

CRECIMIENTO DE CIPRÉS DE LA
CORDILLERA Y COIHUE EN BOSQUES
MIXTOS Y CONDICIONES AMBIENTALES
PARA EL DESARROLLO DE SUS
RENOVALES: CONTRIBUCIONES AL
MANEJO DE RODALES AFECTADOS
POR EL MAL DEL CIPRÉS

*Resultados
principales de
la tesis de
doctorado de
la Ing. Ftal.
Marina Caselli*

Publicación técnica n° 40
Año 2021

**Crecimiento de ciprés de la cordillera y coihue
en bosques mixtos y condiciones ambientales
para el desarrollo de sus renovales:
contribuciones al manejo
de rodales afectados por el mal del ciprés**

*Resultados principales de la tesis de doctorado
de la Ing. Ftal. Marina Caselli*

Publicación técnica N°40 | ISSN 1514-2264 | Año 2021
Editada por el Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico
(CIEFAP)

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP)

Ruta 259 Km. 16,24 – C. C. 14
9200 Esquel, Chubut, Argentina
Tel. /Fax: +54 2945 453948/450175
info@ciefap.org.ar
www.ciefap.org.ar

Dirección de contacto para consultas sobre esta publicación:

Marina Caselli - CIEFAP
E-mail: mcaselli@ciefap.org.ar



TESIS DOCTORAL: Crecimiento de *Austrocedrus chilensis* y *Nothofagus dombeyi* en bosques mixtos y condiciones ambientales para el desarrollo de sus renovales: contribuciones al manejo de rodales afectados por el mal del ciprés

Por: Ingeniera Forestal Marina Caselli

Universidad Nacional De La Plata

Facultad De Ciencias Agrarias Y Forestales

Título alcanzado: Doctora de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Director: Dr. Guillermo Emilio Defossé, CIEFAP-CONICET-UNPSJB

Codirectores: Dr. Gabriel Ángel Loguercio, CIEFAP-UNPSJB

Dra. María Florencia Urretavizcaya, CIEFAP-CONICET

Asesor académico: Ingeniero Forestal Pablo Yapura, UNLP

La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina

7 de abril 2020





Contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
2. EL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR COMO HERRAMIENTA DE CONTROL DE LA PARTICIPACIÓN DE CADA ESPECIE EN BOSQUES MIXTOS	9
2.1. Modelos de área foliar individual de coihue y ciprés de la cordillera y su relación con el crecimiento	11
2.1.1. Metodología	11
2.1.2. Resultados	12
2.1.3. Conclusiones.....	14
2.2. IAF del bosque mixto y el crecimiento de los árboles adultos	15
2.2.1. Metodología	15
2.2.2. Resultados	15
2.2.3. Conclusiones.....	20
2.3. IAF del bosque mixto y el crecimiento de los renovales	21
2.3.1. Metodología	21
2.3.2. Resultados	21
2.3.3. Conclusiones.....	22
2.4. IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO	23
3. RESTAURACIÓN DE RODALES AFECTADOS POR MAL DEL CIPRÉS MEDIANTE ENRIQUECIMIENTO CON CIPRÉS Y COIHUE	25
3.1. Condiciones adecuadas para la supervivencia y crecimiento de ciprés y coihue en vivero	28
3.1.1. Metodología	28
3.1.2. Resultados	30
3.1.3. Conclusiones.....	32
3.2. Experiencia de plantación a campo en un gradiente de precipitación y bajo diferentes coberturas del dosel.	33
3.2.1. Metodología	33
3.2.2. Resultados	35
3.2.3. Conclusiones.....	38
3.3 IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO	39
4. PUBLICACIONES SURGIDAS DE ESTA TESIS	40
5. FINANCIAMIENTO DE LA TESIS	40



