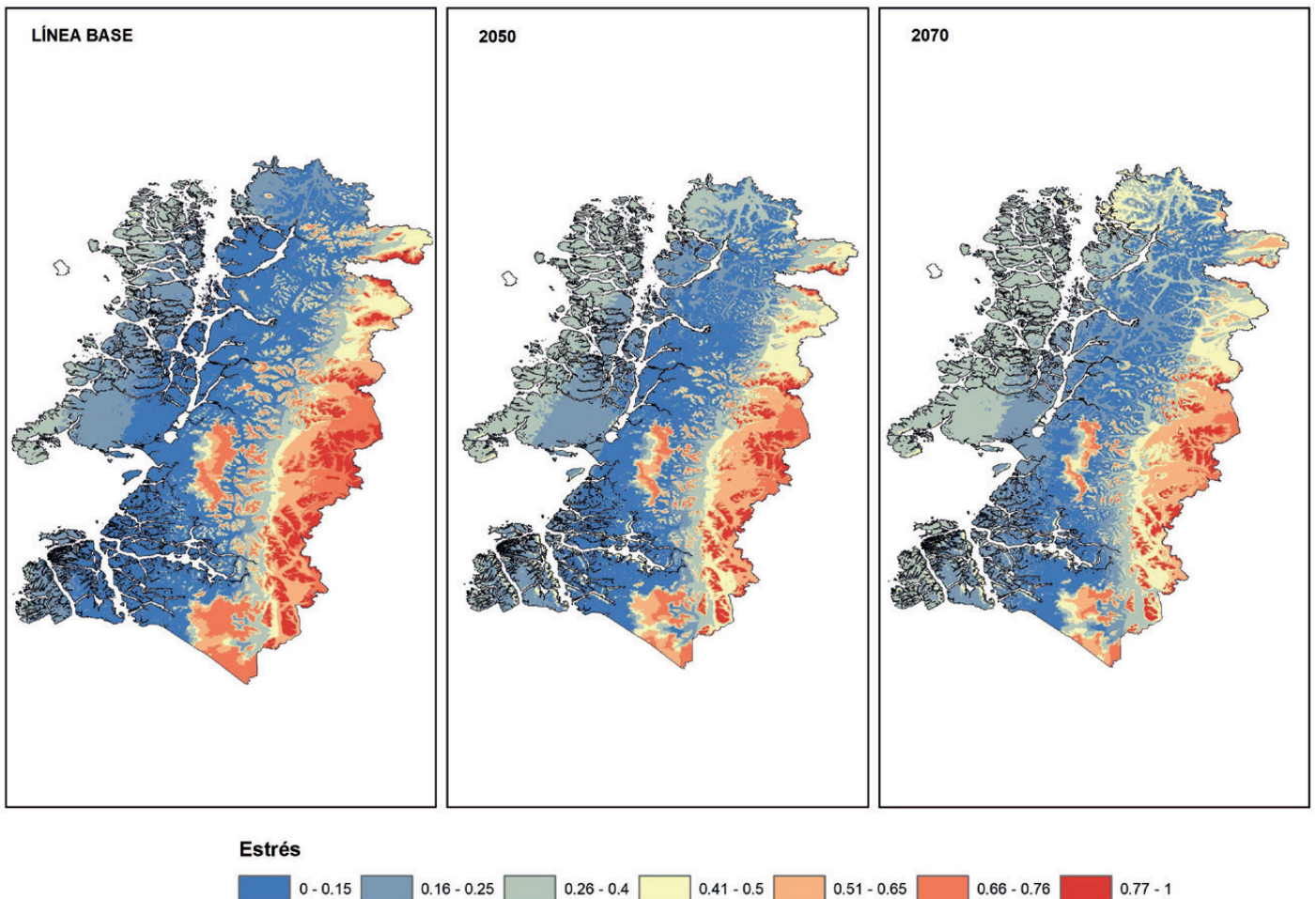
Imagen 1: Cuerpo frutal o esporocarpio del hongo *Pisolithus tinctorius*; Imagen 2: Medio de cultivo líquido con el micelio o cuerpo vegetativo del hongo; Imagen 3: Roberto Ipinza y Juan Martínez de Aragón; Imagen 4: Jorge González; Imagen 5: Grupo formado por María Paz Molina, Patricio Chung, Braulio Gutiérrez, Laura Koch, Juan Martínez de Aragón, Roberto Ipinza, Norma Báez, Juan Andrés Celhay y Jorge González; Imagen 6: Primer plano Patricio Chung; Imagen 7: Primer plano Braulio Gutiérrez; Imagen 8: Patricio Chung, Braulio Gutiérrez y Norma Báez; Imagen 9: Plantas de *Araucaria*.

