

BOSQUES AMENAZADOS POR SEQUÍAS EXTREMAS

SOBREVIVIR O MORIR DE SED

El cambio climático desafía a los árboles de la Patagonia a minimizar los riesgos de morir por sequías extremas; no obstante, demuestran tener estrategias para sobrevivir e incluso crecer sin perecer en el intento.

Andrea C. Premoli, Mariana Fasanella, Paula Mathiasen, M. Laura Suarez, Dayana G. Díaz, Griselda Ignazi, Thomas Kitzberger y Cintia P. Souto

Palabras clave: bosque, fisiología, sequías extremas, variación genética.

Andrea C. Premoli¹

PhD en Biología
andrea.premoli@comahue-conicet.gob.ar

Mariana Fasanella¹

Dra. en Ciencias Biológicas
mfasanella@comahue-conicet.gob.ar

Paula Mathiasen¹

Dra. en Biología
mathiasenp@comahue-conicet.gob.ar

María Laura Suarez¹

Dra. en Biología
mlsuarez@comahue-conicet.gob.ar

Dayana G. Díaz¹

Lic. en Ciencias Biológicas
dayanadiaz@comahue-conicet.gob.ar

Griselda Ignazi¹

Dra. en Biología
griseldaignazi@gmail.com

Thomas Kitzberger¹

PhD en Geografía
kitzberger@comahue-conicet.gob.ar

Cintia P. Souto¹

Dra. en Biología
csouto@comahue-conicet.gob.ar

¹Centro Regional Universitario Bariloche (CRUB), Universidad Nacional del Comahue (UNCo), Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA, CONICET-UNCo).

Recibido: 23/08/2024. Aceptado: 22/10/2024.

Las sequías o períodos de baja disponibilidad de agua, son eventos climáticos periódicos y recurrentes que producen una reducción en el crecimiento de los árboles. Sin embargo, si la falta de agua es intensa y/o prolongada, produce el decaimiento del bosque (ver Glosario) que se traduce en una disminución del vigor de los individuos, la muerte parcial de las copas, o incluso la muerte de árboles adultos completos, impactando negativamente sobre el ecosistema en su conjunto. Las sequías extremas (ver Glosario) y sus efectos sobre el bosque están siendo detectados en el mundo entero. Por ejemplo, en el noroeste de Patagonia, durante el verano de 1998-1999 en el Parque Nacional Nahuel Huapi se registraron precipitaciones que fueron sólo un 40% del promedio, dando lugar a un evento de mortalidad masiva de coihue (*Nothofagus dombeyi*), que afectó a más de 20.000 hectáreas de bosque. Debido a que los modelos globales de clima pronostican en Patagonia sequías más frecuentes, intensas y prolongadas, es probable que estos fenómenos de decaimiento y mortalidad de bosques se agraven en el futuro.

El decaimiento de bosques por sequías puede manifestarse de distintas maneras, desde un ligero aumento de la mortalidad, hasta episodios de muerte masiva a escala regional. A nivel de población (ver Glosario), los efectos de la sequía pueden ser variados y van desde la pérdida prematura de las hojas durante veranos secos para los árboles deciduos que normalmente las pierden en otoño, la muerte parcial de la copa, hasta incluso la mortalidad total del árbol. La mortalidad parcial de copa se ha observado en muchas especies de árboles y parecería ser una estrategia común para resistir períodos de sequía extrema.

Sin embargo, los efectos negativos de la sequía pueden no tener el mismo impacto sobre árboles que crecen bajo climas más secos o más húmedos. Esto se debe a que distintos climas influyen en las respuestas de los árboles que habitan en ellos, los cuales desarrollan diferentes características en cuanto a la forma en la que crecen, como también a su funcionamiento. En

general, cuando los bosques se desarrollan en los extremos secos de la distribución de las especies que los componen, las condiciones ambientales limitan su desarrollo y supervivencia, en contraste con lo que ocurre hacia los extremos más húmedos de su rango geográfico, donde las condiciones climáticas les son más benignas. Por lo tanto, es relevante el estudio de las variaciones en caracteres (ver Glosario) que garantizan la supervivencia y crecimiento de los árboles en distintos entornos ambientales, especialmente en el contexto de cambio global.

Los árboles y la variación climática

En las especies que habitan bajo condiciones climáticas variables se puede observar a simple vista cómo los individuos se ajustan a dichas situaciones cambiantes. Así, por ejemplo, al subir una montaña, observamos que a mayor altitud los árboles son más bajos y tienen hojas más pequeñas, debido a las temperaturas más frías, la mayor persistencia de la nieve en primavera y, por lo tanto, una estación de crecimiento más corta. En cambio, los árboles que

crecen en la base de las montañas suelen ser más altos y tener hojas más grandes. De la misma manera, los árboles bajo regímenes de escasa precipitación están sometidos al estrés por escasez de agua y desarrollan características que les permiten ajustarse mejor a esa condición. Así, las características propias que presentan los árboles de zonas secas se vuelven clave para su supervivencia. Asimismo, si estas particularidades están determinadas genéticamente en el ADN, pueden ser transmitidas a la descendencia de tal forma que las mismas se mantengan a lo largo del tiempo.

