

---

## GESTIÓN DE RIESGO COMO HERRAMIENTA PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES DE *Nothofagus alessandrii*, UNA ESPECIE EN PELIGRO DE EXTINCIÓN DE CHILE CENTRAL

---

Rómulo Santelices Moya, Sergio Espinoza Meza, Antonio Cabrera Ariza y Carlos Magni Díaz

### RESUMEN

El cambio climático es una amenaza global que está afectando diversas formaciones boscosas, con la consiguiente pérdida de servicios ecosistémicos y perjuicio en la calidad de vida de los habitantes. Ante la presencia recurrente de desastres naturales, es deseable contar con políticas para enfrentar las consecuencias de ello, siendo la gestión de riesgo una herramienta para tales efectos. Ante la amenaza que significa el cambio climático en la pérdida de servicios ecosistémicos, en este trabajo se analiza la información disponible y las necesidades y prioridades de investigación para estar preparados y capacitados para mitigar los efectos de la pérdida y fragmentación de los bosques de *Nothofagus alessandrii* Espinosa (ruil), una espe-

cie en peligro de extinción y con altos niveles de endogamia. A fin de lograr la conservación de los bosques remanentes y los recursos genéticos de esta especie, se propone una gestión de riesgo en tres áreas: 1) planificación territorial a fin de reducir la ocurrencia y propagación de incendios forestales, 2) incremento del conocimiento sobre los factores que moldean la diversidad genética y adaptativa de la especie, y algunos aspectos de su biología reproductiva y 3) evaluación más detallada de los actuales niveles de diversidad y diferenciación genética de las poblaciones de ruil. El conocimiento de estos y otros factores permitiría gestionar y anticiparse a las amenazas que podría experimentar la especie en el futuro.

---

### Introducción

En Chile, como consecuencia de la variación latitudinal y altitudinal, sumado a la influencia moderadora que ejerce el mar y la presencia de las Cordilleras de los Andes y de la Costa, existe una amplia variedad de situaciones geográficas,

las que a su vez dan origen a numerosas condiciones de mesoclima. En este contexto, es posible encontrar una variada vegetación, pasando por estepas y desiertos hasta selvas lluviosas.

La zona mediterránea es una de las de mayor interés científico debido a la gran diver-

sidad de especies endémicas que contiene, siendo considerada como un *hot spot* pues su biodiversidad ha disminuido a niveles críticos en densidad, dominancia y variabilidad, fundamentalmente por factores antropogénicos (Myers *et al.*, 2000). Un tipo particular de formación boscosa presente en

esta zona es conocido como 'bosque maulino', en el que se destaca la presencia de varias especies del género *Nothofagus*.

El área de distribución natural de este sistema forestal se ha visto fuertemente disminuida por la transformación del paisaje debido a la presencia

---

**PALABRAS CLAVE / Cambio Climático / Gestión de Riesgo / Mitigación / Pérdida de Biodiversidad / Servicios Ecosistémicos /**

Recibido: 29/05/2017. Modificado: 31/01/2018. Aceptado: 02/02/2018.

**Rómulo Santelices Moya.** Ingeniero Forestal, Universidad de Talca, Chile. Doctor, Universidad de Córdoba, España. Profesor, Universidad Católica del Maule (UCM), Chile. Dirección: Centro del Secano,

Universidad Católica del Maule, Avda. San Miguel 3605, Talca, Chile. email: rsanteli@ucm.cl

**Sergio Espinoza Meza.** Ingeniero Forestal, UCM, Chile. Doctor, Universidad de Chile. Profesor, UCM, Chile.

**Antonio Cabrera Ariza.** Ingeniero de Montes, Universidad de Córdoba, España. Doctor, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italia. Profesor, UCM, Chile.

**Carlos Magni Díaz.** Ingeniero Forestal, Universidad de Chile.

Doctor, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Montpellier, Francia. Profesor, Universidad de Chile.

## RISK MANAGEMENT AS A TOOL FOR THE CONSERVATION OF THE FORESTS OF *Nothofagus alessandrii*, AN ENDANGERED SPECIES OF CENTRAL CHILE

Rómulo Santelices Moya, Sergio Espinoza Meza, Antonio Cabrera Ariza and Carlos Magni Díaz

### SUMMARY

Climate change is a global threat affecting diverse forest formations, with the consequent loss of ecosystem services and quality of life of the inhabitants. Given the recurrent presence of natural disasters, having policies to deal with their consequences is desirable, risk management being a tool to such effects. In the face of climate change threats over the loss of ecosystem services, this paper aims to analyze the available information and research needs and priorities in order to be prepared and trained to mitigate the effects of fragmentation and loss of forests of *Nothofagus alessandrii* Espinosa (Ruil), an en-

dangered and highly inbred species. To achieve the conservation of the remaining forests and the genetic resources of this species, a risk management program is proposed in three areas: 1) territorial planning for fire reduction and propagation, 2) increased knowledge about factors that shape the genetic and adaptive diversity of the species, and some aspects of its reproductive biology, and 3) thorough analysis of genetic diversity and differentiation of the ruil populations over time. The knowledge of these and other factors will allow managing and anticipating future threats of the species.

