

## RESUMEN

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

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

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

## SUMMARY

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

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

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

## INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ACTIVIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS DE CONSERVACIÓN DE ARAUCARIA

### Seminario Internacional sobre el Daño Foliar en Araucaria

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



### Capacitación Fitosanitaria de Colectores de Semillas

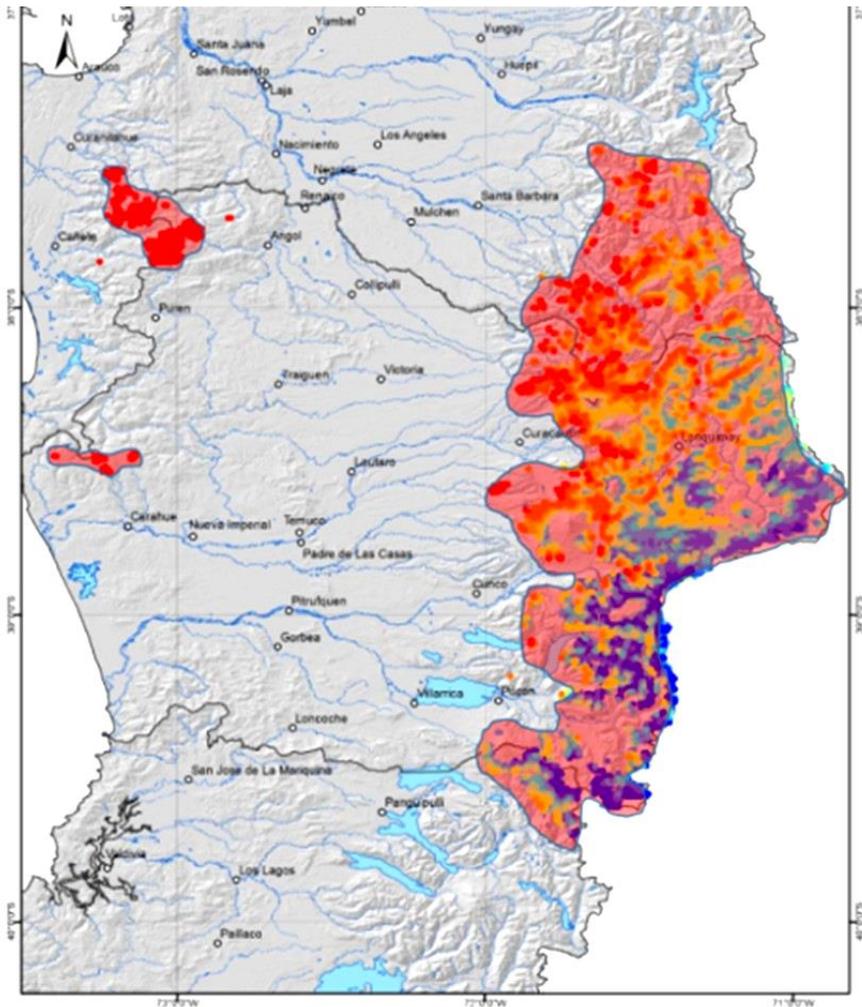
En el primer trimestre del 2018 se realizó una prospección y una capacitación en aspectos fitosanitarios de la araucaria de personal especializado de CONAF al equipo de colecta de semillas de INFOR.



### La Relación entre Cambio Climático y Daño Foliar en Araucaria

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

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



(Rojo: Áreas de mayor estrés climático)

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

### Muestreo y Colecta de Semillas

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

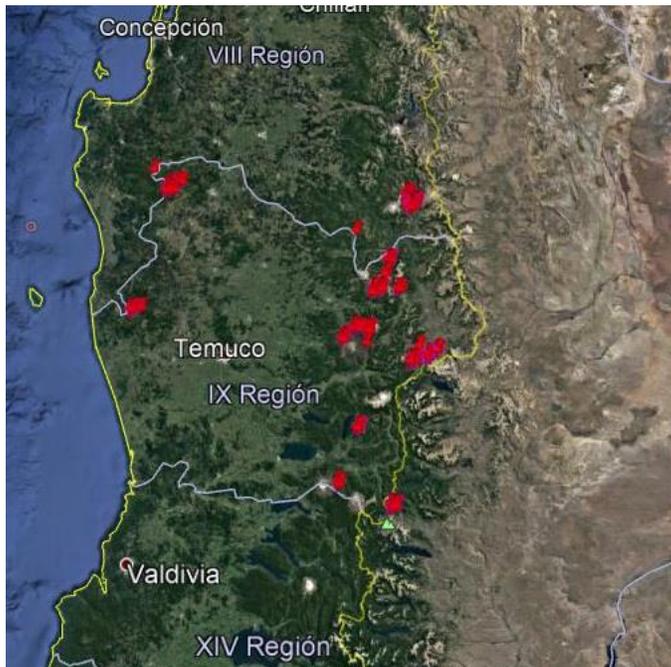


Figura N° 2  
PUNTOS DE COSECHA DE SEMILLAS EN ÁREAS DE COSTA Y DE ANDES

### Análisis de Laboratorio de la Semilla

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



Figura N° 3  
ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS DE SEMILLAS

## Viverización

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



**Figura N° 4**  
**FIRMA CONVENIO COLABORACIÓN INFOR - FORESTAL MININCO**



(8 de Julio del 2019)