Para persistir y prosperar bajo los cambios climáticos previstos, las plantas tendrán que ajustar rápidamente su forma y funcionamiento, por lo que resulta necesario analizar las potenciales respuestas del bosque al estrés ambiental, como por ejemplo a la escasa precipitación. Para ello, los experimentos en los que se manipula el riego constituyen una valiosa herramienta para evaluar la vulnerabilidad de las especies arbóreas al cambio climático. Además, el grado de respuesta de los árboles puede relacionarse no solamente con su capacidad para ajustarse a las nuevas condiciones ambientales,

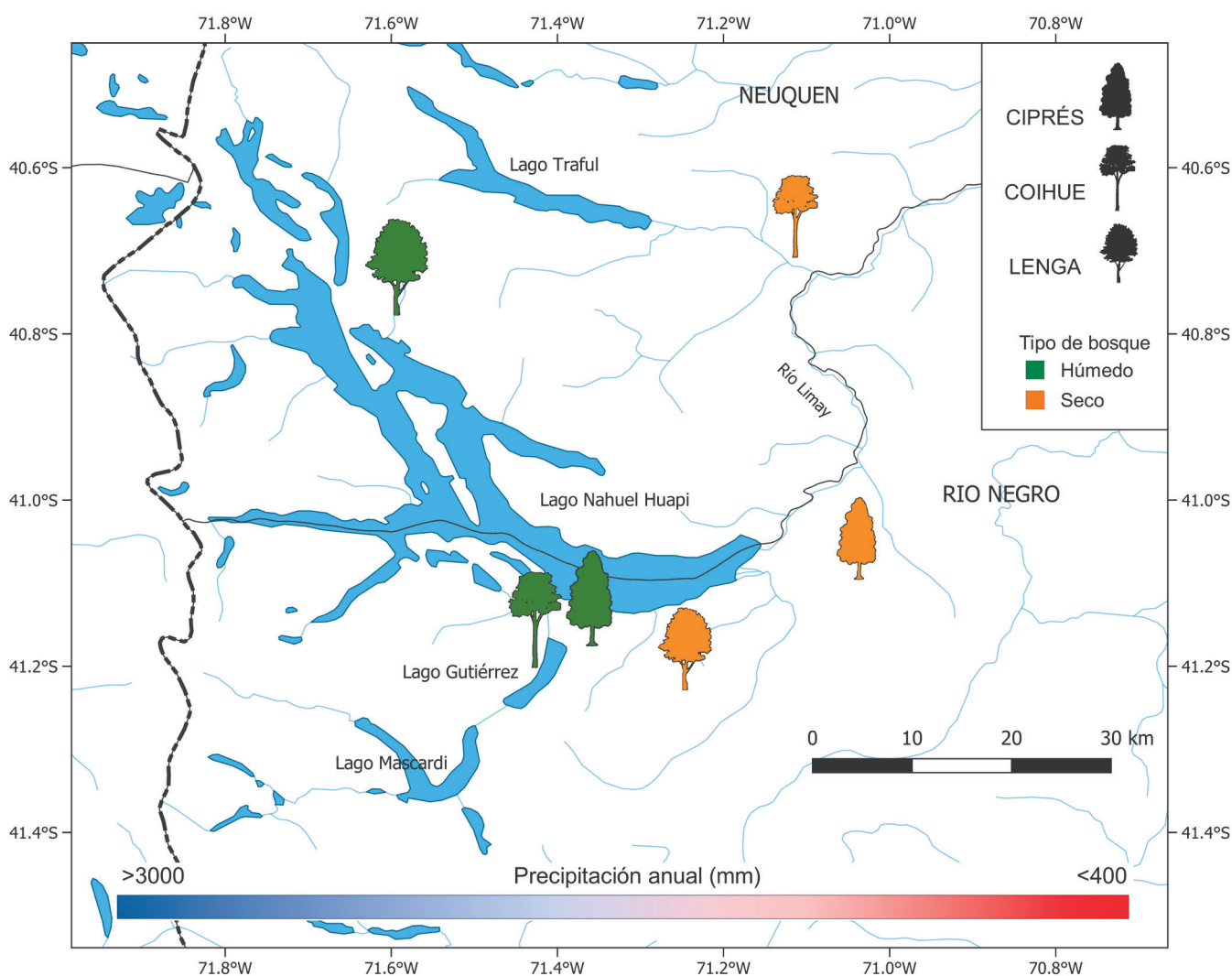


Figura 1. Ubicación geográfica de los bosques húmedos (verde) y secos (naranja) de ciprés de la cordillera, coihue y lenga que fueron utilizados para los experimentos en jardín común, de respuesta a la sequía, y estudios genéticos.

que se denomina plasticidad (ver Glosario), sino también a sus características propias, las que podrían deberse a su acervo genético (ver Glosario). Para poder desentrañar estas dos fuentes de variabilidad, se pueden realizar experimentos de jardines comunes. Los mismos consisten en cultivar, bajo las mismas condiciones ambientales (ya sea de temperatura, riego o iluminación), a plantas que provienen de semillas cosechadas en localidades que poseen distintos climas. Si las plantas en el cultivo mantienen las diferencias en la forma y funcionamiento que fueron observadas en el campo, las mismas se deben a diferencias genéticas. Mientras que, si en el cultivo las diferencias desaparecen, se trata de plasticidad. La importancia del cultivo en jardines comunes radica en que, de existir diferencias genéticas, por ejemplo, entre bosques secos y húmedos, las mismas deberían ser tenidas en cuenta a la hora de diseñar esfuerzos de restauración y manejo de bosques degradados, en un escenario de cambio climático.

El agua, ese bien tan preciado

El agua es un recurso clave para las plantas y, en gran medida, determina su forma y funcionamiento. En el norte de la Patagonia, los vientos húmedos predominantes del oeste encuentran a su paso la presencia de la Cordillera de los Andes, que obstaculiza la llegada de la humedad proveniente del Océano Pacífico. Este efecto, que se denomina "sombra de lluvia" de las montañas, genera una disminución en las precipitaciones de oeste a este. Así, la precipitación media anual disminuye de 3.000 milímetros en la cordillera a menos de 400 milímetros

en la estepa distante a tan sólo 50 kilómetros. Este abrupto cambio en las precipitaciones afecta a los bosques que lo habitan, principalmente a las especies que están presentes tanto en bosques húmedos como secos. Se trata de las especies más comunes del norte de la Patagonia Argentina como el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) que es la única conífera nativa (ver Glosario) que se encuentra hacia el límite seco del bosque cercano a la estepa, el coihue (*Nothofagus dombeyi*), especie latifoliada (ver Glosario) siempreverde que conserva sus hojas todo el año y ocupa bosques de baja altitud, y la lenga (*Nothofagus pumilio*), especie latifoliada decidua que pierde las hojas en el otoño y que domina los bosques de altura (ver Figura 1).