## 8. Determinación de zonas de acogida

El Dr. Fernando Santibáñez realizó un estudio en Aysén sobre modelación de nicho ecológico para las condiciones climáticas de los próximos 50 años y así determinar las principales áreas de acogida de *Araucaria araucana*.

La Figura 5 representa una vista general de las proyecciones de cambio climático para el área de acogida de *Araucaria araucana* en la Región de Aysén. La zona azulosa es un área de mínimo estrés integral y la zona rojiza de máximo estrés.

**Figura 5: Área de acogida en la Región de Aysén de acuerdo a la línea base (1980 - 2015) y dos proyecciones de cambio climático, para el 2050 y 2070, respectivamente. El estrés integral varía desde el azul (poco estrés) al rojo (mucho estrés)**



Fuente: Santibáñez y Santibáñez, 2018.  
Conforme al mapa de Naciones Unidas.

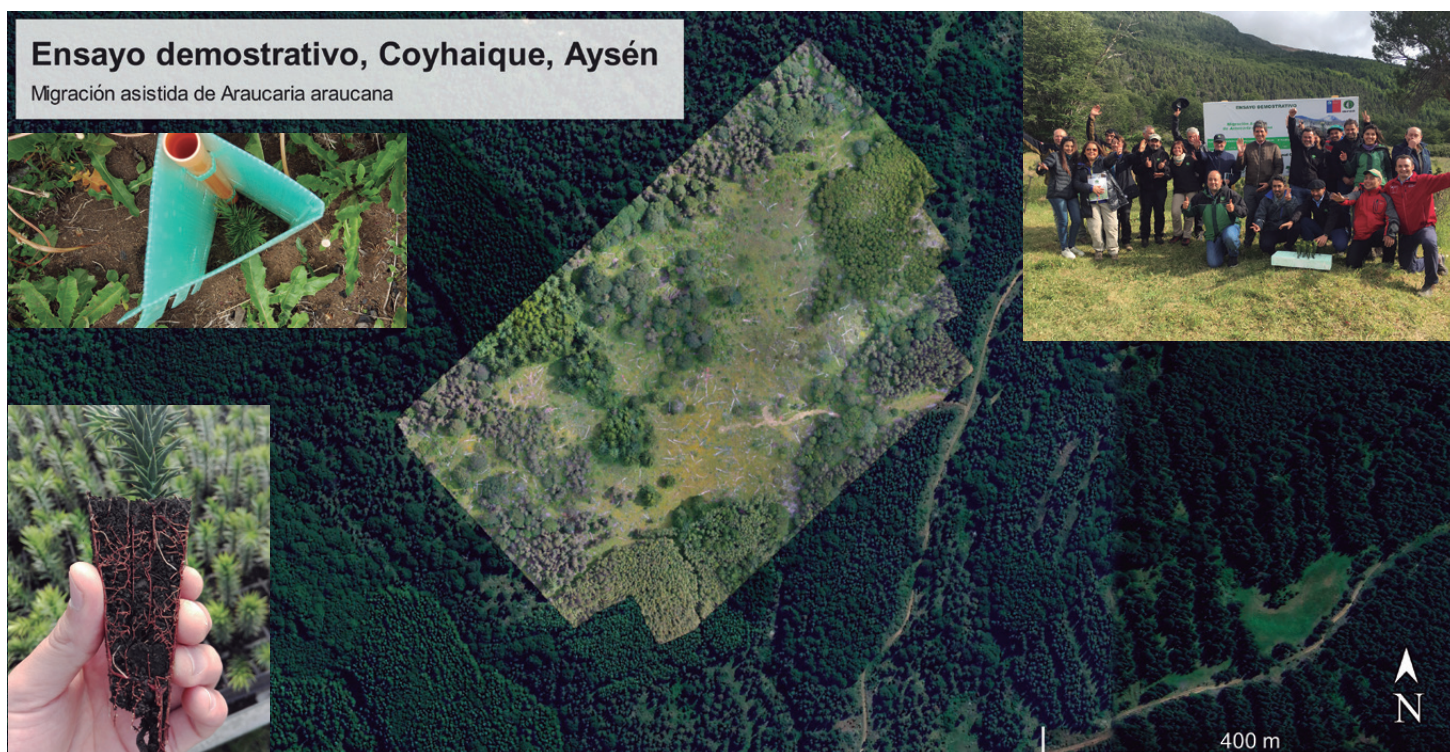
## 9. Ensayo complementario

En octubre del año 2019 se alcanzó a instalar un ensayo complementario en la Reserva Forestal Coyhaique, administrada por la Corporación Nacional Forestal. 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 un 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 m.s.n.m. y en coordenadas 266789 m E / 4953893 m S (Figura 6). El acceso es relativamente sencillo, pudiendo llegarse en vehículo desde dos sectores, a partir del 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 6: Inauguración del ensayo demostrativo de migración asistida de *Araucaria araucana* en la Reserva Nacional de Coyhaique, Aysén

