

sible predicción. Sus investigaciones y otras realizadas hoy muestran que, debido a que los árboles registran el clima formando anillos más anchos en períodos más favorables (ejemplo mayores precipitaciones), y las fluctuaciones climáticas están influenciadas por la actividad solar, los anillos contienen una fuerte señal de los ciclos solares, la cual es sincrónica para árboles de diferentes especies.

En 1937 Andrew E. Douglass, fundó el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona, Estados

Unidos, que hoy es uno de los principales laboratorios del mundo. En 1993 fundamos el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Austral de Chile en Valdivia (Hoy Laboratorio de Dendrocronología y Cambio Global) que es el primero en Chile y el segundo fundado en América Latina después de Mendoza.

En relación al alerce, hemos estudiado decenas de rodales de bosque y determinado la edad de miles de árboles de alerce mediante métodos dendrocronológicos. Además realizamos una reconstrucción de temperatura para Sudamérica austral de los últimos 3,600 años, trabajo publicado en la Revista Science. Estas técnicas analizan los anillos de crecimiento con un método no destructivo, a partir de tarugos que son muestras de 5 mm de diámetro que se extraen en forma radial desde la corteza hacia el centro de los árboles vivos, o de rodelas o cuñas obtenidas de tocones de árboles cortados con anterioridad para su aprovechamiento maderero.

¿CÓMO ENVEJECEN Y MUEREN LOS ALERCES?

Nuestros estudios dendrocronológicos y de ecología y dinámica de bosques muestran que al igual que en el caso de las personas, la muerte de los alerces ocurre tanto por muerte natural, por competencia entre los árboles o por muerte violenta, y es importante estudiarlas y comprenderlas todas.

Las muertes por causa natural ocurren en todas las etapas de vida de los alerces, desde que son plántulas, es decir, individuos menores a dos metros de altura, lo que podríamos considerar como mortalidad infantil, además de ocurrir en etapas de vida intermedia, o en la vejez. Las tasas de mortalidad son especialmente altas en las etapas infantil y juvenil y disminuyen exponencialmente a medida que los rodales de bosque envejecen. En otras palabras, la mayoría de los alerces muere joven y dentro de una cohorte (individuos nacidos en el mismo tiempo y lugar) solo unos pocos llegan a edades mayores. Por ejemplo a partir de nuestros estudios, podemos inferir que un rodal joven tiene 2.250 alerces por hectárea (ha) a una edad de 90 años, densidad que disminuye fuertemente por competencia a 760 a los 260 años y luego más suavemente a 310 alerces/ha a los 960 años. Puede estimarse una mortalidad de 86% en un período de

870 años. Puede inferirse que la reducción de densidad por mortalidad fue relativamente rápida para pasar del rodal joven al intermedio, donde murieron en promedio 8,8 alerces/ha al año. Posteriormente, para llegar al rodal viejo, se habrían muerto anualmente en promedio 0,6 árboles/ha.

La muerte natural ocurre típicamente por competencia de otros individuos, es decir, al crecer los alerces, los recursos y espacio disponible ya no alcanzan, lo que los lleva a disminuir su tasa de fotosíntesis por falta de luz, nutrientes o agua que empiezan a ser ocupados por otros alerces y otras especies más vigorosas. Si la tasa de fotosíntesis disminuye bajo un punto crítico, el árbol inicia una muerte por desnutrición, ya que no tiene suficiente carbono, el cual es indispensable para mantener su metabolismo y respiración, o por insuficiencia de agua. Los árboles sobrevivientes ocupan los recursos que ya no son utilizados por los alerces que murieron y aumentan su crecimiento en altura y diámetro.

Si se tratara de una “quitada de agua” por parte de otros individuos, las plántulas o árboles afectados podrían morir de sed y sufrir una falla hidráulica referida al transporte de agua hacia sus copas. Esto puede ocasionar la marchitez permanente de las plántulas o árboles y determinar que no sean capaces de recuperar su turgencia y finalmente mueran. Esta causa de muerte natural aumenta en sequías de verano, sobre todo cuando estas afectan a varios veranos seguidos (por ejemplo, la reciente sequía de 2010 - 2014).

Algunas deficiencias de la disponibilidad de nutrientes del suelo, determinan por ejemplo que las plántulas no sean capaces de sintetizar suficiente clorofila y disminuyan su tasa de fotosíntesis, mostrando la



totalidad o parte de su follaje verde claro o blanquecino, lo que en el caso de ser extremo e irrecuperable se conoce como estado clorótico. Otro síntoma de los individuos de alerce que van perdiendo vigor hasta eventualmente después de morir, se observa cuando su follaje se va poniendo café y marchitando hasta caer y dejar sus ramillas desnudas. En el alerce, este proceso ocurre a veces desde el ápice del árbol hacia abajo, fenómeno que se conoce como después de dieback, descrito para diversas coníferas.

En este contexto, las patologías que afectan a los alerces son principalmente causadas por factores abióticos (insuficiencia de luz, nutrientes y agua). La investigación existente muestra que los daños y eventual muerte causados por agentes bióticos (hongos e insectos), son de poca incidencia en los alerces. Los hongos presentes son especialmente saprófitos, alimentándose del follaje, ramillas y otros tejidos muertos.

Si las muertes violentas en el caso de las personas son ocasionadas por accidentes, asesinatos o guerra, en los alerces son ocasionadas por alteraciones o catástrofes naturales tales como erupciones volcánicas o deslizamientos de tierra (grandes derrumbes). La mano del hombre también ha sido una causa de las muertes violentas y masivas de alerce debido a incendios de origen antrópico o corta con fines madereros y/o de habilitación de praderas.