Mientras que hacia el extremo húmedo los bosques son más densos y relativamente continuos, hacia el extremo seco, consisten en árboles dispersos de forma natural. En particular, el coihue bajo climas secos se lo encuentra asociado a cursos de agua. Si bien en el verano estos ríos y arroyos tienden a secarse por completo, el agua más profunda en el suelo hace posible la supervivencia de esta especie. Las poblaciones de estas tres especies que viven en ambientes secos y húmedos están sometidas a distintos climas, los cuales pueden representarse mediante climogramas (ver Glosario). La mayor variación entre estos climas se da en la precipitación. Por ejemplo, la precipitación que cae anualmente y el promedio que precipita durante los meses secos del verano varían significativamente entre bosques húmedos y secos: de ciprés de 978 a 715 mm y de 36 a 13 mm, de coihue de 1.072 a 778 mm y de 40 a 28 mm, y de lenga de

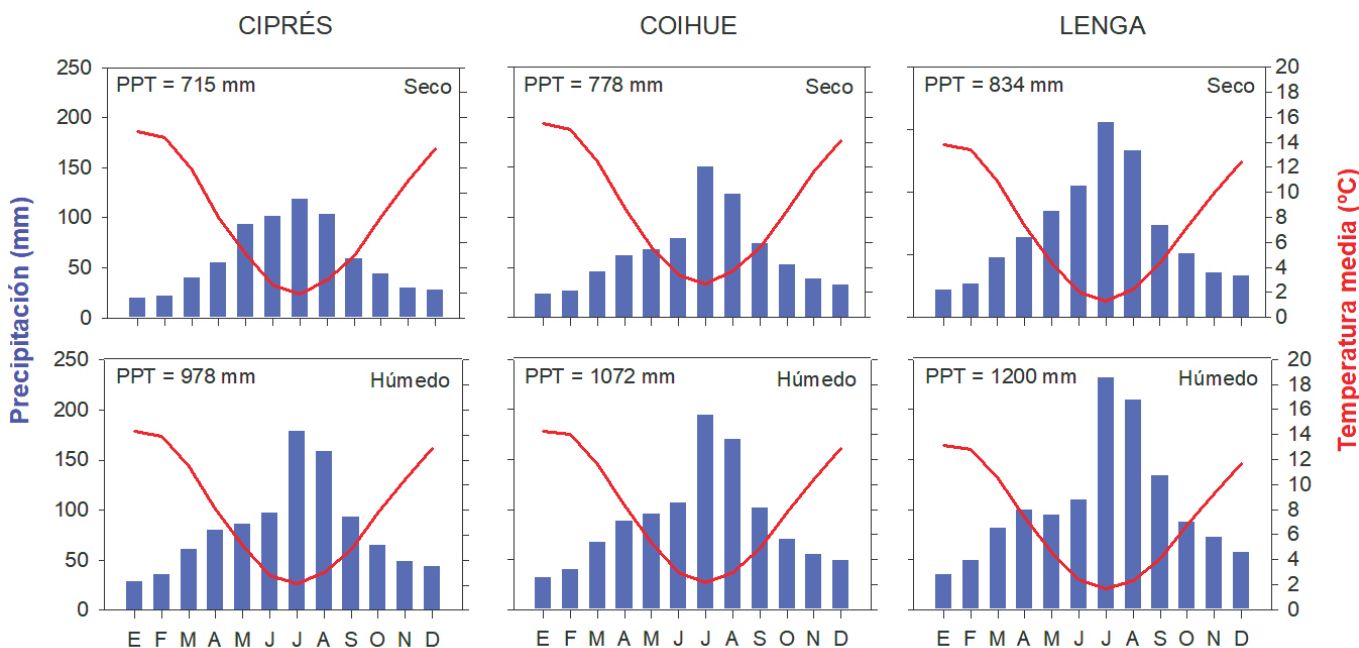


Figura 2. Climogramas que representan la variación mensual (eje horizontal) en la precipitación en mm (barras y eje vertical izquierdo, en azul) y la temperatura media en °C (línea y eje vertical derecho, en rojo) de bosques secos (paneles superiores) y húmedos (paneles inferiores) de ciprés de la cordillera, coihue y lenga. Dentro de cada panel se indica la precipitación anual total (PPT) en cada bosque.