RESUMEN

El ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Ser. et Bizzarri), es una conífera endémica de importancia forestal de los bosques Andino-patagónicos. El manejo silvícola de estos bosques se encuentra condicionado, en gran parte de su distribución natural, por el "mal del ciprés", una enfermedad que produce mermas en su crecimiento y mortalidad. Los bosques enfermos pierden progresivamente su estructura y valor, siendo limitadas las posibilidades de aplicar en ellos un manejo forestal sustentable. En algunos rodales con mal del ciprés se ha observado que debido a la reducción de la cobertura del dosel que ocasiona la enfermedad, se impulsa el proceso de regeneración natural de la especie y, cuando existe una fuente de semillas cercana, también se incorpora la regeneración natural de coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.). El coihue es otra especie de valor con la cual el ciprés se combina naturalmente en parte de su distribución, formando bosques mixtos. El manejo de bosques mixtos es un tópico de creciente interés internacional debido a las ventajas productivas y ambientales que estos presentan en comparación con los mono-específicos. La productividad de los bosques mixtos está condicionada por la forma en que se distribuye el espacio de crecimiento entre los distintos componentes de la estructura forestal, como las especies y los estratos. En estructuras mixtas las variables forestales tradicionales (área basal, índices de densidad como el IDR, etc.) no permiten una buena representación del espacio de crecimiento ocupado. Un mejor indicador es el índice de área foliar (IAF).

Esta tesis presenta información de base para diseñar propuestas para la conversión de bosques de ciprés enfermos y su manejo como bosques mixtos, a fin de aprovechar las ventajas productivas y ecosistémicas que esta conversión podría originar. El objetivo general de la tesis fue generar conocimientos para el manejo forestal de los bosques mixtos de ciprés de la cordillera y coihue, para las etapas de establecimiento y de conducción del rodal. Para la primera, acerca de la relación entre las condiciones ambientales (macro y micro) y el crecimiento de la regeneración de ambas especies, y para la segunda, cómo influye el espacio de crecimiento ocupado y su distribución sobre el incremento en volumen del rodal en distintas estructuras.

Para cada especie se desarrollaron funciones de predicción del área foliar mediante relaciones alométricas y se evaluó su relación con el incremento corriente en volumen y la eficiencia de crecimiento. Los resultados muestran ajustes lineales satisfactorios para ambas especies. Las funciones ajustadas constituyen una herramienta fundamental para estudiar la distribución del crecimiento y formular pautas de manejo para bosques mixtos a través del control del espacio de crecimiento ocupado mediante el uso del IAF.

En bosques mixtos naturales se determinó que las diferencias en el incremento corriente en volumen (ICV) del rodal de las estructuras estudiadas estuvieron más relacionadas a cómo se distribuye el IAF entre las especies que



al IAF total del rodal. El coihue es la especie que aporta más al crecimiento del rodal en los bosques mixtos y muestra el doble de eficiencia para una misma unidad de área foliar. A su vez, el porcentaje de árboles eficientes del rodal está relacionado con el IAF del rodal, de manera que rodales con menores IAF muestran mayor eficiencia. Por otra parte, el crecimiento en altura de los renovales de ciprés y coihue tiene una relación inversa con el IAF del rodal. Sin embargo, el crecimiento en altura de coihue se ve favorecido en rodales con IAF menor a 4, mientras que el ciprés no presenta un umbral. A su vez, el crecimiento de los renovales se ve influenciado por la proporción de las especies en el IAF, evidenciando un efecto negativo de una mayor proporción de coihue en el dosel. Por lo tanto, para potenciar el crecimiento del rodal es recomendable aumentar la participación de IAF de coihue, mientras que para promover la regeneración es necesario disminuirla.