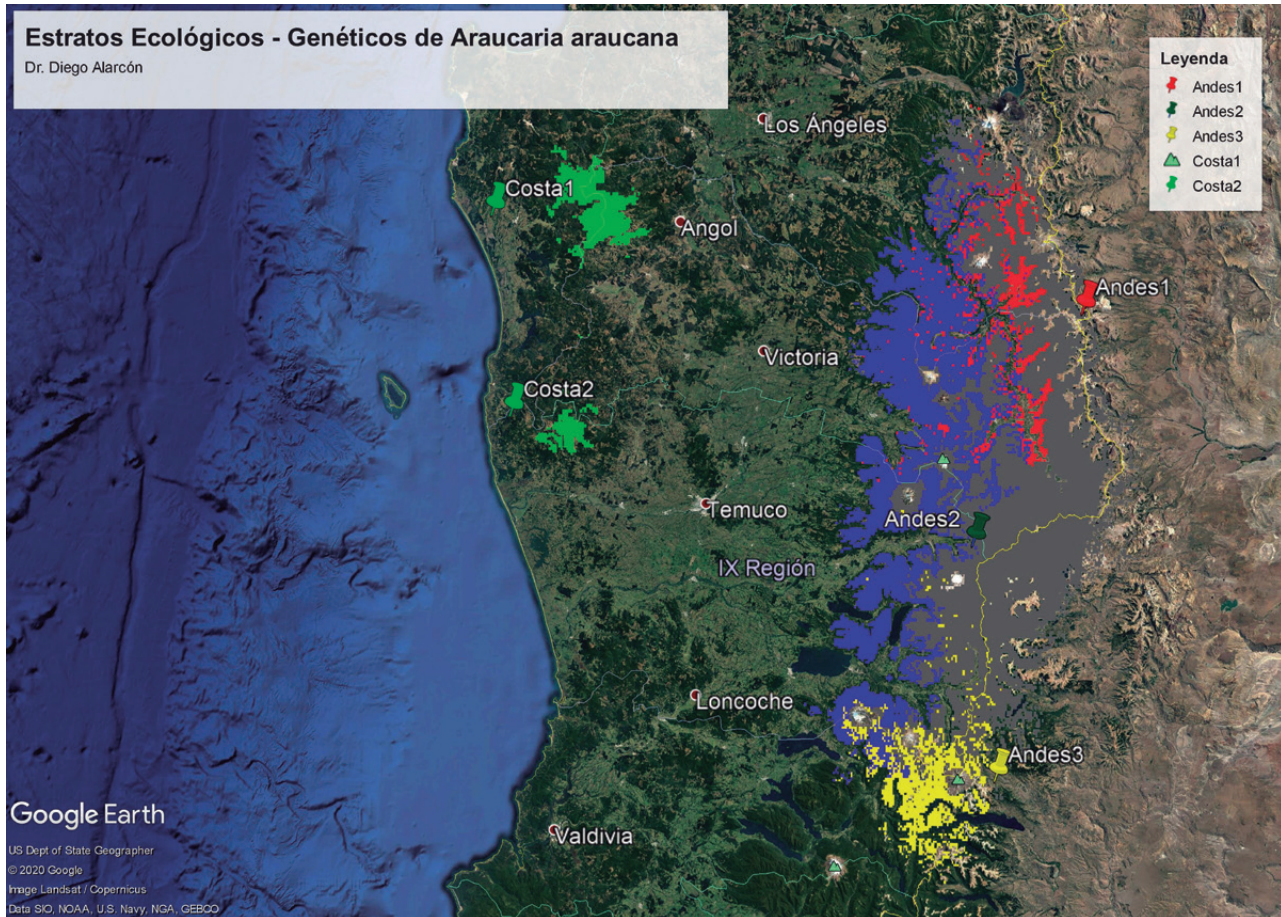


Fuente: Imagen satelital de Google Earth. 2020. Modificado por Jorge González. 2020.



El diseño del ensayo contempla establecer familias de 5 estratos genético-ecológicos diferenciados en la distribución natural de *Araucaria araucana*, los que para efectos prácticos se denominan como Zona 1, Zona 2, ..., Zona 5 (Figura 7).

**Figura 7: Delimitación de estratos genético-ecológicos en la distribución natural de *Araucaria araucana*. Regiones del Biobío, La Araucanía y límite norte de Los Ríos**



**Fuente:** Imagen satelital de Google Earth. 2020. Modificado por Diego Alarcón, 2020.  
Conforme al mapa de Naciones Unidas.

**NOTA:** ZONA 1: Costa 1, Nahuelbuta — ZONA 2: Costa 2, Villa Las Araucarias — ZONA 3: Andes 1, Nororientado (rojo) — ZONA 4: Andes 2, Norponiente (azul) — ZONA 5: Andes 3, Sur (amarillo)

Cada estrato (o zona) se representa con tres bloques, en cada uno de los cuales se dispone una planta de cada una de las familias pertenecientes a esa zona, a un espaciamiento de 5x5 metros, 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 1. Por su parte, en la Figura 8 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 9.