## A GESTÃO DE RISCO COMO UMA FERRAMENTA PARA A CONSERVAÇÃO DE FLORESTAS DE *Nothofagus alessandrii*, UMA ESPÉCIE EM EXTINÇÃO NA REGIÃO CENTRAL DO CHILE

Rómulo Santelices Moya, Sergio Espinoza Meza, Antonio Cabrera Ariza e Carlos Magni Díaz

### RESUMO

A mudança climática constitui uma ameaça global que na atualidade afeta várias formações florestais, com a consequente perda dos serviços dos ecossistemas, prejudicando assim a qualidade de vida. Dada a presença recorrente de desastres naturais, é desejável contar com políticas que permitam enfrentar suas consequências, onde a gestão de risco é uma ferramenta para essa finalidade. Diante da ameaça que representa a mudança climática no que diz respeito à perda dos serviços ecossistêmicos, no presente trabalho são analisadas as informações disponíveis além das necessidades e as prioridades da pesquisa com o propósito de estarmos preparados e capacitados para mitigar os efeitos decorrentes da perda e fragmentação das florestas de *Nothofagus alessandrii* Espinosa

(ruil), uma espécie ameaçada de extinção com elevados níveis de endogamia. Visando a conservação das florestas remanescentes e os recursos genéticos desta espécie, é proposta uma gestão de risco em três áreas: 1) planejamento territorial para reduzir a ocorrência e a propagação dos incêndios florestais, 2) incremento do conhecimento acerca dos fatores que delimitam a diversidade genética e adaptativa da espécie, além de alguns aspectos da sua biologia reprodutiva, e 3) avaliação ainda mais detalhada dos atuais níveis de diversidade e diferenciação genética das populações de ruil. O conhecimento destes e outros fatores possibilitaria uma adequada gestão e antecipação face as ameaças que eventualmente poderia enfrentar a espécie no futuro.

recorrente del fuego, a la deforestación para habilitar terrenos destinados a la agricultura y, más recientemente, por el establecimiento de plantaciones con especies de rápido crecimiento. Estos disturbios han tenido como consecuencia la reducción y fragmentación de los bosques nativos allí presentes y, en este contexto, los bosques de *N. alessandrii* no han estado ajenos a esta presión por parte del hombre, llegando a tener la reputación de ser el árbol más amenazado del país (Hechenleitner *et al.*, 2005). Los fragmentos remanentes se encuentran en su mayoría intervenidos y altamente deteriorados como hábitat y refugio de la biodiversidad asociada (San Martín y Sepúlveda, 2002; Olivares

*et al.*, 2005). Uno de los resultados de este largo proceso de transformación del paisaje ha dado paso a que *N. alessandrii* sea clasificada como especie en peligro de extinción (Barstow *et al.*, 2017).

El bosque maulino es un patrimonio social, cultural y económico de la Región del Maule. Al igual que todos los bosques, cumple otro rol como es la generación de servicios ecosistémicos o ambientales, los que cada vez adquieren mayor importancia y son más valorados por la sociedad. Entre estos servicios se incluyen la producción de madera, la regulación y provisión de agua en calidad y cantidad, la captura de carbono, la conservación de los suelos y de la diversidad biológica, y las

oportunidades para el turismo y la recreación (Lara *et al.*, 2010). Considerando que el cambio climático se convertirá en un problema cada vez más dominante en la crisis de la biodiversidad (Maxwell *et al.*, 2016), esta amenaza también perjudicaría directamente el bienestar de las personas al afectar la producción de los servicios ambientales que los bosques generan. Si no se controla la pérdida de biodiversidad, se podrían desestabilizar los esfuerzos tendientes a lograr un desarrollo sostenible a largo plazo, afectando negativamente el funcionamiento de los ecosistemas y la sostenibilidad de las sociedades humanas (Newbold *et al.*, 2016).

El cambio climático global es una realidad que se manifiesta

fundamentalmente en un aumento de la temperatura y en la alteración del régimen de las precipitaciones (IPCC, 2013). Esto está afectando a las formaciones boscosas y, en consecuencia, a la producción de servicios ecosistémicos o servicios ambientales. Uno de los ejemplos más reportados es lo que se ha conocido como 'decaimiento de la encina', que ha afectado a las dehesas de España y Portugal (Brasier, 1996; Carnicer *et al.*, 2011) y de algunos pinares también en la península ibérica (Camarero *et al.*, 2012). Un fenómeno similar se ha visto en Chile en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (Duran *et al.*, 2008). Otra de las consecuencias del cambio en el clima es el mayor riesgo de ocurrencia de incen-

dios forestales por efecto del aumento de la temperatura y prolongados periodos de sequía. Esto se pudo evidenciar en la Región del Maule en el verano de 2017, en donde un solo incendio consumió alrededor de 180.000ha de sistemas agrícolas y forestales en pocos días, incluyendo parte importante de los bosquetes remanentes de *N. alessandrii* (Valencia, 2017).

En este contexto, la conservación de los recursos genéticos forestales es una tarea prioritaria, especialmente para aquellos sistemas más vulnerables como el de *N. alessandrii*. Para ello es necesario conocer, entre otros factores, la diversidad genética neutral y adaptativa de las poblaciones que lo conforman, el flujo génico entre éstas y los factores que controlan la floración, polinización y fructificación. Dada la creciente amenaza del aumento en los eventos de sequía, también es de especial interés conocer el grado de respuesta de la especie frente a factores abióticos como el estrés hídrico. Esto todavía es un trabajo pendiente que debe ser abordado con el fin de prepararse ante la amenaza que significa la pérdida de biodiversidad como consecuencia del cambio climático. Estar capacitados para mitigar los efectos de un desastre natural se conoce como gestión de riesgo y debería formar parte del quehacer de las organizaciones gubernamentales. Conocer las características y limitaciones ecológicas de las especies que componen una formación boscosa es fundamental para desarrollar planes de restauración o conservación y generar una herramienta para gestionar el riesgo (English y Keith, 2015; Keith, 2015; Wardle *et al.*, 2015) ante la amenaza de pérdida de biodiversidad por efecto de cualquier disturbio, tal como lo es el cambio climático.

Por ello, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión del estado actual del conocimiento acerca de *N. alessandrii*, con el fin de proponer lineamientos que permitan responder en forma temprana y eficiente ante la amenaza que

significa el cambio climático para esta formación boscosa.