En condiciones de vivero se determinó la respuesta en supervivencia y crecimiento de ciprés y coihue ante el efecto conjunto de distintos regímenes de radiación solar y de humedad edáfica. En el campo a su vez, y en un sitio méxico y otro xérico, se determinó la respuesta de ambas especies a la cobertura del dosel, a la vegetación circundante y a la protección artificial. En vivero ambas especies mostraron respuestas similares a los factores estudiados en supervivencia e incremento en DAC, altura y volumen, y fueron susceptibles a la sequía. Aunque se observaron porcentajes de supervivencia similares al final de la temporada entre las especies, niveles de radiación solar bajos y una mayor adaptación a la sequía retrasaron significativamente la mortalidad de las plantas de ciprés en comparación con las de coihue. En ambas especies una baja luminosidad puede afectar negativamente el crecimiento, al igual que una baja humedad. Los mayores crecimientos se registraron en los niveles intermedios de ambos factores y el coihue creció más que el ciprés. A campo se observó que ambas especies tienen buena supervivencia y crecimiento cuando la cobertura del dosel es de más de 30%. La remoción de la vegetación competidora es beneficiosa para ambas especies en ambos sitios. Para plantaciones sin cobertura del dosel se recomienda el uso de protección artificial. Ambas especies tienen el potencial para la restauración de rodales afectados por el mal del ciprés.



1. INTRODUCCIÓN

El ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D.Don) Pic.Serm. & Bizzarri), en adelante "ciprés" es una conífera de gran importancia ecológica, productiva y paisajística de los bosques andino-patagónicos de Argentina, cuya distribución actual está asociada principalmente al clima, al relieve y a la ocurrencia de incendios antiguos. El área de distribución del ciprés se caracteriza por una abrupta disminución de las precipitaciones en sentido Oeste-Este, que junto con el relieve, determinan las especies acompañantes y el tipo de bosques en que se desarrollan. En esta región, los incendios naturales y los provocados por el hombre, en el pasado principalmente para generar pasturas, han sido los disturbios más comunes. La regeneración natural de los bosques luego de los grandes incendios de principios del siglo XX, dio lugar a los bosques actuales de ciprés y sus especies asociadas.

Los bosques de ciprés desarrollados luego de los incendios, también han estado y están expuestos a diversos impactos naturales y provocados por el hombre, disminuyendo su capacidad de generar bienes y servicios, y su capacidad de recuperación natural. La ubicación de los bosques de ciprés en las partes bajas de valles y laderas, y su cercanía a centros urbanos y recreacionales, han propiciado una explotación poco regulada debido al valor de su madera en los lugares de fácil accesibilidad, los han expuesto nuevamente a incendios forestales, y más recientemente a la fragmentación producto de la actividad inmobiliaria. Además, el uso maderero sin planificación junto con la actividad ganadera dentro del bosque, han impactado sobre la capacidad de regeneración natural. Sumado a todo esto, desde hace varias décadas, la especie está siendo afectada por una enfermedad llamada "mal del ciprés" en las zonas con precipitación media anual superior a 700 mm/año.

El mal del ciprés es una enfermedad con síntomas característicos, que impone claras limitaciones para el manejo de los bosques. Los árboles afectados pierden sus hojas y muestran deterioro de sus raíces, disminuyendo su crecimiento y culminando con su muerte en pie o volteados por el viento. De esta manera la cobertura del bosque se reduce, liberando recursos (espacio de crecimiento) para el establecimiento y/o desarrollo de esta especie u otras que pueden ser más o menos deseables según se consideren aspectos ecológicos y/o productivos (por ej. exóticas forrajeras versus forestales nativas). Ante esta situación, puede plantearse cortas para la recuperación de la madera de los árboles que hayan muerto en pie, dejando los árboles aún vivos para mantener cierta cobertura del bosque y a la vegetación acompañante, para que provean protección para el desarrollo de renovales de ciprés. Esta situación puede plantearse únicamente si el ganado no está presente en el bosque, ya que el mismo produce daños a las plantas y promueve el establecimiento de pastos y hierbas que impiden la llegada al suelo de las semillas y compiten por agua y nutrientes con las plantas jóvenes de las especies forestales. En estas condiciones, la



degradación que produce la enfermedad puede provocar que un sitio que fuera ocupado por bosque nativo pase a ser un pastizal o sea utilizado para plantación de forestales exóticas.