**Figura N° 5**  
**VIVERIZACIÓN DE PLANTAS VIVERO FORESTAL MININCO**

## Micorrización de Plantas

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

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



Figura N° 6  
MICORRIZACIÓN DE PLANTAS POR INMERSIÓN

## Determinación de Zonas de Acogida

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

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

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

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

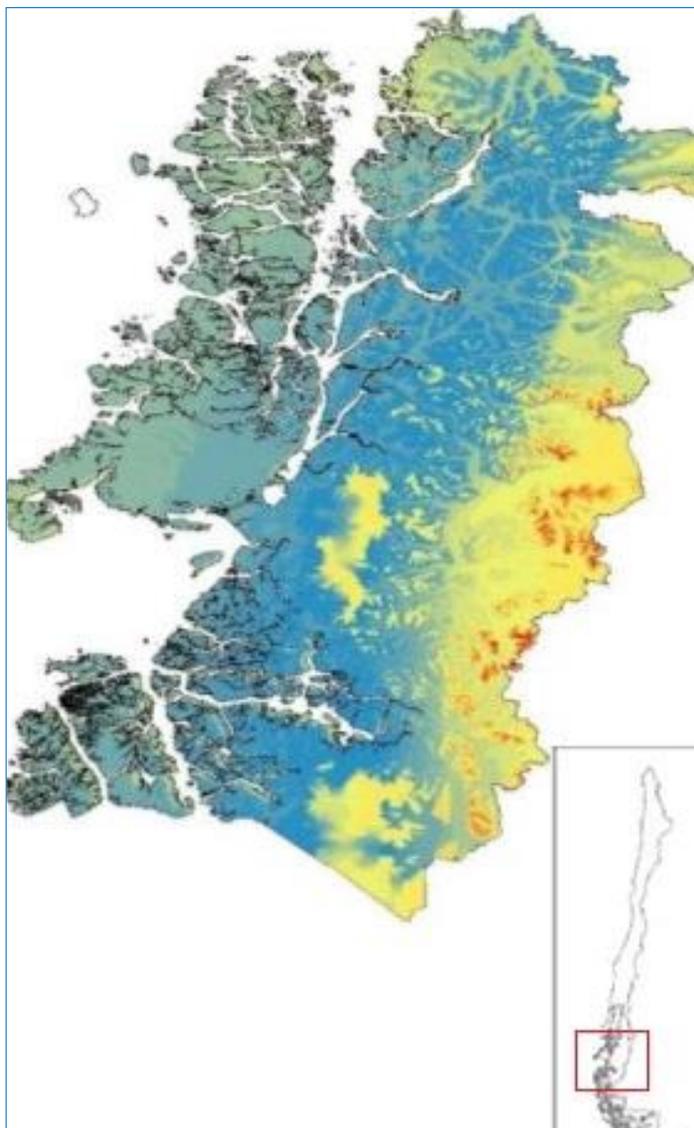
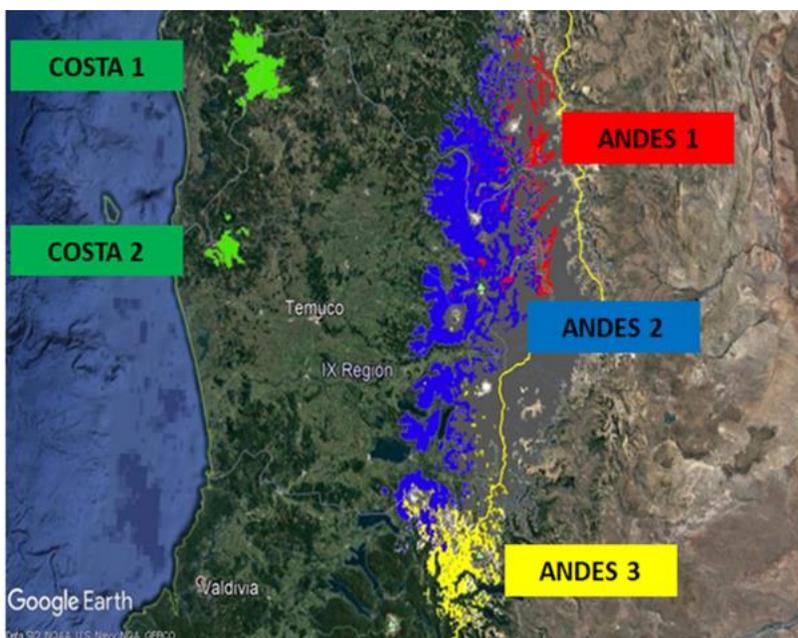