### **Descripción de la Especie, Usos y Estado de Conservación**

#### *Taxonomía y características botánicas*

El esquema jerárquico de la clasificación de la especie (Olivares *et al.*, 2005) es: División: Spermatophyta; Subdivisión: Magnoliophyta; Clase: Magnoliopsida; Orden: Fagales; Familia: Nothofagaceae (=Fagaceae); Género: *Nothofagus*; Subgénero: *Fucospora*; Especie: *Nothofagus alessandrii* Espinosa. Sinónimos botánicos: *Fagus glauca* Phil., *Nothofagus megalocarpa* Reiche, *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. var. *glauca* (Phil.) Reiche. Nombre común: ruil.

Heenan y Smissen (2013) han sugerido una nueva clasificación para las especies del género *Nothofagus*, en la cual ruil pasaría a llamarse *Fucospora alessandrii* (Espinosa) Heenan & Smissen.

#### *Características del árbol*

*Nothofagus alessandrii* es un árbol que puede llegar a medir hasta 30m de altura y 1m de diámetro, aunque hoy en día es difícil encontrar árboles con más de 50cm de diámetro debido al proceso histórico de degradación. Su corteza es de color gris claro con grietas irregulares. Las hojas son de lámina simple, de posición alterna a subopuesta en las ramas, con márgenes dentados-espinosos, con una longitud entre 7 y 13cm y un ancho de 4-9cm. Los individuos son diclino-monoicos, con las flores masculinas y femeninas en posición axilar. Su fruto es una nuez que contiene de 3 a 7 semillas de 6-7mm de largo, sésiles, aladas, trígono-laterales, comprimidas las centrales (Rodríguez y Quezada, 2003; San Martín *et al.*, 2013).

#### *Fenología*

*Nothofagus alessandrii* es una especie caducifolia que,

como estrategia para un mejor aprovechamiento de los nutrientes, inicia antes que sus competidores los procesos de brotación y abscisión de sus hojas (San Martín *et al.*, 2013).

El crecimiento vegetativo de la especie se inicia a fines del periodo invernal y cuando aún se encuentra desprovisto de hojas. La hinchazón de las yemas florales comienza a mediados de agosto y su explosión a fines del mismo mes e inicio de septiembre dando paso a la antesis o floración. La floración ocurre poco antes de la formación de las hojas y se extiende desde fines de agosto a principios de octubre, con mayor expresión a mitad de septiembre. Este hecho es coincidente con el estado de reposo de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, especie con la cual puede compartir su hábitat, la cual expande sus yemas e inicia la floración cuando ya *N. alessandrii* ha desarrollado completamente su follaje. Ese desfase evita una sobreposición de lluvia polínica. La fructificación y madurez de las nueces se inicia a fines de enero e inicios de febrero del año siguiente. Se desconoce la edad de fructificación en condiciones naturales en su área de distribución natural. No obstante, en jardines y bajo condiciones de riego en primavera y verano, y protegidos de la insolación directa, se ha observado que la floración y fructificación comienzan a partir de los 10 años de edad. Las nueces son de coloración café a amarillo oscuro, portando semillas que llenan su cavidad ovárica (San Martín *et al.*, 2013). La morfología de las nueces determina que el patrón de dispersión sea muy pobre y quede fundamentalmente reducido al medio terrestre aéreo-seco y no acuático. Ello determina que dicho patrón sea, principalmente, por gravedad (Hill y Jordan, 1993) y en pequeña proporción por el viento. La dispersión anemócora no es eficiente a causa del reducido tamaño de las alas y el obstáculo de árboles vecinos de la matriz de los dispersores (San Martín *et al.*, 2013).

El sistema de compatibilidad reproductiva de la especie no es bien conocido; no obstante, es razonable asumir que sea similar al de sus congéneres más cercanos; es decir, polinización por viento, incompatibilidad para autofertilización y fecundación predominantemente cruzada (Arnold *et al.*, 2009; Donoso *et al.*, 2013).

#### *Distribución*

Se trata de una especie endémica de la Cordillera de la Costa de la Región del Maule, Chile Central, con un área de distribución restringida a las laderas de umbría, con una extensión discontinua de menos de 100km. El límite septentrional se encuentra en la localidad de Huelón (35°05'S y 72°04'O), Curepto, provincia de Talca, mientras que el meridional está en la ribera norte del río Curanilahue, comuna de Chanco, provincia de Cauquenes (35°49' y 72°31'O). La distribución espacial del área no es continua y se pueden distinguir dos grandes subunidades interfluviales. La primera es la subárea extendida entre los ríos Mataquito y Maule, y la segunda desde el Maule al río Curanilahue. Además, en cada una de ellas y a causa de la heterogeneidad del relieve costero, se observan secciones menores canalizadoras de otros cursos fluviales. La superficie actual no supera 314ha de bosquetes muy fragmentados e insertos en una matriz de bosques de especies de rápido crecimiento (Santelices *et al.*, 2012a). No obstante, cifras preliminares indican que el 50% de esa superficie habría desaparecido producto de los incendios forestales registrados en Chile durante el mes de enero de 2017. A diferencia de otros *Nothofagus*, el ruil no sigue un patrón de distribución continua o clinal (Santelices *et al.*, 2009).

#### *Usos y valor potencial de los árboles*

*Nothofagus alessandrii* es una especie protegida por la normativa legal vigente en Chile. Está declarada hasta el

día de hoy como Monumento Natural (Olivares *et al.*, 2005) y en esa condición su corta y aprovechamiento están prohibidos. No obstante, durante el siglo XIX su madera fue utilizada en la construcción de embarcaciones conocidas como 'faluchos', gracias a su resistencia al ataque de hongos que provocan pudrición (Donoso, 1993). Esta resistencia se puede apreciar en estacas utilizadas en vallas que tienen alrededor de 100 años y aún están en pie. La capacidad de repeler el ataque de los hongos xilófagos podría llevar a desarrollar líneas de investigación en el ámbito de la biotecnología, por ejemplo, para elaborar algún biopesticida. En términos de la calidad de su madera, Santelices y Contreras (2004) sostienen que las propiedades mecánicas son comparables, e incluso algunas superiores, a las de *N. pumilio* (Poep. et Endl) Krasser y *N. nervosa* (Phil.) Dim. et Mil., las dos especies nativas de Chile más comercializadas en el mercado nacional e internacional.