En algunos bosques con mal del ciprés sin ganado, puede observarse que debido a la apertura del bosque provocada por la enfermedad y la respectiva liberación de recursos, se reinicia el proceso de regeneración natural de ciprés, y cuando existen fuentes de semillas cercanas, también de coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst) (Figura 1). El coihue es una especie latifoliada siempre verde de importancia ecológica, paisajística y maderera, de los bosques andino-patagónicos, que se desarrolla en formaciones puras o mixtas con ciprés (Figura 2) y otras especies de *Nothofagus*. Tiene una madera de buena calidad para construcción y carpintería, aunque históricamente ha sido más apreciada para la construcción de muelles y embarcaciones. El éxito de la regeneración de ambas especies en bosques enfermos con mal del ciprés abre la posibilidad conducir este proceso para un manejo forestal sostenible, así como de imitar este proceso natural, incorporando al coihue en los bosques sin fuentes de semilla cercana. Este proceso permitiría aumentar la heterogeneidad de la estructura, mejorando su capacidad de adaptación y resiliencia, entre otras ventajas ambientales y productivas que los bosques mixtos presentan frente a los bosques puros. Sin embargo, para este proceso de conversión y su futura conducción silvícola, es necesario ampliar el conocimiento acerca del crecimiento de los árboles de acuerdo a los recursos disponibles (espacio de crecimiento) en los bosques mixtos de ciprés y coihue, desarrollando herramientas de diagnóstico adaptadas a la complejidad de sus estructuras, así como generar conocimiento sobre las necesidades para el éxito de la regeneración de ambas especies.

El objetivo general de la tesis fue generar conocimientos para el manejo forestal de los bosques mixtos de ciprés y coihue. Se abordaron en especial las etapas de establecimiento y de conducción. Para la primera etapa, se estudió la relación entre las condiciones macro y micro-ambientales y el crecimiento de la regeneración de ambas especies. Para la segunda etapa, se analizó cómo influye la participación



Figura 1. Regeneración de coihue en bosque de ciprés afectado mal del ciprés.



de las especies sobre la productividad de los bosques mixtos en las distintas formas en que se combinan. Los resultados obtenidos brindan información de base para diseñar propuestas para la conversión de bosques de ciprés enfermos y su manejo como bosques mixtos, a fin de aprovechar las ventajas productivas y ambientales destacadas.



Figura 1. Bosques mixtos de ciprés de la cordillera y coihue.



2. EL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR COMO HERRAMIENTA DE CONTROL DE LA PARTICIPACIÓN DE CADA ESPECIE EN BOSQUES MIXTOS

La producción forestal depende de que los árboles obtengan los recursos necesarios y, a través de la fotosíntesis y la respiración, los conviertan en biomasa. El espacio de crecimiento es el conjunto de todos los recursos necesarios para que un árbol pueda existir en un sitio dado. A medida que los árboles se desarrollan, extienden sus raíces y ramas en todas las direcciones, produciendo nuevas raíces y hojas que permiten aprovechar más los factores de crecimiento: la radiación solar, el agua, los nutrientes minerales, la temperatura, el dióxido de carbono y el oxígeno. Como consecuencia, el espacio de crecimiento puede verse reducido ante la falta de espacio físico disponible de exploración del árbol, y en situaciones tales como cuando un sitio no tiene los nutrientes necesarios para soportar el crecimiento de una planta, por ejemplo, en suelos salinos.

En los bosques mixtos, las especies varían en su tolerancia a la sombra y/o en su velocidad de crecimiento en altura, lo que determina la existencia de dos o más pisos o estratos de altura. En estos bosques, los recursos del sitio son utilizados de diferente forma por las especies y los estratos de altura. Por ello, el análisis de bosques mixtos a través del desarrollo del árbol de tamaño medio, o por la suma de valores a nivel de rodal, como se hace en el manejo forestal tradicional, es al menos cuestionable.