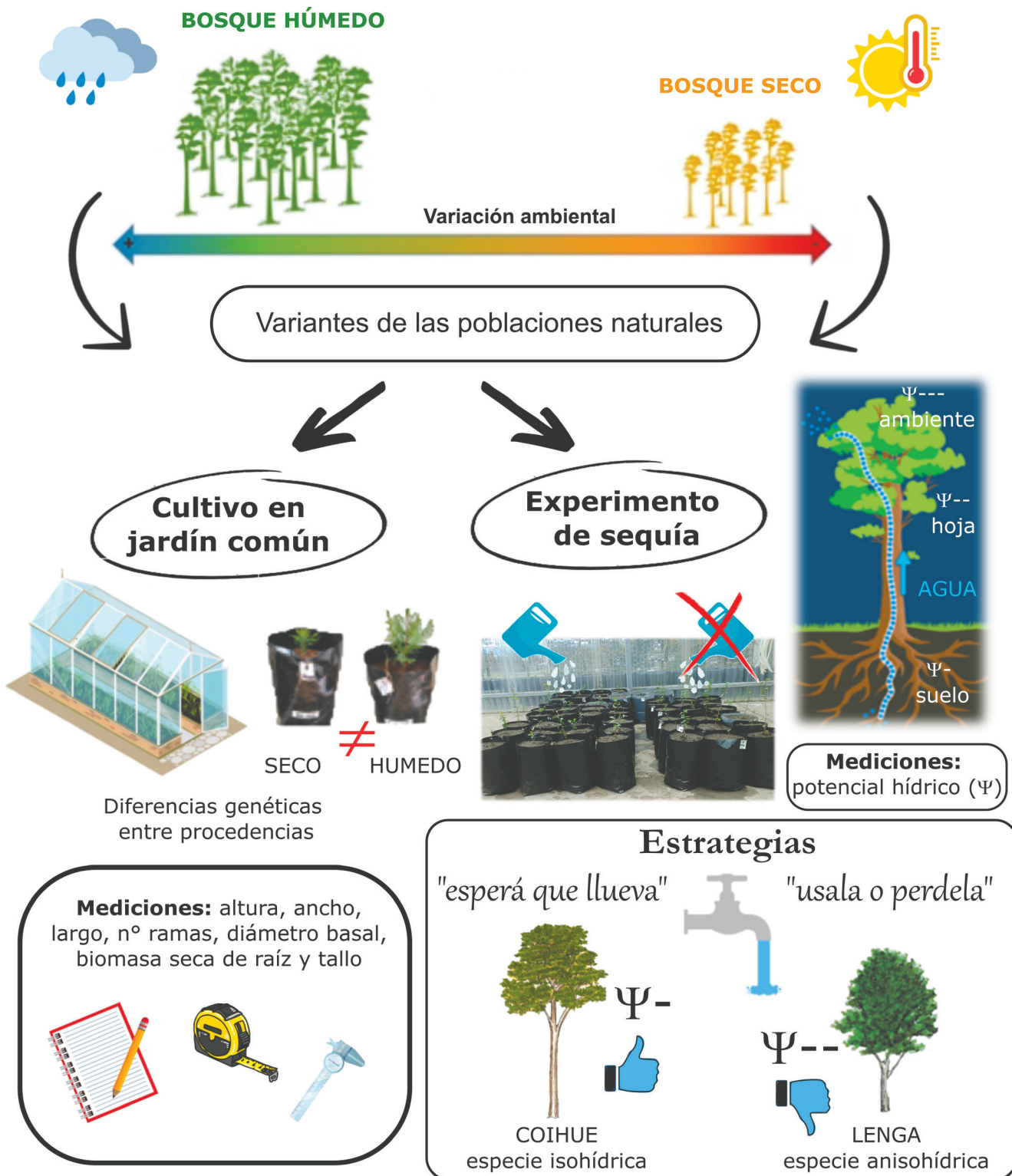


Figura 3. Experimentos de cultivo en jardín común y de sequía en especies de bosque. El cultivo permite analizar en un ambiente común las posibles diferencias genéticas entre bosques secos y húmedos que dan cuenta de cómo los bosques en distintos ambientes desarrollan características que les permitan ajustarse mejor al clima preponderante. Los experimentos de sequía contribuyen a comprender las respuestas de las plantas y su posible vulnerabilidad al cambio climático.

1.200 a 834 mm y de 27 a 20 mm. En contraste, la temperatura media anual tiene una pequeña variación entre los bosques húmedos y secos: de 8,1 a 8,3°C para ciprés, de 8,2 a 8,9°C para coihue y de 7,2 a 7,4°C para lenga (ver Figura 2).

En promedio, los bosques secos reciben tres veces

menos precipitación que los húmedos. Por lo tanto es relevante estudiar cómo las reducciones en la disponibilidad de agua impactan en el crecimiento de estas tres especies. Para ello se pueden realizar distintos experimentos: cultivo en jardín común y sequías experimentales (ver Figura 3).

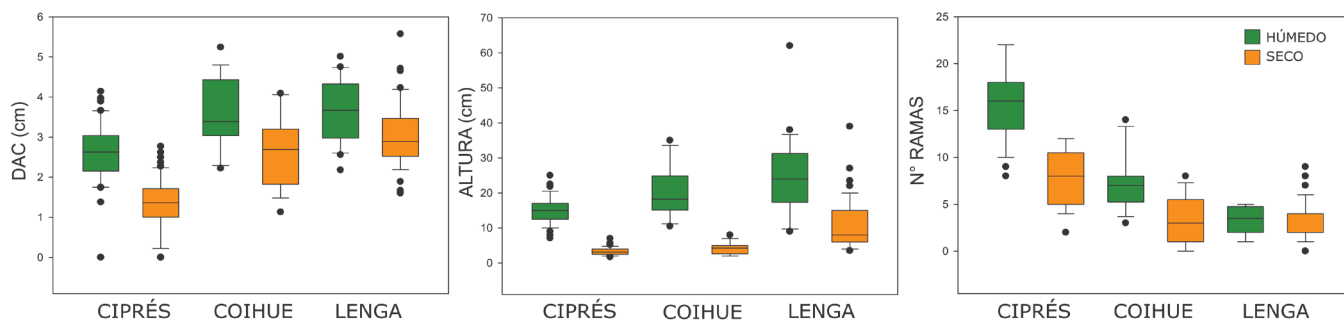


Figura 4. Características de la forma y tamaño de las plantas de ciprés de la cordillera, coihue y lenga provenientes de sitios húmedos (verde) y secos (naranja) cultivadas en jardín común. Las variables medidas fueron: diámetro de cuello (DAC), altura de la planta y número de ramas. Las cajas muestran los promedios que pueden tomar las características de las plantas en cada bosque y los puntos representan los rangos de valores.

Los experimentos en jardín común consistieron en germinar semillas colectadas en bosques secos y húmedos de las tres especies estudiadas. Luego de germinadas, las plantas jóvenes (denominadas plántulas) se cultivaron en invernadero. Al final del experimento, luego de dos años de cultivo aproximadamente, se observó que las plántulas del extremo seco crecieron menos en altura, tuvieron menor número de ramas y diámetro de cuello (es decir, del tronco principal) que las plantas de ambientes húmedos (ver Figura 4). El menor crecimiento de las plantas del bosque seco indicaría que, para las tres especies, la escasez de agua en su ambiente de origen, determina en alguna medida la forma y el tamaño de las plantas, aun cuando recibieron la misma cantidad de agua y crecieron bajo las mismas condiciones de temperatura e iluminación. Dado que las plantas fueron producidas desde semilla, puede considerarse que estas diferencias son heredables, es decir que existen diferencias genéticas entre bosques secos y húmedos. Por lo tanto, el crecimiento de las plantas reflejó la información que contienen en su material genético cuyas diferencias responden a condiciones ambientales contrastantes en sus lugares de origen.