Los bosques de alerce, donde los incendios han afectado las copas de los árboles, alcanzan altas temperaturas y se libera una gran cantidad de calor en la

combustión. La extensión de estos incendios puede ser de decenas o cientos de hectáreas y la ausencia de semillas de alerce, y de propágulos vegetativos, han determinado que el alerce no sea capaz de regenerar en estas áreas y se presentan áreas extensas en que todos los árboles de alerce están muertos y permanecen en pie por décadas o siglos, adquiriendo un color blanquecino. En estas condiciones, otras especies arbóreas tal como el Canelo (*Drimys winteri*) y especies de arbustos, colonizan y han reemplazado a los bosques de Alerce.

En el caso de los incendios superficiales que alcanzan menores temperaturas que aquellos de copas, parte de los árboles son capaces de persistir. Los incendios dejan una herida en el tronco de los árboles sobrevivientes, la que el árbol va cicatrizando gradualmente, poniendo nuevas capas de anillos sobre ella. Esta sobrevivencia es posible, ya que la especie tiene una corteza gruesa y esponjosa que actúa de aislante. Mediante técnicas dendrocronológicas hemos determinado el año exacto en que ocurrieron dichos incendios –el más antiguo fechado el año 1397 y cómo fue el crecimiento en los árboles que sobreviven. Estos últimos disponen de una mayor cantidad de recursos debido a la muerte de parte de los árboles, por lo que aumentan en forma abrupta su crecimiento durante los primeros 5-10 años después del incendio. Es común encontrar rodales en que parte de los árboles han sobrevivido a 1, 2 y hasta 3 incendios.

Los patrones de mortalidad descritos anteriormente, han determinado que en la Cordillera de la Costa y

Nuestros estudios dendrocronológicos y de ecología y dinámica de bosques muestran que al igual que en el caso de las personas, la muerte de los alerces ocurre tanto por muerte natural, por competencia entre los árboles o por muerte violenta, y es importante estudiarlas y comprenderlas todas.



Depresión Intermedia afectados por incendios recurrentes, la mayoría de los bosques de alerce no tengan más de 300 años. Por el contrario, en la Cordillera de los Andes existen áreas extensas que no han sido afectadas por incendios, erupciones volcánicas o derrumbes en los últimos siglos o milenios, lo que permite la existencia de rodales de alerce de 1500 a 1700 años y en casos excepcionales de más de 2.000 y 3.000 años.

Una causa importante de muerte violenta de los alerces desde el Siglo XVII ha sido su tala para utilizar su madera de excelente calidad, ya que la especie no es capaz de rebrotar de tocón. Esta causa se ha reducido, pero no ha sido eliminada, pues aún hay cortas ilegales de árboles vivos a pesar de la prohibición existente desde 1976. En el Laboratorio de Dendrocronología y Cambio Global desarrollamos los métodos que permiten a partir de los patrones de crecimiento de los árboles, determinar el año exacto en que un determinado árbol fue muerto por una corta ilegal. Esta información es valiosa para la fiscalización realizada por CONAF y juicios derivados de las cortas ilegales.


VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los registros climáticos muestran una clara reducción de las precipitaciones en el Centro y Sur de Chile durante las últimas décadas. Esta tendencia es confirmada por las reconstrucciones que hemos efectuado a partir de métodos dendrocronológicos basados en la correlación entre clima y ancho de anillos de crecimiento, que permiten comparar el clima reciente en el contexto de los últimos siglos o milenios. Las predicciones de los modelos climáticos indican que estas tendencias de reducción de las precipitaciones continuarán durante el presente siglo. La Dra. Rocío Urrutia, Investigadora Postdoctoral del Laboratorio de Dendrocronología y Cambio Global de la Universidad Austral, está realizando estudios ecofisiológicos para determinar cuál es la vulnerabilidad de individuos de alerce de diferente tamaño y edad ante el stress hídrico, y de establecer los límites de resiliencia de la especie, los cuales determinarían el daño permanente o muerte de los alerces. Otra causa de aumento de la vulnerabilidad de los bosques de Alerce al cambio climático está dada por el aumento observado de la ocurrencia de incendios asociado a la reducción de precipitaciones y aumento de la duración e intensidad de las sequías, junto a mayores temperaturas de verano. Un ejemplo de ello son las 8.900 hectáreas de bosques de Araucaria afectados por incendios durante el verano de 2015, los cuales pueden asociarse, al menos en parte, a la sequía prolongada ocurrida entre 2010 y 2014.

La conservación y restauración de los bosques de alerce enfrenta importantes desafíos presentes y futuros. La investigación realizada en el Laboratorio de



Dendrocronología y Cambio Global de la Universidad Austral de Chile ha sido de gran relevancia para conocer y entender estos bosques, así como para la reconstrucción del clima y de los incendios en los últimos siglos y milenios a partir de sus anillos de crecimiento. Esta investigación también ha permitido determinar el año exacto de las cortas ilegales, entregando información relevante para mejorar la fiscalización y cumplimiento de la legislación de protección del alerce.

Los estudios en marcha entregarán información clave respecto a la vulnerabilidad de la especie ante las predicciones de cambio climático y como base para reforzar las políticas y acciones para la conservación de estos ecosistemas en el largo plazo. Este conocimiento y acciones son clave para que nuestros hijos y nietos y las futuras generaciones tengan el privilegio de disfrutar de los beneficios e inspiración que hoy nos brindan los majestuosos bosques de alerce. 

Agradecimientos
Proyectos FONDECYT N° 1130410 y
CONICYT/FONDAP N° 15110009.