La distribución de los árboles en el bosque mixto cobra especial importancia, condicionando su crecimiento, de acuerdo a la disponibilidad de los recursos disponibles del sitio y de las tasas de crecimiento características de las especies. La ocupación del espacio de crecimiento disponible por parte de los árboles adultos trae consecuencias también sobre la regeneración natural, por la sombra que estos producen (reducción de la disponibilidad de luz). Por lo tanto, el conocimiento del espacio de crecimiento ocupado y su distribución entre especies y estratos de altura constituye la base en el diseño de la combinación de las especies a través del manejo forestal en la etapa de regeneración y de conducción de los bosques mixtos.

El índice de área foliar (IAF) es una medida que se ha utilizado para representar cómo participa cada especie en el bosque mixto, relacionada con la capacidad fotosintética de los árboles, y por lo tanto con su crecimiento. El IAF se define como la razón entre el área total proyectada de las hojas y el área de la superficie del suelo que ocupan. Su importancia radica principalmente en el hecho de que las hojas controlan muchos de los procesos físicos y biológicos que ocurren en toda la planta. El IAF puede estimarse por varios métodos, no siempre útiles para bosques mixtos, pero la estimación del área foliar a través de funciones alométricas (crecimiento de una parte del árbol en relación con el árbol entero o alguna parte del mismo), es un método simple para determinar fácilmente el IAF de los distintos componentes (especies o estratos de altura) del bosque.



Según la literatura, los modelos alométricos suelen incluir variables predictoras como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura y el área de tejido conducción en el tronco (albura) a 1,3 m de altura o en la base de la copa viva del árbol. La relación entre el área foliar y el área de albura en la base de la copa es explicada por el "modelo de tubos" (*pipe model*) que propone que el agua necesaria para abastecer una unidad de hoja es provista por una unidad proporcional de tejido de conducción en el tronco. Conocer de qué manera el área foliar y las variables mencionadas se relacionan en las especies de interés, permite desarrollar modelos de predicción del área foliar para estimar el área foliar individual y la distribución del IAF. Así se puede describir la participación de las especies en distintos bosques mixtos.

No todos los árboles hacen igual uso del espacio de crecimiento que ocupan, dependiendo de la especie, la posición vertical (posición social) y horizontal respecto a los árboles vecinos, la edad, etc. Como resultado pueden ser más o menos eficientes en como usan los recursos para el crecimiento, lo cual determina variaciones en la productividad de los bosques, aun manteniendo la misma densidad. Una medida para cuantificar cómo los árboles hacen uso del espacio de crecimiento es la *eficiencia de crecimiento*, que se define como el crecimiento en volumen del árbol dividido por su área foliar. Por ello, la eficiencia de crecimiento provee un enlace conceptual entre aspectos fisiológicos del crecimiento de los árboles y la productividad forestal. Entonces, las diferencias en eficiencia de los árboles conlleva la posibilidad de manipular la estructura del bosque a favor de los componentes más eficientes, según objetivos definidos de manejo forestal, aun manteniendo la densidad del bosque constante.

Asimismo, cualquier cambio en el dosel está acompañado por cambios, principalmente en el régimen de radiación solar bajo el bosque, que afectan a la regeneración natural. La radiación solar que entra en el bosque y alcanza a la regeneración es el factor más importante que regula su crecimiento. Sin embargo, es bastante difícil de estimar o medir, ya que varía a lo largo del día y del año. Además, la relación entre el crecimiento de la regeneración y la radiación solar presenta variaciones sin una clara explicación, ya que también otros factores afectan el crecimiento, como la edad y el tamaño de las plantas, así como la calidad del sitio donde se desarrolla el bosque. A su vez, los cambios en la tolerancia a la sombra con el tamaño del árbol que ocurren en algunas especies, añaden más fuentes de variación. Se ha sugerido que cada especie tiene un patrón de distribución característico del número de plántulas en relación al IAF del bosque adulto, relacionado principalmente con la sensibilidad a la luz. Por ello, el IAF puede ser útil como una herramienta para la toma de decisiones de manejo forestal en la etapa de establecimiento de los rodales.