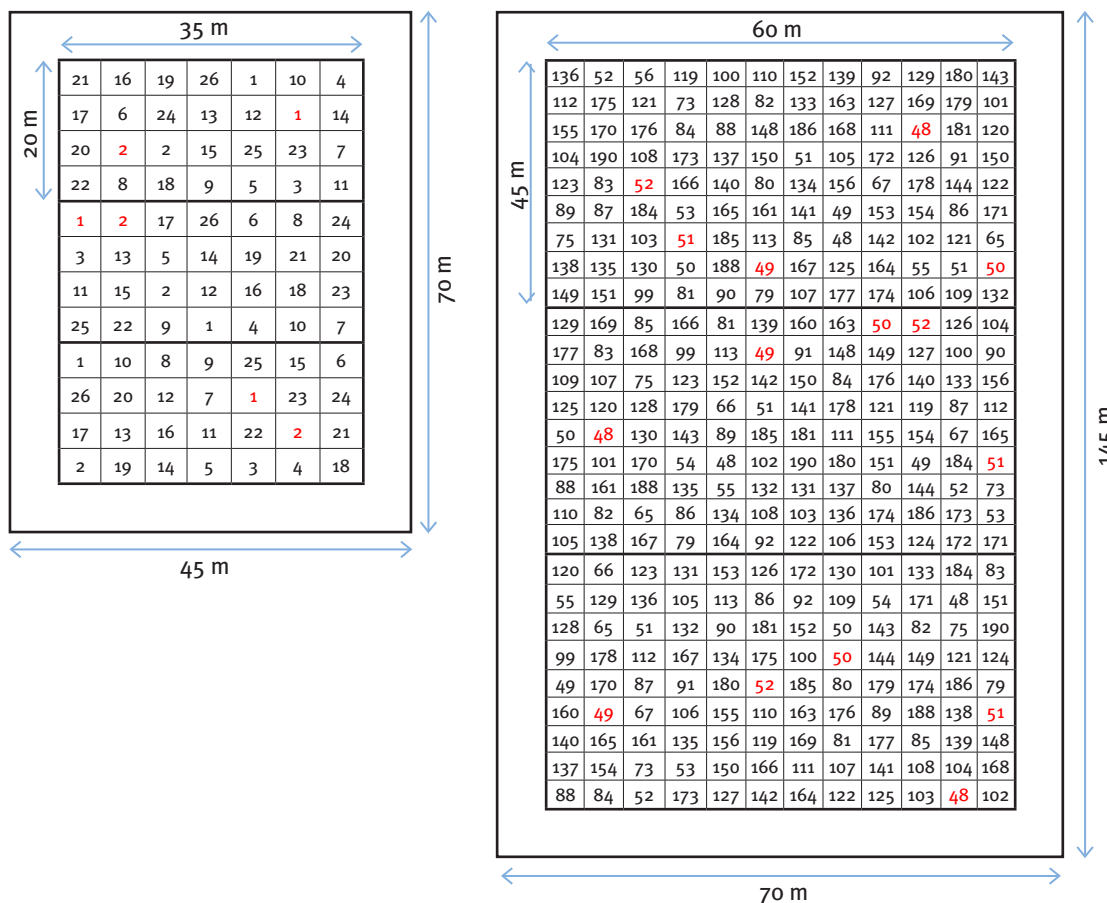


**Cuadro 1: Material genético y dimensiones de ensayos de Araucaria araucana en la Reserva Forestal de Coyhaique**

Estrato o zona	Material genético			Tamaño		N°mero 