Los efectos de distintos climas sobre el crecimiento del ciprés de la cordillera y sus potenciales diferencias genéticas también fueron detectados en árboles adultos. Las muestras de leño extraídas de los troncos de los árboles (tarugos) mediante barrenos, permiten analizar el ancho de los anillos de crecimiento anuales, y mostraron que, en años húmedos, los árboles tienen mayor crecimiento y producen anillos más anchos mientras que, en años secos, los anillos son más estrechos (ver Figura 5A). En el caso del ciprés de la cordillera, los análisis de las variantes de ADN asociadas a clima de árboles provenientes de bosques secos y húmedos, permitieron asignar correctamente al 75% de los individuos a su lugar de origen (ver Figura 5B), que corresponden a dos grupos genéticos con características distintas. Estos resultados muestran el efecto del clima sobre el crecimiento, y el análisis del

ADN resalta la importancia de los factores genéticos y de la herencia de los rasgos relacionados a la sequía.

Abrir o cerrar los estomas, esa es la cuestión

Las especies que componen los bosques del norte de la Patagonia tienen el desafío de vivir en un clima donde la estación del año en la cual la temperatura es favorable para el crecimiento (primavera-verano) coincide con el período de mayor escasez de lluvias. En periodos con agua disponible en los suelos, las plantas intercambian gases con la atmósfera a través de minúsculas válvulas o poros, llamados estomas (ver Glosario), que regulan la entrada del dióxido de carbono y la salida de agua y oxígeno. Durante el día, se abren los estomas produciendo dos efectos: 1) ingresa el dióxido de carbono que es la materia prima para formar los carbohidratos de la planta a través de la fotosíntesis, y 2) al estar los estomas abiertos se produce la pérdida inevitable de agua (molécula fundamental para todos los procesos metabólicos y para mantener la presión de turgencia que proporciona soporte a las células de las plantas). Durante períodos secos y cálidos, con alta evaporación, los suelos limitan la oferta de agua a la planta, generando así tensiones muy grandes dentro de los vasos leñosos, por donde circula el agua. Estas tensiones, si exceden la capacidad de los vasos de mantener una columna continua de agua, pueden colapsar generando burbujas de aire que impiden el normal flujo de agua, fenómeno físico conocido como cavitación (ver Glosario). Si muchos vasos colapsan, se puede producir un embolismo catastrófico, es decir el colapso de todo el sistema de transporte de agua por la presencia de aire, con la consiguiente muerte del árbol. La planta puede impedir que esto suceda cerrando los estomas, para reducir la tensiones internas durante momentos de menor disponibilidad de agua en el suelo y/o mayor desecación de la atmósfera. Es en estas situaciones cuando las plantas se enfrentan al dilema de cerrar los estomas para evitar la pérdida de agua, a costa de no ingresar dióxido de carbono (CO₂)

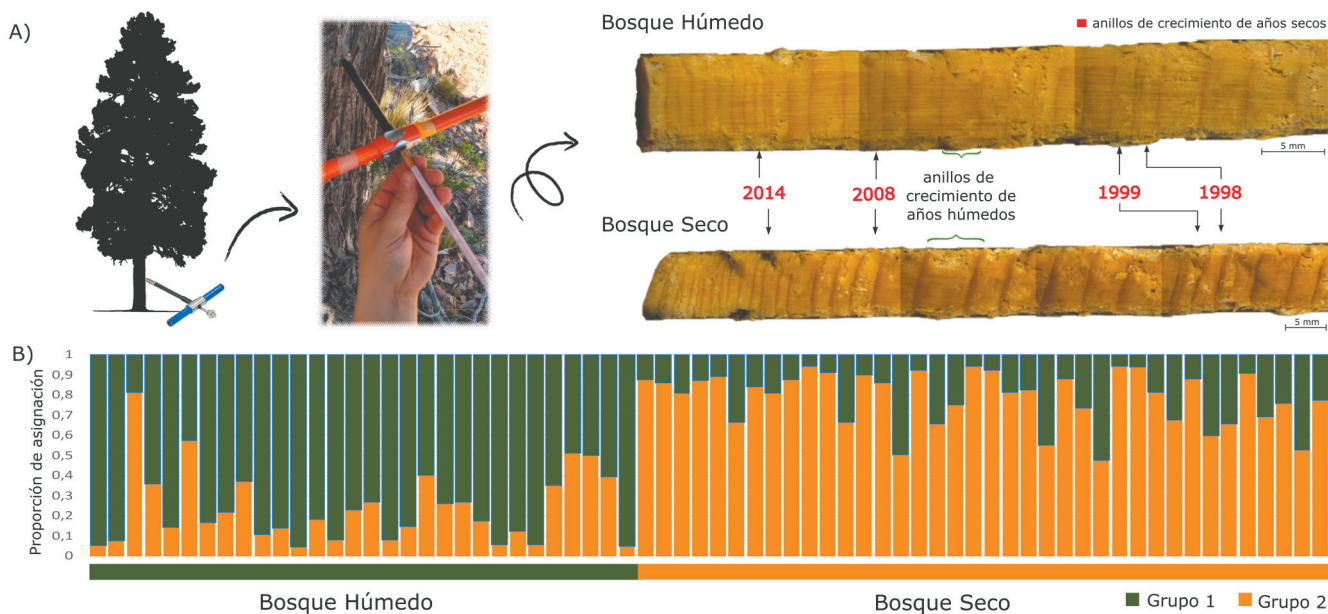


Figura 5. A) Toma de muestras con barrenos para analizar los anillos anuales de crecimiento de ciprés de la cordillera que muestran disminución del ancho durante períodos secos indicados en rojo especialmente el año 2014. B) Asignación de árboles a distintos grupos genéticos (grupos 1 y 2) en base a las características de su ADN asociado a clima. Cada barra vertical representa la proporción estimada de pertenencia de cada individuo a un grupo genético, representando el grupo 1 principalmente al bosque húmedo (verde) y el grupo 2 al bosque seco (naranja).

y no realizar fotosíntesis (es decir, no crecer) o bien, abrir los estomas para ingresar CO_2 y generar altas tensiones en los vasos leñosos por la pérdida de agua, aumentando los riesgos de sufrir fallas hidráulicas.