#### Plagas y enfermedades

No se han reportado plagas ni enfermedades que afecten a *N. alessandrii*. Sin embargo, se ha observado que en plantaciones experimentales algunos árboles mueren alrededor de los 10 años de edad, sin que se conozca la causa. Por otra parte, tanto en plantaciones como en bosques de segundo crecimiento es posible reconocer tumores en el fuste. Una característica distintiva respecto de otros *Nothofagus*, es que no es parasitada por hongos del género *Cyttaria*.

#### Resultados de ensayo de campo

Existen sólo dos reportes de plantaciones experimentales con *N. alessandrii*. Una de ellas fuera de su área de distribución natural (Santelices *et al.*, 2012b) y otra en el límite septentrional de los bosques naturales (Quiroz *et al.*, 2014).

De acuerdo a Santelices *et al.* (2012b), quienes eva-

luaron el efecto de la sombra lateral y del control de malezas en el desarrollo inicial de una plantación de ruil, es fundamental contar con protección contra la insolación directa para asegurar el establecimiento. Los resultados muestran que después de tres años hay un efecto significativo en la supervivencia por efecto de la protección, registrándose una mortalidad completa en aquellas plantas bajo plena iluminación. Después de tres temporadas no se observaron diferencias en el crecimiento en altura y en diámetro. Sí hubo diferencias estadísticas en el contenido de carbohidratos y biomasa de las plantas por efecto de la variación del nivel de sombra. Aunque inicialmente los atributos morfométricos foliares fueron similares, después del tercer año de crecimiento se observaron diferencias significativas, lo que muestra la capacidad de adaptación de las plantas. En general, a medida que aumenta el gradiente de sombra disminuye el contenido de carbohidratos y biomasa de las plantas y las hojas tienden a tener mayor superficie. Como consecuencia del control de malezas no se observaron diferencias estadísticas en ninguna de las variables estudiadas. Preliminarmente, de acuerdo a estos autores se puede concluir que es posible establecer plantaciones de *N. alessandrii* en condiciones climáticas diferentes a las de su distribución natural, aunque con una baja tasa de supervivencia, siendo fundamental proteger las plantas con sombra lateral.

Por su parte, Quiroz *et al.* (2014) evaluaron el efecto de la protección lateral con malla plástica, la fertilización nitrogenada y el volumen del contenedor en el desarrollo inicial de una plantación de ruil en su área de distribución natural. Estos autores concluyen que la cobertura artificial mediante la utilización de malla de protección aumenta significativamente la supervivencia y crecimiento en altura durante la primera temporada en campo; por otra parte, un mayor volumen radical no manifiesta diferencias

significativas sobre los atributos morfométricos y supervivencia del ruil. La nutrición con un fertilizante nitrogenado solo manifiesta diferencias a nivel de vivero y no se expresa en terreno a un año del establecimiento.

#### Estado de conservación

Hace 29 años *N. alessandrii* fue declarada por el Estado chileno como una especie en peligro de extinción (Benoit, 1989), manteniendo actualmente esa categoría y siendo catalogada además como una especie rara (D.S. 151/2007 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia). Internacionalmente, la UICN la define como en peligro de extinción (Barstow *et al.*, 2017). La superficie boscosa actual de *N. alessandrii* que está protegida por el Estado de Chile equivale a un 15% del recurso (Santelices *et al.*, 2012a). No obstante, como consecuencia de los mega-incendios del periodo estival 2017 que afectaron parte importante de los sistemas mediterráneos de Chile, resultados preliminares mediante análisis de imágenes satelitales indicarían que la superficie podría haberse reducido en más de un 50% (Valencia, 2017).

#### Variación Genética en Bosques Naturales

Los dos estudios acerca de la diversidad genética de *N. alessandrii* (Torres-Díaz *et al.*, 2007; Martín *et al.*, 2010) indican que la especie tiene una diversidad genética ( $H_E$ ) entre 0,12 y 0,18, lo cual es considerado alto en comparación a otras especies del género *Nothofagus* (Premoli, 1997) y sugiere que la especie no ha sido afectada por procesos de endogamia o deriva génica. En todos los fragmentos analizados a lo largo de su distribución natural se ha encontrado la misma cantidad de alelos por locus ( $A=1,8$ ), lo que es similar a lo reportado para las especies *N. pumilio* (Poep. et Endl.) Krasser, *N. betuloides* (Mirb.) Oerst., *N. dombeyi* (Mirb.) Oerst., y *N. nitida* (Phil.) Krasser (Premoli, 1997, 2003).

El nivel de diversidad al interior de los fragmentos es alto ( $H_S=0,18$ ), en tanto que la diferenciación genética entre fragmentos es moderada ( $F_{ST}=0,06$ ), lo que podría indicar preliminarmente que los fragmentos de la especie corresponden a una sola población pero que se estaría diferenciando genéticamente, lo que sería importante de observar con otros marcadores pues la especie tiene un rango de distribución muy limitado. Sin embargo, los resultados presentados son solo una indicación preliminar de la real diversidad genética de la especie, debido a que se analiza la diversidad genética de los progenitores y no de la descendencia, debido al tipo de marcador molecular utilizado (isoenzimas y proteínas de reserva) y al bajo número de loci e individuos utilizados en las estimaciones de diversidad genética.

Por otra parte, y desde el punto de vista de la variación genética para caracteres fisiológicos y morfológicos, Santelices *et al.* (2009) analizaron y caracterizaron parámetros cualitativos y cuantitativos del material germinativo y el comportamiento en vivero de cinco procedencias representativas del área de distribución natural de la especie. Los resultados a los que llegaron estos autores indican que *N. alessandrii* tiene un comportamiento diferente al de otras especies del mismo género, sin que se observe una variación de tipo clinal. Sin embargo, la procedencia más austral tiende a diferenciarse de las otras y, probablemente, corresponda a un ecotipo diferente.