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
zona 3	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
<b>Total</b>					4,12 ha			1651

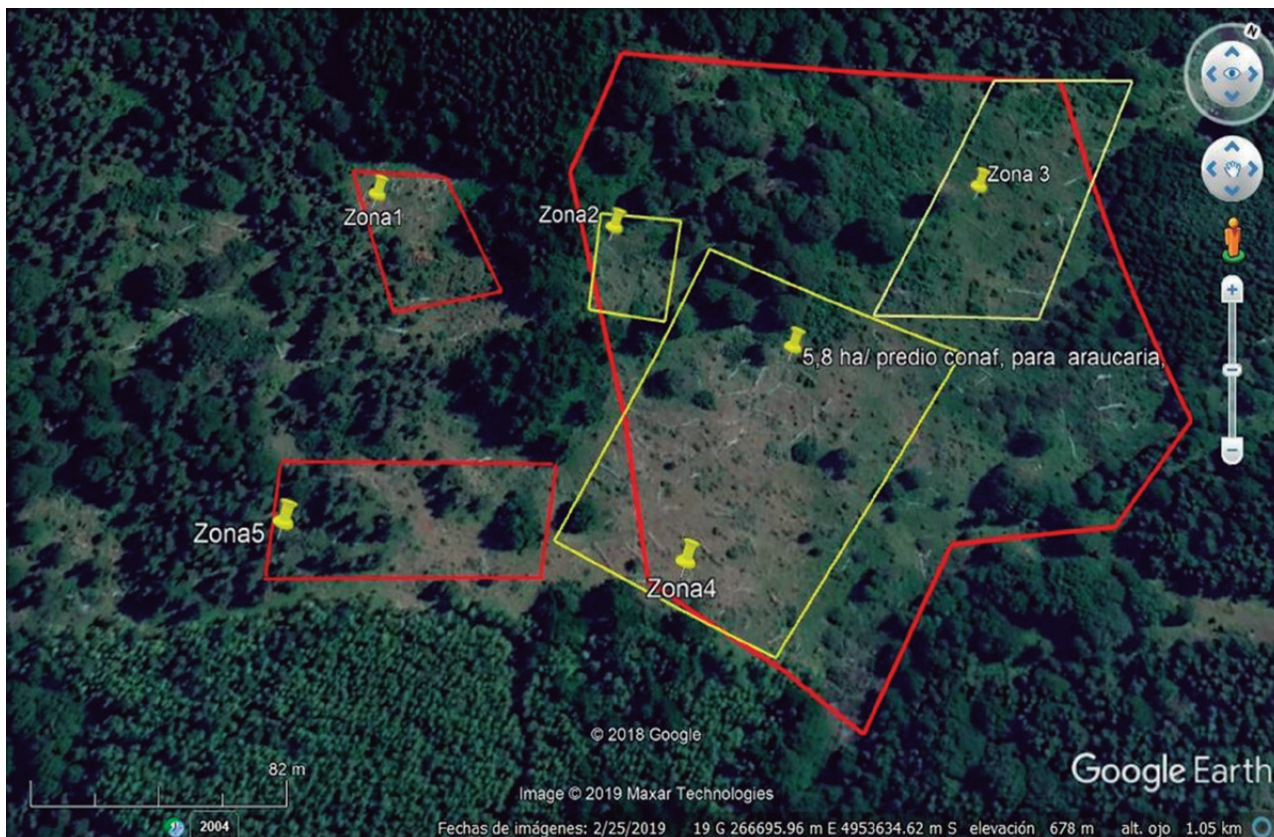
Fuente: INFOR, 2019.