En los bosques andino-patagónicos de Argentina la estructura de los rodales mixtos de ciprés y coihue tiene en general dos estratos de altura, debido a los diferentes desarrollos en altura de las especies. En los mejores



sitios, el coihue puede alcanzar alturas de hasta 40 m, mientras que el ciprés en general no excede los 30 m, aun cuando se haya establecido primero. Hasta el momento no existen antecedentes que hayan estudiado la distribución del espacio de crecimiento de los distintos componentes de estos bosques, como tampoco de su eficiencia ni de cómo influye en la productividad del bosque. Estos son conocimientos básicos indispensables para diseñar intervenciones en el bosque que maximicen su productividad. A su vez, a fin de propiciar las condiciones ideales para los bosques mixtos en la etapa de regeneración, es necesario conocer como la ocupación del espacio de crecimiento que hacen los árboles adultos de ciprés y el coihue afecta el crecimiento de la regeneración natural, conocimiento que hasta el momento no se había generado.

Los objetivos principales de esta sección fueron 1) desarrollar funciones para predecir el área foliar de árboles de ciprés y coihue a partir de otras variables que son más fáciles de medir; 2) analizar, aplicando las funciones ajustadas, cómo es el crecimiento en volumen de madera de los bosques mixtos de ciprés y coihue con distinta participación de las especies en la ocupación total del sitio y en los estratos de altura; y 3) analizar cómo influye la ocupación del espacio de crecimiento que hacen los árboles adultos del bosque mixto sobre el crecimiento en altura de los renovales que crecen por debajo de ellos.

2.1. Modelos de área foliar individual de coihue y ciprés de la cordillera y su relación con el crecimiento

2.1.1. Metodología

Se seleccionaron bosques mixtos de distintas densidades de ciprés y coihue ubicados en las cercanías del Paraje Río Manso y en la Reserva Forestal Loma del Medio-Río Azul, en la Provincia de Río Negro. En ellos se efectuó un muestreo de 18 coihues y 20 cipreses, abarcando el rango de diámetros entre 8 y 52 cm. Para la selección de árboles el dosel del bosque se dividió en dos estratos de alturas, separando árboles que recibían luz directa de aquellos que estaban creciendo bajo otros: el superior con los árboles dominantes y codominantes, y el inferior con los árboles intermedios y suprimidos. De cada árbol muestreado, y de sus 3 a 5 vecinos más cercanos, se registraron una serie de variables de los árboles en pie (especie, posición social, DAP, altura total, altura de la base de la copa viva y radios de copa). Luego se voltearon para determinar el peso de la copa, tomar muestras para la determinar el área foliar y el área de albura a 1,3 m de altura y en la base de la copa viva, mediante rodajas tomadas del tronco (Figura 3, detalles de la metodología pueden consultarse en Caselli 2020).





Figura 3. Procesamiento a campo de los árboles.

Para ajustar las ecuaciones para predecir el área foliar de los árboles de ambas especies se probaron distintos modelos lineales y no lineales, haciendo el ajuste tanto con todos los árboles, como dividiéndolos por estratos de altura. Las principales variables probadas fueron: DAP, altura a la base de la copa viva, altura a la mitad de la copa viva, área de albura a la altura del pecho, área de albura en la base de la copa viva, largo de copa, razón de copa viva, área de copa, altura relativa (respecto a sus vecinos), entre otras. También se calculó la eficiencia de crecimiento de los últimos 5 años para cada árbol dividiendo su crecimiento en volumen del fuste por su área foliar.