Esta limitada cantidad de estudios sobre la variación genética de *N. alessandrii*, en los cuales se han empleado diversas técnicas y los resultados son variables y no concluyentes, sugieren que aún existe información insuficiente respecto de las diferencias genéticas entre sus poblaciones.

#### Gestión de Riesgo como Herramienta para la Conservación

Estar capacitados para mitigar los efectos de un desastre

natural es una de las características de la gestión de riesgo. Deben considerarse acciones tendientes a disminuir o aminsonar los efectos que tienen estos desastres sobre las personas y los procesos productivos, aprendiendo a convivir con los riesgos potenciales.

Si bien es cierto que los riesgos tienen un carácter local, la amenaza que significa el cambio climático es de naturaleza global con efectos locales. En todos los casos se están tomando medidas para mitigar el daño y convivir con esta amenaza. La disponibilidad de recursos para ejecutar acciones tendientes a disminuir o aminsonar los efectos que tienen estos desastres sobre la vida de las personas o los procesos productivos tiene directa relación con la valoración de los bienes afectados, como lo es el caso de las dehesas y pinares en la península ibérica, y en las plantaciones de *P. radiata* en Chile. En efecto, la dehesa es un sistema productivo de importancia económica en la oferta de productos provenientes del cerdo ibérico con impacto en la economía española y las plantaciones de *P. radiata* son la base de la economía del sector forestal chileno.

Las escasas 314ha remanentes de *N. alessandrii*, que en la actualidad son incluso menos debido a los incendios ocurridos el pasado verano de 2017, tienen un riesgo de ser afectadas por el aumento de la temperatura y los prolongados periodos de sequía (Garreaud *et al.*, 2017). Las características particulares de la especie, que más bien no responden a la de una mediterránea, la hacen más vulnerable y es necesario desarrollar programas locales de mitigación. Si bien es cierto que no todos los servicios ecosistémicos que ofrecen estos bosques se pueden aprovechar (está prohibida su corta), es una especie considerada en Chile como prioritaria en términos de su conservación. En este contexto, y para lograr gestionar y anticiparse a las amenazas que podría experimentar la especie, se debieran abordar las tres áreas que

incluye la gestión de riesgos (i.e., prospectiva, correctiva y reactiva; Chuquisengo, 2011).

Desde el punto de vista de la gestión prospectiva (i.e., no generar nuevas condiciones de riesgo) se hace necesario una planificación territorial a nivel país enfocada en reducir la ocurrencia y propagación de incendios forestales. De las distintas causas que originaron los incendios, entre ellas temperaturas altas históricas y una extensa sequía (Martinez-Harms *et al.*, 2017), sumado a ello el factor antropogénico (en Chile menos del 1% de los incendios forestales son naturales; CONAF, 2018), un elemento no menos importante es que una de las causas estructurales de los incendios es el abandono general que experimenta el mundo rural, lo que trae asociado un cambio en el uso del suelo (Rey-Benayas *et al.*, 2007) y en la conectividad del paisaje, provocando un aumento en la cantidad y continuidad del combustible (Pausas y Fernandez-Munoz, 2012), así como en la reforestación de áreas abandonadas con especies coníferas. Estos factores aumentan la conectividad de la biomasa y el paisaje, e incrementan la cobertura y conectividad de especies de sucesión temprana altamente combustibles, todo lo cual propicia la ocurrencia y propagación de incendios forestales (Pausas *et al.*, 2008). Por esta razón es necesario contar con instancias de planificación urbana y rural orientadas a la prevención de estos eventos. Para esto, otra tarea fundamental es la determinación y exhaustiva caracterización de las poblaciones naturales de ruil y los asentamientos humanos localizados en ellas y en el área circundante.

Desde el punto de vista de la gestión correctiva (i.e., reducir los riesgos existentes) y frente a la imposibilidad de contar con corredores biológicos que permitan conectar las distintas poblaciones de la especie, se hace necesario explorar la conservación de árboles aislados o en grupos por parte de agentes privados (i.e., método *circa situm*). Se ha

demostrado que la fragmentación y aislamiento físico no siempre impide el flujo polínico y que árboles aislados, o en grupos, pueden contribuir a mantener la conectividad y diversidad genética de una especie, tal como se ha visto con *Gomortega keule* Ruíz & Pavón (Lander *et al.*, 2010). Así, los esfuerzos de conservación de la especie serían compartidos por agentes privados.

Por otra parte, y con el propósito de reducir el riesgo de una disminución en la diversidad genética y aumento en la endogamia de la especie (producto del apareamiento entre individuos altamente emparentados), un aspecto a considerar es el estudio del flujo génico (i.e., polen) y la posibilidad de transferencia de polen entre los distintos fragmentos. Esto impone la necesidad de profundizar en la biología de la floración y el sistema de apareamiento de la especie, enfocándose en aspectos como seguimiento de la fenología, extracción y manejo de polen, identificación de estadios florales y técnicas de cruzamiento. Para esto, no obstante, es necesario analizar la estructura y diferenciación genética de las distintas poblaciones. Broadhurst y Boshier (2014) señalan que del orden de 100 a 200 individuos reproductivos son suficientes para mantener la diversidad de una especie y además proveer semilla de calidad superior y en grandes cantidades. En el caso de *N. alessandrii*, si bien hay 314ha con ~400 árboles/ha, otro aspecto que se desconoce es el tamaño efectivo poblacional (i.e.,  $N_e$ , el número de individuos que contribuye con descendencia a la siguiente generación) y los factores que los afectan. Para aumentar el  $N_e$  de la especie, una tarea a evaluar sería la inducción de la floración en individuos sexualmente maduros mediante el uso de giberelinas ( $GA_4$  y  $GA_7$ ) en conjunto con tratamientos culturales como fertilización y riego (Pharis *et al.*, 1987), y la polinización controlada. De esta manera se podrían crear nuevas combinaciones alélicas ausentes en una población pero

presentes en otros. No obstante, se debe evaluar el costo de desarrollar estas acciones y contrastarlas con el costo ambiental de degradación continua de la especie, hasta su desaparición. Se desconoce, además, cuál es el riesgo biológico, económico y social de que la especie se extinga. Esta también es una tarea pendiente.