**Figura 8: Detalle de la distribución de familias en los bloques de los ensayos correspondientes a la zona 2, Villa Las Araucarias (Izq.) y a la zona 3 Andes norponiente (Der.)**



Fuente: Diseño elaborado por Gutiérrez e Ipinza, 2019.

Figura 9: **Distribución de las zonas o estratos en el sitio de plantación de los ensayos de *Araucaria araucana* en la Reserva Forestal de Coyhaique, Región de Aysén, Chile**



Fuente: Imagen satelital de Google Earth. 2019. Modificado por Braulio Gutiérrez, 2019.

En cuanto a la operación para el establecimiento de estos ensayos, esta se realizó por gestión directa de personal INFOR. El procedimiento se realizó entre la última semana de septiembre y la primera de octubre de 2019:

- Preparación de sitio: quedó definida en la primera visita a terreno a comienzos de septiembre. Consiste en un roce liviano, eliminación y poda de algunos pinos para posteriormente realizar raspado del sector de las casillas y preparación de ellas.
- Transporte de plantas: las plantas se trasladaron desde vivero Carlos Douglas a fines de septiembre. Se transportaron por

tierra en camioneta, usando cajas cerradas, en cuyo interior se dispusieron pequeños paquetes de plantas identificados a nivel familiar, sin contenedor y usando gel higroscópico para mantener la humedad.

- La plantación del ensayo se realizó por personal de INFOR, con ayuda de jornales de terreno.

Colocación de *shelters*. Se instalaron por personal de INFOR a continuación o simultáneamente con la plantación, utilizando el mismo personal.

# Conclusiones



Se han ido cumpliendo con éxito todas las etapas del Programa 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. Sin lugar a dudas, el apoyo de la CONAF, Comunidades Pehuenches, CMPC, SIMEF, universidades e INFOR han sido claves en el éxito de esta iniciativa.

La migración asistida para el rescate de *Araucaria araucana* seguramente se convertirá en un modelo público-privado para abordar en forma efectiva la conservación de especies vulnerables o con similares estados de conservación.