2.1.2. Resultados

Los árboles muestreados abarcaron un amplio rango de tamaños y edades en ambas especies, con DAP entre 9 y 45 cm en ciprés y de 8 a 52 cm en coihue, y edades entre 58 y 94 años y entre 18 y 101 años, respectivamente. Los coihues tendieron a tener mayor área foliar, mayor área de albura a 1,3 m y en la base de la copa, y mayor área de copa.

Los mejores modelos que ajustaron tienen como variables predictoras el área de albura al pecho (1,3 m) y el DAP (Tabla 1), y explican más del 96% de la variabilidad del área foliar (r^2 adj). Cuando se separaron los árboles por estratos, los modelos presentaron sus mejores ajustes utilizando distintas variables. Para ambas especies, los mejores modelos para el estrato superior,



tienen como variables predictoras el DAP y el área de albura al pecho, mientras que para el estrato inferior tienen el área de albura al pecho y la altura a la mitad de la copa viva. Cuando se compararon las predicciones que se obtienen con los modelos separando los árboles, por estrato y sin separarlos, los resultados fueron similares.

Tabla 1. Mejores modelos de predicción del área foliar (m²) de árboles individuales ajustados en función del diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), área de albura a la altura del pecho (AAP, cm²), altura a la mitad de la copa viva (HMC, m) y altura total (H, m), ajustadas con todos los árboles, y con los del estrato superior e inferior. Número de árboles utilizados en el ajuste (n). Coeficiente de determinación (*r*² adj).

Estrato	Nº	Ecuación	n	r ² adj
<i>Ciprés de la cordillera</i>				
Todos	1	0,1303 * AAP + 0,0417 * DAP²	20	0,98
Inferior	5	13,1029 + 0,2665 * AAP - 1,5520 * HMC	9	0,97
Superior	7	0,1332 * AAP + 0,0417 * DAP²	11	0,98
<i>Coihue</i>				
Todos	12	0,2797 * AAP - 0,0630 * DAP² + 11,8514 * (DAP / H)²	17	0,97
Inferior	14	0,1344 * AAP + 5,7549 * H / HMC	8	0,96
Superior	16	0,4708 * AAP - 5,9025 * DAP + 0,0957 * H²	10	0,97

La eficiencia de crecimiento de ciprés y coihue en función del área foliar muestra un valor máximo para áreas foliares individuales relativamente bajas, para luego descender cuando el área foliar aumenta, esto es cuando los árboles son más grandes (Figura 4). De las dos especies, el coihue muestra la mayor eficiencia, siendo aproximadamente del doble que la de ciprés. Para el coihue los árboles más eficientes son los dominantes, codominantes e intermedios, mientras que para el ciprés la mayor eficiencia se observa entre dominantes y codominantes.