Desde el punto de vista de la gestión reactiva (preparación ante emergencias) se hace necesario evaluar en mayor detalle los actuales niveles de diversidad y diferenciación genética de las poblaciones de ruil, pero no solamente de los árboles madre (Torres-Díaz *et al.*, 2007), sino que además se debe evaluar la progenie y ver si ha habido una real pérdida de diversidad entre una generación y otra. Tampoco hay antecedentes que muestren si las distintas poblaciones de ruil presentan distintos haplotipos (obtenidos a partir de ADN del cloroplasto, de herencia uniparental) para evaluar la distribución geográfica de esos haplotipos, si los hubiere.

Otro elemento importante de preparación frente a futuras emergencias provocadas por el cambio climático es contar con una red de experimentos de trasplante recíprocos (tales como pruebas donde plantas y/o semillas de ambientes contrastantes son retiradas de su ambiente natural para ser trasladadas recíprocamente a un ambiente distinto al de origen) con el propósito de comparar la capacidad de adaptación de los individuos a condiciones ambientales diferentes a las de origen. En este mismo sentido, también se deberían implementar programas de migración asistida como los propuestos por Ipinza *et al.* (2015), pues en los ambientes naturales es escasa la regeneración por monte alto. Santelices *et al.* (2012b), en un ensayo de plantación fuera del área de distribución natural de la especie encontraron que la supervivencia mostraba una relación directa con el nivel de sombra aplicado a la plantación. Esto corrobora la necesidad de profundizar en las técnicas más

adecuadas para lograr el establecimiento exitoso de la especie. Un aspecto poco explorado aún es el uso de micorrizas en las fases de propagación de plantas en vivero y posteriormente en su establecimiento en campo. En este sentido, es conocido que los hongos micorrizicos pueden proteger a las raíces contra los patógenos de varias formas. Una de ellas, por ejemplo, es que el manto fúngico del hongo de las ectomicorrizas proporciona una barrera directa contra la penetración de patógenos presentes en el suelo. Además, muchos hongos de este tipo producen antibióticos antagonicos a algunos patógenos de la raíz, como es el caso de *Leucopaxillus cerealis* (Lasch) Singer, que genera antibióticos contra *Phytophthora cinnamomi* Rands (Castellano y Molina, 1989), uno de los patógenos de mayor incidencia en el decaimiento de encinas y pinares en la península ibérica.

También es de interés evaluar la plasticidad de la especie frente a la sequía. Para esto se podrían instalar ensayos de producción de plantas en vivero en los cuales se evalúe la respuesta temprana de plantas de distintas poblaciones sometidas a una restricción hídrica artificial, así como también se podrían implementar ensayos de jardín común en una zona caracterizada por los eventos de sequía (secano mediterráneo de la Región del Maule en Chile).

Lo anterior contribuiría además a conocer si la semilla local de cada población es adecuada para implementar proyectos de restauración. Surge la duda sobre si los actuales fragmentos, aislados físicamente y ahora eliminados por el fuego, contienen individuos que mantienen los niveles de diversidad genética de la especie, o solo contienen niveles muy bajos. Al usar semilla local procedente de unos pocos árboles remanentes se correría el riesgo de aumentar aún más los niveles de endogamia de la especie y poner en riesgo la adecuación (*fitness*) de la especie. Esto permite pensar que la

mezcla de semilla de distintos orígenes es una tarea que también se debe evaluar. Broadhurst y Boshier (2014) plantean que el uso de semilla local no siempre es lo más adecuado y que la mezcla de orígenes debe ser una opción a evaluar en especies altamente fragmentadas.

Como consecuencia del aumento de la actividad antrópica y del cambio climático, la presencia del fuego es un elemento que se presenta con mayor frecuencia en el área de distribución natural de *N. alessandrii*, lo que no solo constituye una amenaza, sino que también es una realidad ya vivida en el verano de 2017, con la consiguiente pérdida de bosques. Por ello, es necesario y urgente evaluar el efecto de un disturbio como el fuego en la dinámica sucesional de los bosques de *N. alessandrii* afectados; esto es, la severidad del disturbio tanto en el suelo como en la vegetación de este sistema boscoso. En parte del bosque maulino con dominancia de *N. glauca* se ha observado que, posterior al fuego se establecen especies invasoras y aunque las especies originales del ecosistema son capaces de sobrevivir y/o colonizar nuevamente el sitio, los cambios que se producen en factores como luz, suelo y disponibilidad de nutrientes, entre los más importantes, facilitan el establecimiento de especies exóticas luego del disturbio, especialmente de *P. radiata* (Litton y Santelices, 2002, 2003), especie capaz de invadir exitosamente los bosques de ruil (Bustamante y Simonetti, 2005).

Parte de las tareas anteriormente propuestas podrían contribuir a disminuir el riesgo de declinación de la especie pero, además, permitirían orientar la respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cómo cambiará la abundancia de las poblaciones de la especie en el futuro? ¿Por cuánto tiempo persistirá la especie? ¿Se adaptará al nuevo clima que impondrá el cambio global? ¿Cómo se debería implementar un programa de restauración, conside-

rando que el pasado incendio redujo en más de un 50% su superficie?