© Instituto Forestal/Roberto Ipinza

# Agradecimientos



Los autores desean agradecer muy sinceramente a SIMEF (Sistema de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos), en especial a su Directora Nacional, Dra. Sabine Müller-Using, y al Secretario Ejecutivo, Sr. Jaime Valdés Castro, por sus diligentes esfuerzos en la concreción de la iniciativa de migración asistida para salvaguardar el potencial adaptativo de esta emblemática especie forestal. Además, quisiera destacar la prolija revisión del presente informe técnico por parte del señor Jaime Valdés Castro. También agradecemos a:

- Grupo de Mejoramiento y Conservación Genética de INFOR: Patricio Rojas, Braulio Gutiérrez, María Paz Molina, Jorge González, Hernán Soto, Laura Koch, Patricio Chung y Marco Barrientos.
- Sra. Aída Baldini, Mónica González, Luis Duchens, Julio Figueroa, Neftalí Soto, Leonardo Araya y Héctor Muñoz de la Corporación Nacional Forestal.
- Dr. Fernando Drake, profesor de la Universidad de Concepción.
- Dr. Rodrigo Hasbún, Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción.
- Dr. Carlos Magni, Facultad de Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile.
- Dr. Fernando Santibáñez, Agrimed, profesor de la Universidad de Chile.
- Sr. German Clasing, ex administrador del Centro de Mejoramiento Genético de Huillilemu de la Corporación Nacional Forestal.
- Sr. Andrés Bello, técnico y consultor privado.
- Dr. Dante Corti, especialista en Teledetección, ex INFOR.
- Sr. Eduardo Cayul, presidente de los Loncos de la comunidad de Lonquimay.
- Sr. Samuel Cayul, encargado del programa vínculo de la Municipalidad de Lonquimay.
- Joaquín Meliñer, encargado de Comunidades indígenas de la Municipalidad de Lonquimay.

- Pablo Palma, encargado de los programas de desarrollo social de la Municipalidad de Lonquimay.
- Sr. Juan Rosales, Lonco de Ralco, Ignacio Rosales, dirigentes, don José Córdova, comunero, y don José Balduivino Calpan, de la Corporación Nacional Forestal.
- Sr. Juan Andrés Celhay y Sra. Norma Báez de CMPC.
- Sr. Ivan Moya, Sra. Francisca Riquelme, Sra. Alicia Uribe, Sr. Bernardo Acuña y Sr. Jaime Salinas, todos de la sede Coyhaique de INFOR.
- Por último, a todos los administradores y guardaparques del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas con presencia de Araucarias de la Corporación Nacional Forestal.

# Referencias



Aitken, S., Yeaman, S., Holliday, J., Wang, T., y 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.

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

Parra, P., Baldini, A., del Río, A., Gianelli, L., Duchens, L., González, M., Menzel, Th., Gajardo, J., Lillo, F., y Puente, O. 2018. Daño foliar de la *Araucaria araucana*. Acciones desarrolladas por CONAF. Seminario “Daño foliar de *Araucaria araucana*” Corporación Nacional Forestal, Temuco 2018. 53.

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.

Santibáñez, F., y Santibáñez, 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.









Este documento forma parte de una serie de 21 publicaciones técnicas y refleja algunas de las actividades y resultados alcanzados durante cinco años de trabajo del proyecto Sistema Integrado de Monitoreo y Evaluación de los Ecosistemas Forestales Nativos (SIMEF), una iniciativa del Gobierno de Chile, con apoyo técnico de la FAO y financiamiento del Fondo para el Medioambiente Mundial (FMAM). La iniciativa ha implementado un inventario nacional incorporando las dimensiones biofísicas, socioeconómicas, biodiversidad y el cambio de uso de la tierra, consolidando finalmente un sistema de monitoreo y la evaluación del stock de carbono de los bosques chilenos.

Estas publicaciones se agrupan en protocolos técnicos, que sistematizan las diversas modalidades de inventario de los ecosistemas forestales nativos; informes técnicos con presentación de los resultados producto de la aplicación de estos protocolos y también se entrega un conjunto de manuales técnicos útiles para profesionales y propietarios en su trabajo de campo.

ISBN 978-92-5-133858-2



9 789251 338582

CB2901ES/1/03.21