Las especies de árboles que habitan distintos climas han evolucionado en ambientes que difieren en la disponibilidad de agua y por ende han desarrollado distintas estrategias (o caminos evolutivos) para enfrentar estos compromisos. Una de estas estrategias consiste en evitar la pérdida de agua a través de un estricto control en la apertura o cierre de los estomas para mantener más o menos constantes y bajas las tensiones internas del sistema que conduce el agua, de manera de evitar que la columna de agua se interrumpa, denominado mecanismo isohídrico (ver Glosario). Estos árboles, al cerrar sus estomas durante períodos de sequía, pueden sufrir la reducción en los niveles de carbohidratos necesarios para el crecimiento, mantenimiento y defensa contra patógenos y depredadores (por ejemplo ataques de insectos), el aumento del estrés térmico de las hojas, pues al no poder evapotranspirar se pierde la función de refrigeración y, si la sequía es prolongada, dar lugar a la muerte del árbol. Otras especies poseen un control estomático más laxo llamado anisohídrico (ver Glosario) de modo que a medida que los suelos reducen su contenido de agua durante una sequía, estos árboles van desarrollando mayor tensión en sus vasos leñosos. Gracias a que poseen vasos leñosos más angostos, los riesgos de embolismo se reducen y, como la estrategia no es infalible en condiciones de sequía extrema, la planta puede también sufrir de embolismo

masivo para finalmente morir por falla hidráulica. Si bien estos mecanismos no son excluyentes y puede haber un amplio rango de estrategias intermedias, en general la estrategia isohídrica se da en especies o poblaciones de plantas adaptadas a ambientes húmedos y la estrategia anisohídrica ocurre en especies o poblaciones de plantas que regularmente sufren períodos secos (ver Figura 3).

Las proyecciones de cambio climático para el norte de la Patagonia prevén un aumento de las temperaturas medias estivales, lo que provocaría incrementos en la intensidad de las sequías. Por lo tanto, es oportuno analizar los posibles ajustes que deberán hacer las especies dominantes del bosque como el coihue y la lenga ante la falta de agua. Este análisis puede realizarse mediante experimentos en invernadero en los que se cultivan plántulas que provienen de bosques secos y húmedos y se someten a un mismo régimen de desecación. El objetivo de experimentos de este tipo es evaluar el tipo de respuesta (isohídrica / anisohídrica), como también las características de las hojas y las densidades de estomas de las especies. Para ello se evalúan las respuestas a la desecación, realizando mediciones del potencial hídrico de hojas de las plantas a la madrugada (mínima, en reposo, es decir cuando las plantas poseen mínima actividad metabólica y en ausencia de luz) y al mediodía (máxima) cuando las plantas sufren de limitaciones hídricas. El potencial hídrico es una medida de la tensión interna en los vasos leñosos, cuanto más negativa mayor tensión. En las plantas isohídricas se espera que el potencial hídrico al mediodía se mantenga relativamente constante a pesar

de las fluctuaciones de la hoja antes del amanecer; siendo lo que mostraron las plantas de coihue. Por el contrario, las plantas anisohídricas suelen ser menos sensibles a la demanda de evaporación y a la humedad del suelo, lo que permite grandes fluctuaciones en el potencial hídrico; y esto fue lo que mostraron las plantas de lenga. También vimos que las hojas de las lengas del bosque seco y húmedo fueron similares en tamaño y densidad de estomas, mientras que los coihues del bosque seco tuvieron hojas significativamente más pequeñas y menores densidades de estomas en comparación con las hojas del bosque húmedo; lo que refleja estrategias distintas para soportar la sequía y mayor control en la apertura y cierre de estomas observados en coihue.

Es probable que la evolución de un comportamiento isohídrico del coihue haya sido el resultado de haberse desarrollado en ambientes sin escasez de agua. En períodos secos, las especies isohídricas que han evolucionado en climas húmedos pueden sufrir una reducción significativa en la captación de carbono por el cierre temprano de estomas. La escasez de agua puede afectar el crecimiento y la supervivencia del árbol produciendo el decaimiento y mortalidad masiva como lo observado en bosques de coihue en Patagonia. Sin embargo, parecería que los bosques secos de coihue pudieron persistir a través del tiempo debido a las formas de crecimiento de las plantas y de sus hojas (menor tamaño y menor densidad de estomas) que responden (y lo hicieron en el pasado) mejor a sequías recurrentes. Por el contrario, los árboles del extremo húmedo podrían ser más vulnerables a las tendencias de sequía actuales y futuras, por no haber estado expuestas a sequías frecuentes en el pasado.

El comportamiento anisohídrico de las plántulas de lenga sugiere que pueden considerarse tolerantes a la sequía ya que pueden continuar el intercambio gaseoso manteniendo sus estomas abiertos durante períodos más largos de sequía. Aunque la lenga corre el riesgo de experimentar fenómenos potencialmente letales de embolismo inducidos por la sequía, al ser una especie decidua que pierde las hojas al empezar la estación desfavorable lo cual ocurre durante el otoño, puede adelantar la caída de las hojas durante el verano y así evitar los efectos de las sequías extremas. Si bien el comportamiento anisohídrico de la lenga sería beneficioso en condiciones de estrés moderado, no lo sería en condiciones de sequía prolongada.

Morir de sed, ¿está en el ADN?