## REFERENCIAS

- Arnold FE, Sepúlveda C, San Martín J, Boshier D, Penailillo P, Lander T, Garrido P, Harris SWH (2009) *Propuesta de una Estrategia de Conservación para los Bosques Nativos de la Subregión Costera del Maule*. Proyecto Darwin Maule. Talca, Chile. 96 pp.
- Barstow M, Echeverría C, Baldwin H, Rivers MC (2017) *Nothofagus alessandrii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T32033A2808995. www.iucnredlist.org/details/32033/0 (Cons. 08/01/2018).
- Benoit I (1989) *Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile*. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 157 pp.
- Brasier CM (1996) *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Ann. Sci. Forest.* 53: 347-358.
- Broadhurst L, Boshier DH (2014) Seed provenance for restoration and management: conserving evolutionary potential and utility. En Bozzano M, Jalonen R, Thomas E, Boshier D, Gallo L, Cavers S, Bordács S, Smith P, Loo J (Eds.) *Genetic Considerations in Ecosystem Restoration Using Native Tree Species*. FAO. Roma, Italia. pp. 27-38.
- Bustamante R, Simonetti J (2005) Is *Pinus radiata* invading the native vegetation in Central Chile? Demographic responses in a fragmented forest. *Biol. Invas.* 7: 243-249.
- Camarero JJ, Sangüesa Barreda G, Alla AQ, González de Andrés E, Maestro Martínez M, Vicente-Serrano SM (2012) Los precedentes y las respuestas de los árboles a sequías extremas revelan los procesos involucrados en el decaimiento de bosques mediterráneos de coníferas. *Ecosistemas* 21: 22-30.
- Carnicer J, Coll M, Ninyerola M, Pons X, Sánchez G, Peñuelas J (2011) Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 108: 1474-1478.
- Castellano MA, Molina R (1989) Mycorrhizae. En Landis TD, Tinus RW, McDonald SE, Barnett JP (Eds.) *The Container Tree Nursery Manual*. Vol. 5. Agric. Handbk. 674.
- Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, EEUU. pp. 101-167.
- CONAF (2018) *Incendios Forestales en Chile*. Corporación Nacional Forestal. Chile. www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/ (Cons. 08/01/2018).
- Chuisengo O (2011) *Guía de Gestión de Riesgos de Desastres. Aplicación Práctica*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento - BID - Soluciones Prácticas. Lima, Perú. 38 pp.
- Donoso C (1993) *Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica*. Universitaria. Santiago, Chile. 484 pp.
- Donoso P, Donoso C, Gallo L, Azpilicueta M, Baldini A, Escobar B (2013) *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. Roble, Pellín, Hualle. Familia Nothofagaceae. En Donoso C (Ed.) *Las Especies Arbóreas de los Bosques Templados de Chile y Argentina: Autoecología*. Marisa Cuneo. Valdivia, Chile. pp. 471-500.
- Duran A, Gryzenhout M, Slippers B, Ahumada R, Rotella A, Flores F, Wingfield BD, Wingfield MJ (2008) *Phytophthora pinifolia* sp nov associated with a serious needle disease of *Pinus radiata* in Chile. *Plant Pathol.* 57: 715-727.
- English V, Keith DA (2015) Assessing risks to ecosystems within biodiversity hotspots: a case study from southwestern Australia. *Austral Ecol.* 40: 411-422.
- Garreaud RD, Alvarez-Garreton C, Barichivich J, Boisier JP, Christie D, Galleguillos M, LeQuesne C, McPhee J, Zambrano-Bigiarini M (2017) The 2010-2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21: 6307-6327.
- González-Astorga J, Castillo-Campos G (2004) Genetic variability of the narrow endemic tree species *Antirhea aromatica* (Rubiaceae, Guettardeae) in a tropical forest of México. *Ann. Bot.* 93: 521-528.
- Hamrick JL, Godt MJ (1989) Allozyme diversity in plant species. En Brown A, Clegg M, Kahler A, Weir B (Eds.) *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*. Sinauer. Sunderland, MA, EEUU. pp. 43-63.
- Hamrick JL, Linhart YB, Mitton JB (1979) Relationships between life history characteristics and electrophoretically-detectable genetic variation in plants. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.* 10: 173-200.
- Heenan PB, Smissen RD (2013) Revised circumscription of