Figura N° 7  
ÁREA DE ACOGIDA DE MÍNIMO ESTRÉS PARA ARAUCARIA (ÁREAS AZULOSAS)

## Diseño de Ensayos de Conservación de Araucaria

### - Ensayo Principal

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



(Fuente: Alarcón, 2019 documento en preparación)

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

Figura N° 8

### DELIMITACIÓN DE ESTRATOS GENÉTICOS-ECOLÓGICOS EN DISTRIBUCIÓN NATURAL DE ARAUCARIA

### - Ensayo Complementario

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

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

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



**Figura N° 9**

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

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

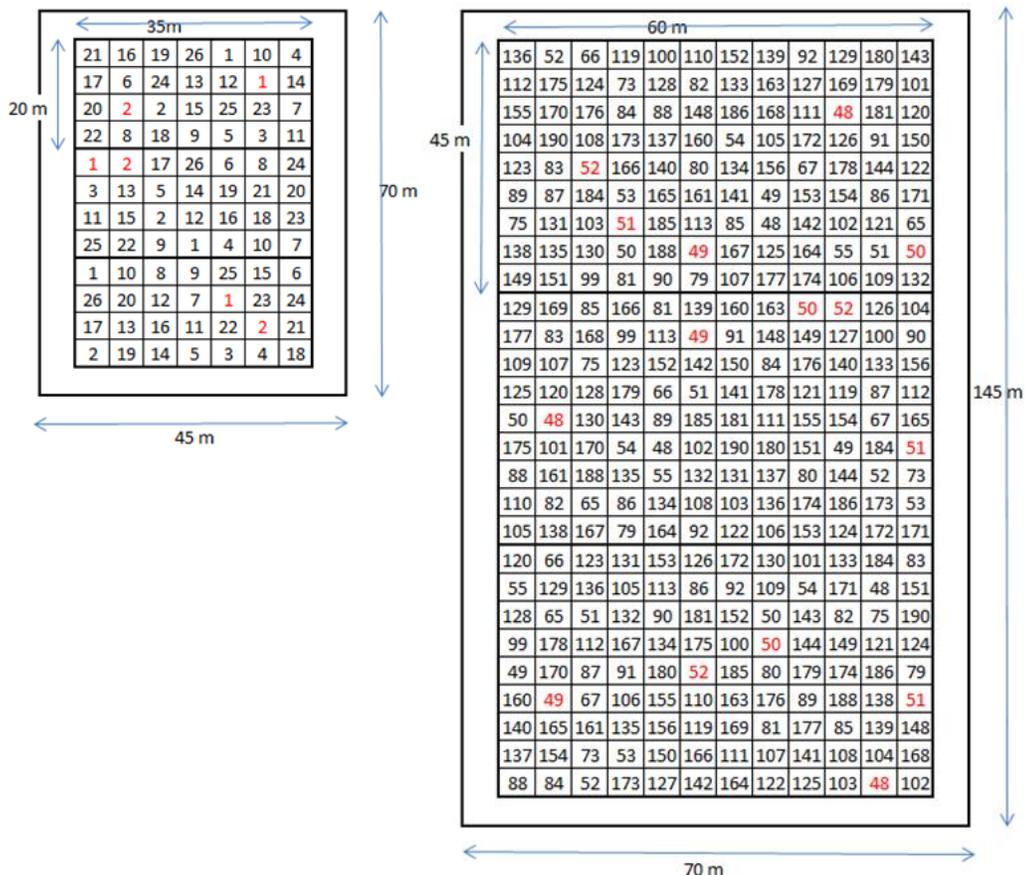
Cada estrato (o zona) se representa con tres bloques, en cada uno de los cuales se dispone una planta (una planta una parcela = Single Tree Plot STP) de cada una de las familias perteneciente a esa zona, a un espaciamiento de 5 x 5 m totalizando 3 plantas de cada familia por zona y rodeado por una hilera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

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

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

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

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



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

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

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



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

## CONCLUSIONES

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

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

## RECONOCIMIENTOS

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

INFOR quiere reconocer la participación y apoyo de:

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

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

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

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

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

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



## REFERENCIAS

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

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

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

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

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

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

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