Los bosques son sistemas complejos y su respuesta a fenómenos climáticos depende de muchos factores: las especies que los componen, los variados efectos del clima sobre sus poblaciones, las interacciones con otros organismos, entre otras cosas, por lo que

resulta difícil identificar las causas específicas de la mortalidad de los árboles que los componen. Además, aun distintos individuos de un mismo bosque pueden mostrar distintas reacciones al clima. Así, por ejemplo, los bosques húmedos de coihue han sufrido, en las últimas dos décadas, los efectos de sequías extremas durante las cuales algunos árboles de un mismo bosque sobrevivieron al evento, mientras que otros murieron o mostraron signos de decaimiento (por ejemplo, mortalidad parcial de copa). Estos bosques constituyen un excelente experimento natural para analizar si las características genéticas de árboles individuales que habitan en un mismo ambiente influyen en su supervivencia bajo condiciones de sequía extrema. Dado que las proyecciones del cambio climático sugieren que las sequías serán más frecuentes y tenderán a ser más extremas, resulta relevante explorar la posible predisposición genética y las tendencias de crecimiento que contribuyen a la mortalidad. Para ello, se puede analizar el impacto de eventos de sequía severa que producen la mortalidad parcial y total de los árboles de los bosques húmedos dominados por coihue. Estas sequías extremas ocurrieron en el norte de la Patagonia en los veranos de 1998-1999 y 2014-2015, y otra de menor intensidad en la temporada de crecimiento 2008-2009. Dado que los árboles reflejan su reacción a las condiciones ambientales en sus anillos de crecimiento anuales, se pueden relacionar dichas mediciones con las características del ADN de individuos que se mantuvieron vitales y de los que mostraron signos de decaimiento luego de los eventos de sequía. Los resultados del estudio indicaron que todos los eventos de sequía analizados provocaron un descenso marcado en el crecimiento, tanto de los coihues vitales como los que presentaban signos de decaimiento. Estas distintas categorías de individuos según su estado sanitario fueron diferenciadas por variantes genéticas que mostraron que la tolerancia o vulnerabilidad a sufrir los efectos del estrés por sequía está, en parte, en el ADN de los árboles.

El pasado, la llave al futuro

Conocer la historia de los bosques y la supervivencia de los mismos en ambientes extremos puede ayudarnos a comprender las posibles respuestas a climas futuros. En particular, los árboles que habitan hacia el margen más seco de su distribución forman fragmentos de bosque, denominados bosques marginales, más allá de cuyos límites su supervivencia se ve comprometida por estar inmersos en otros climas. Este es el caso de los bosques de lenga ubicados hacia el extremo seco del gradiente de precipitación. Si bien, en el oeste de su rango de distribución, la lenga forma bosques relativamente continuos, hacia el borde oriental se la encuentra de manera fragmentada en

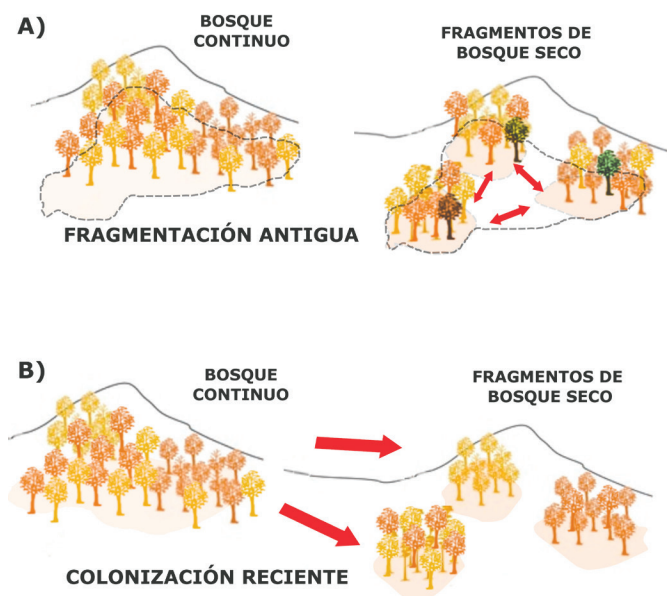


Figura 6. Escenarios posibles para explicar la existencia de fragmentos de bosque de lenga inmersos en la estepa y que fueron analizados mediante variantes del ADN del cloroplasto representado por distintos colores. El modelo de fragmentación antigua (A) y acumulación de variantes distintas difiere del modelo de colonización (B) en el que los fragmentos resultan similares por haber derivado recientemente de una misma población fuente.

pequeños bosques inmersos en la estepa y que pueden considerarse marginales a la distribución de la especie. El origen y permanencia de los bosques marginales ha generado mucho debate en la comunidad científica. En particular, la posibilidad que esos bosques marginales sean relictos de una distribución pasada más amplia y que luego quedaron recluidos a fragmentos por cambios en el clima, implica que esas poblaciones podrían tener determinadas características que les hayan permitido sobrevivir a lo largo del tiempo como bosques aislados y bajo estrés, incluyendo la falta de agua. De ser así, los árboles de bosques secos habrían desarrollado respuestas a las condiciones ambientales extremas y conservarían variantes genéticas particulares que se habrían mantenido en esos fragmentos boscosos como resultado del aislamiento. Por el contrario, si los fragmentos fueran el resultado de la colonización reciente a partir de otros bosques continuos cercanos, se esperaría que tengan gran similitud genética entre sí ya que no habría transcurrido el tiempo suficiente para que se acumulen nuevas variantes en el ADN (ver Figura 6).

Para reconstruir la historia de fragmentos marginales de bosque de lenga, se pueden utilizar regiones del ADN que cambian a velocidades muy lentas, como lo hace el ADN del cloroplasto en las plantas. Al analizar las secuencias del ADN (ver Glosario) del cloroplasto provenientes de numerosos bosques de lenga del

extremo seco y húmedo del norte de la Patagonia se encontró que, si bien los bosques secos y húmedos comparten variantes de ADN, los fragmentos de bosque seco presentan mayor número de variantes y además algunas de ellas son exclusivas de estos bosques. Las diferencias entre el ADN de los árboles de bosques secos y húmedos indicaron que se separaron hace aproximadamente 3,5 millones de años. Estos resultados muestran que los bosques secos son tan (o más) genéticamente diversos como los húmedos, y que su composición genética data desde el inicio de las oscilaciones climáticas del Pleistoceno. Por lo tanto, los fragmentos marginales de bosque podrían representar un reservorio de variantes genéticas que habrían asegurado la persistencia bajo estrés hídrico a lo largo del tiempo y que podrían ser utilizadas para la restauración en caso de sequías previstas.