- Nothofagus* and recognition of the segregate genera *Fuscospora*, *Lophozonia*, and *Trisyngyne* (Nothofagaceae). *Phytotaxa* 146: 1-31.
- Hill R, Jordan G (1993) The evolutionary history of *Nothofagus* (Nothofagaceae). *Austral. Systemat. Bot.* 6: 111-126.
- IPCC (2013) Report IPCC (2013) Summary for Policymakers Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (Eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. Cambridge, RU. 27 pp.
- Ipinza R, Magni C, Gutiérrez B, Torres J, Molina MP, Bahamondes C, Alía R (2015) Conservación de recursos genéticos *ex situ* en Chile frente al cambio climático. En: Gutiérrez B, Ipinza R, Barros S (Eds.) *Conservación de Recursos Genéticos Forestales, Principios y Prácticas*. Instituto Forestal. Chile. pp. 135-164.
- Keith DA (2015) Assessing and managing risks to ecosystem biodiversity. *Austral Ecol.* 40: 337-346.
- Lander TA, Boshier DH, Harris SA (2010) Fragmented but not isolated: Contribution of single trees, small patches and long-distance pollen flow to genetic connectivity for *Gomortega keule*, an endangered Chilean tree. *Biol. Conserv.* 143: 2583-2590.
- Lara A, Urrutia R, Little C, Martínez A (2010) Servicios ecosistémicos y Ley del Bosque Nativo: No basta con definirlos. *Bosque Nativo* 47: 3-9.
- Litton CM, Santelices R (2002) Early post-fire succession in a *Nothofagus glauca* forest in the Coastal Cordillera of south-central Chile. *Int. J. Wildland Fire* 11: 115-125.
- Litton CM, Santelices R (2003) Effect of wildfire on soil physical and chemical properties in a *Nothofagus glauca* forest, Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76: 529-542.
- Manos PS (1997) Systematics of *Nothofagus* (Nothofagaceae) based on rDNA spacer sequences (ITS): Taxonomic congruence with morphology and plastid sequences. *Am. J. Bot.* 84: 1137-1155.
- Martín MA, Muñoz S, Muñoz F, Uribe M, Molina JR, Herrera MA, Martín LM, Alvarez JB (2010) Primeros resultados en el desarrollo de un marcador genético basado en las proteínas de reserva en dos especies del género *Nothofagus*. *Bosque* 31: 252-257.
- Martínez-Harms MJ, Cáceres H, Biggs D, Possingham HP (2017) After Chile's fires, reforest private land. *Science* 356: 147-148.
- Maxwell S, Fuller RA, Brooks TM, Watson JEM (2016) The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* 536: 143-145.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Newbold T, Hudson LN, Arnell AP, Contu S, De Palma A, Ferrier S, Hill SLL, Hoskins AJ, Lysenko I, Phillips HRP, Burton VJ, Chng CWT, Emerson S, Gao D, Pask-Hale G, Hutton J, Jung M, Sanchez-Ortiz K, Simmons BI, Whitmee S, Zhang HB, Scharlemann JPW, Purvis A (2016) Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science* 353: 288-291.
- Olivares P, San Martín J, Santelices R (2005) *Ruil* (Nothofagus *alessandrii*): *Estado del Conocimiento y Desafíos para su Conservación*. Comisión Nacional del Medioambiente. Talca, Chile. 55 pp.
- Pausas JG, Fernández-Munoz S (2012) Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change* 110: 215-226.
- Pausas JG, Llovet J, Rodrigo A, Vallejo R (2008) Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. *Int. J. Wildland Fire* 17: 713-723.
- Pharis RP, Webber JE, Ross SD (1987) The promotion of flowering in forest trees by gibberellin-A4/7 and cultural treatments - A review of the possible mechanisms. *Forest Ecol. Manag.* 19: 65-84.
- Premoli AC (1997) Genetic variation in a geographically restricted and two widespread species of South American *Nothofagus*. *J. Biogeogr.* 24: 883-892.
- Premoli AC (2003) Isozyme polymorphisms provide evidence of clinal variation with elevation in *Nothofagus pumilio*. *J. Hered.* 94: 218-226.
- Premoli AC, Souto CP, Allnutt TR, Newton AC (2001) Effects of population disjunction on isozyme variation in the widespread *Pilgerodendron uviferum*. *Heredity* 8: 337-343.
- Quiroz I, Rubilar R, Hernández J, Pincheira M, González M, Acevedo M, Cartes H, Soto H (2014) *Valoración de Prácticas Silviculturales para la Regeneración de Bosques de Preservación de Ruil*. Informe Cierre Proyecto 017/2012 del Fondo de Investigación del Bosque Nativo. [www.ctpf.cl/proyectos-investigacion-2/99-proyectos-infor-fibn-conaf/318-valorizacion-de-practicas-silviculturales-para-la-regeneracion-de-bosques-de-preservacion-de-ruil.html](http://www.ctpf.cl/proyectos-investigacion-2/99-proyectos-infor-fibn-conaf/318-valorizacion-de-practicas-silviculturales-para-la-regeneracion-de-bosques-de-preservacion-de-ruil.html) (Cons. 01/2017)
- Rodríguez R, Quezada M (2003) Fagaceae. En Marticorena C, Rodríguez R (Eds.) *Flora de Chile* 2. Universidad de Concepción. Chile. pp. 64-76.
- San Martín J, Santelices R, Henríquez R (2013) *Nothofagus alessandrii* Espinosa, Ruil. Familia: Nothofagaceae. En Donoso C (Ed.) *Las Especies Arbóreas de los Bosques Templados de Chile y Argentina: Autoecología*. Marisa Cuneo. Valdivia, Chile. pp. 391-401.
- San Martín J, Sepúlveda C (2002) *Diagnóstico del Estado Actual de los Fragmentos de Nothofagus alessandrii, Ruil, Fagaceae (= Nothofagaceae), de la Región del Maule, Chile Central*. Informe Técnico. Comisión Nacional del Medioambiente. Talca, Chile. 45 pp.
- Santelices R, Contreras J (2004) Antecedentes dasométricos y de la madera de *Nothofagus alessandrii* Espinosa. *Segundo Congreso Forestal Chileno*. Valdivia, Chile. p. 12.
- Santelices R, Drake F, Mena C, Ordenes R, Navarro-Cerrillo RM (2012a) Current and potential distribution areas for *Nothofagus alessandrii*, an endangered tree species from central Chile. *Cienc. Inv. Agr.* 39: 521-531.
- Santelices R, Drake F, Navarro-Cerrillo RM (2012b) Establishment of a *Nothofagus alessandrii* plantation using different levels of shade and weed control methods in Talca province, central Chile. *South. Forests* 74: 71-76.
- Santelices R, Navarro-Cerrillo RM, Drake F (2009) Caracterización del material forestal de reproducción de cinco procedencias de *Nothofagus alessandrii* Espinosa, una especie en peligro de extinción. *Interciencia* 34: 113-119.
- Torres-Díaz C, Ruiz E, González F, Fuentes G, Cavieles LA (2007) Genetic diversity in *Nothofagus alessandrii* (Fagaceae), an endangered endemic tree species of the coastal maulino forest of central Chile. *Ann. Bot.* 100: 75-82.
- Valencia D (2017) Análisis preliminar de la severidad de los impactos del último incendio sobre los rodales de ruil: Avances y proyecciones del trabajo a realizar. *Taller para la identificación de acciones y compromisos de Restauración Ecológica Post Incendios de la Reserva Nacional Los Ruales: Una oportunidad para recuperación y conservación del ruil* (Nothofagus *alessandrii*), 2017. Chanco, Chile. 6 pp.
- Wardle GM, Greenville AC, Frank ASK, Tischler M, Emery NJ, Dickman CR (2015) Ecosystem risk assessment of Georgina gidgee woodlands in central Australia. *Austral Ecol.* 40: 444-459.