Recomendaciones para la restauración de bosques

La evidencia acá presentada muestra que los ajustes de las distintas especies de bosques y las poblaciones que las componen a distintos entornos ecológicos, con climas locales y regionales inusuales, deben tenerse en cuenta en la gestión de bosques. Mientras que bajo estrés hídrico algunas especies de árboles podrían ser vulnerables a la falta de agua, como el coihue que es isohídrico, otros amortiguarán de forma natural y resistirán a las perturbaciones provocadas por las sequías, como la lenga que es anisohídrica. Las previsiones climáticas para la Patagonia incluyen una escasez de precipitaciones cada vez más frecuente e intensa. Por lo tanto, deben tomarse decisiones activas, a corto plazo, para restaurar las poblaciones de coihue afectadas por sequías extremas. Si bien se prefiere restaurar con semillas del mismo tipo de bosque que está siendo impactado por el clima, las plántulas de bosque húmedo probablemente tengan menor eficacia bajo condiciones de sequía. Por lo tanto, se sugiere utilizar una mezcla de semillas provenientes de bosques cercanos tanto húmedos como secos.

Aunque generalmente se considera a los bosques secos como de relativamente escasa importancia forestal por su reducido crecimiento, los resultados muestran su relevancia como reservorios de variantes genéticas tolerantes a la sequía. Estas características les permitirían hacer frente al cambio climático previsto y reducir así los riesgos de extinción local de las poblaciones. Por lo tanto, los árboles con variantes de ADN provenientes de bosques secos podrían ser más tolerantes a sequías extremas, lo que los convierte en una valiosa fuente potencial de semillas y plántulas para la restauración y manejo de bosques en un contexto de cambio climático que, lamentablemente, está ocurriendo más rápido de lo previsto.

Glosario

Acervo genético: conjunto de genes compartidos por los individuos de una población.

Anisohídrica: estrategia de las plantas relacionada con el uso del agua y que no poseen un control estomático estricto de modo que a medida que los suelos reducen su contenido de agua durante una sequía, van desarrollando mayor tensión en sus vasos leñosos.

Caracteres: rasgos biológicos que describen una característica física o de funcionamiento determinada por el entorno y la constitución genética de un organismo.

Cavitación: ruptura de la columna de transporte de agua desde las raíces a las hojas que ocurre cuando las plantas están bajo déficit hídrico y algunos de los conductos se llenan de aire, lo cual resulta en la pérdida de conductancia hidráulica conocido también como embolismo.

Climograma: representación gráfica de los valores promedio de precipitación y temperatura de una zona geográfica en un período determinado.

Conífera: especie de árbol cuyo follaje verde consiste de acículas o en forma de escamas, las estructuras reproductivas poseen forma en cono las cuales pueden ser leñosas o carnosas, y las ramas presentan un contorno cónico.

Decaimiento del bosque: signos de mortalidad y/o pérdida de vitalidad del bosque que los afecta de manera repentina o gradual, y está afectando a todos los biomas del mundo asociados principalmente al aumento de sequías por el cambio climático.

Especie latifoliada: planta que posee hojas expandidas, las cuales pueden perderse durante el año por frío o sequía .

Estomas: minúsculas válvulas o poros en la superficie de las hojas de las plantas donde se regula la entrada de CO₂ y la salida de agua y oxígeno a la atmósfera.

Isohídrica: estrategia de las plantas relacionada con el uso del agua que consiste en evitar la pérdida de agua a través de un estricto control en la apertura o cierre de los estomas, manteniendo la tensión interna constante para evitar la formación de embolismos.

Plasticidad: cualquier cambio en las características de un organismo en respuesta a una señal ambiental. Es decir, es la capacidad de un individuo que posee determinadas características genéticas de producir más de una manifestación morfológica o de su funcionamiento cuando se halla en diferentes condiciones ambientales.

Población: conjunto de individuos de una especie que comparten un acervo genético y coexisten espacial y temporalmente.

Secuencia de ADN: fragmento de una región específica del ADN de longitud variable (generalmente 400 a 1.500 pares de bases) que puede presentar variación en sus nucleótidos.

Sequías extremas: reducciones anómalas en las precipitaciones combinadas con olas de calor que representan períodos sostenidos de temperaturas extremadamente altas para una región geográfica.

Resumen

Las tendencias del cambio climático indican que las sequías serán de mayor intensidad y frecuencia, lo que amenaza los bosques que ya han mostrado signos de decaimiento. En el Noroeste de Patagonia Argentina (40°-42°S) la influencia de los vientos húmedos predominantes del oeste y el efecto sombra de los Andes, generan respuestas en los árboles asociadas al clima. Experimentos en invernadero y evidencia genética muestran que poblaciones de ciprés de la cordillera, coihue y lenga, en el extremo seco de su distribución, poseen mecanismos de resistencia a la sequía que representan un valioso recurso para la reforestación y el manejo de los bosques.

Para ampliar este tema

Diaz, D.G., Ignazi, G., Mathiasen, P. y Premoli, A.C. (2022). Climate-driven adaptive responses to drought of dominant tree species from Patagonia. *New Forests* 53: 57-80.

Fasanella, M., Suarez, M.L., Hasbún, R. y Premoli, A.C. (2021). Individual-based dendrogenomic analysis of forest dieback driven by extreme drought. *Canadian Journal of Forest Research* 51: 420-432.

Fasanella, M., Souto, C.P., Kitzberger, T. y Premoli, A.C. (2024). Common garden experiments and SNP genotyping of populations along a steep drought gradient suggest local adaptation in a Patagonian dry forest conifer. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 206: 14-28.

Mathiasen P, Ignazi, G. y Premoli, A.C. (2021). Biogeographically marginal: Source of evolutionary novelties and future potential. *Forest Ecology and Management* 499: 119596.

Raffaele, E., de Torres Curth, M., Morales, C.L. y Kitzberger, T. (2014). *Ecología e Historia Natural de la Patagonia Andina*. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. [[Disponible en Internet](#)]