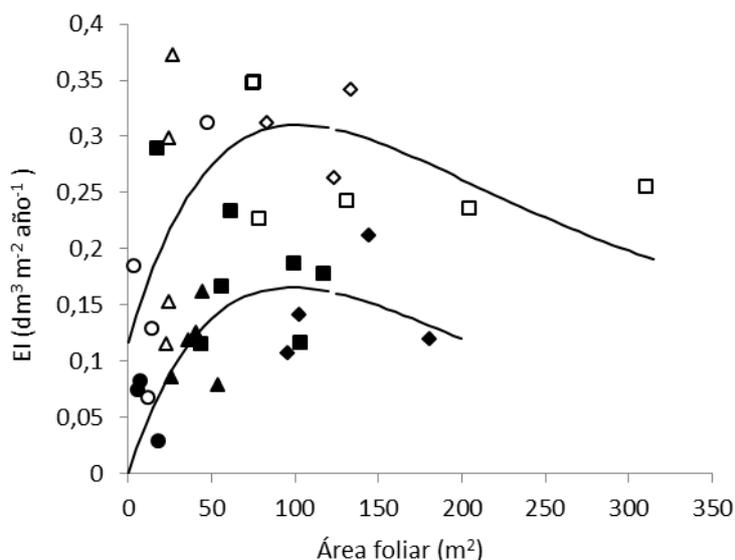


Figura 4. Eficiencia de crecimiento (EI, dm³.m⁻².año⁻¹) en función del área foliar (m²) para árboles dominantes (cuadrados), codominantes (rombos), intermedios (triángulos) y suprimidos (círculos) de ciprés (negro) y coihue (blanco). La línea negra



corresponde al modelo de Ricker (1975) ajustado a los datos: $EI = a * \text{área foliar} * \exp(-b * \text{área foliar}) + c$.

2.1.3. Conclusiones

En este estudio se comprobó que para ciprés y coihue existe una fuerte relación entre el área de albura y el área foliar, como ha sido observado en otras latifoliadas y coníferas del mundo. Los modelos desarrollados explican en todos los casos más del 96% de la variabilidad e incluyen el área de albura en la estimación. Para obtener una buena predicción del área foliar en el bosque mixto de ciprés y coihue, no sería necesario separar por estratos.

La incorporación del DAP en la ecuación mejoró las predicciones de varias de las funciones y la altura lo hizo en las demás. El DAP provee indirectamente información de la historia de crecimiento del árbol que lo ha llevado al desarrollo de su copa y su área foliar actual, y por ello fue señalado como un buen predictor de AF por varios autores. Por otra parte, la altura y/o la altura a la mitad de la copa, pueden mejorar las predicciones de área foliar en bosques de diferente densidad y calidades de sitio según diversos autores, siendo reconocidas como variables influidas por la estructura del rodal. Las funciones de estimación del área foliar obtenidas en este estudio muestran buenos ajustes y utilizan variables de medición expeditiva, lo que hace más rápida y menos costosa la estimación.

En cuanto a la eficiencia de crecimiento, se observó que el coihue es prácticamente el doble de eficiente que ciprés, lo que implica que para una misma unidad de área foliar produce casi el doble de biomasa (madera). Altas eficiencias se han relacionado a adaptaciones de los tejidos fotosintéticos a entornos de alta luminosidad. Esta característica junto a la mayor capacidad del coihue de desarrollar área foliar, constituyen una ventaja competitiva frente al ciprés, al poder crecer más vigorosamente cuando se producen liberaciones del espacio de crecimiento luego de los disturbios, como la caída de árboles, y a su vez, explican la mayor productividad de los bosques mixtos de estas especies en comparación con los bosques puros de ciprés.

La eficiencia de crecimiento también depende de la posición social del árbol, como ha sido reportado en otras especies. A medida que los árboles jóvenes aumentan su crecimiento en altura en busca de radiación solar, es necesario que generen también mayor tejido de sostén en el tronco, lo que explica la alta eficiencia de los árboles de posiciones sociales intermedias (codominantes e intermedios), observada especialmente en el coihue. Sin embargo, cuando los árboles llegan al estrato superior y sus copas se vuelven más grandes, la eficiencia disminuye debido a que aumenta la proporción de hojas ubicadas en porciones de las copas sombreadas y viejas. Esto provoca un menor crecimiento en el tronco ya que aumenta el costo de respiración y debido a que la capacidad fotosintética disminuye con la edad. Por último, los árboles suprimidos presentan la menor eficiencia debido a que deben asignar



una proporción mayor del carbono obtenido por fotosíntesis a la respiración que al crecimiento del fuste.

2.2. IAF del bosque mixto y el crecimiento de los árboles adultos

2.2.1. Metodología

El estudio se realizó en 10 rodales con participación variable de ciprés y coihue, sin intervenciones o que no recibieron cortas en al menos los últimos 10 años. Dos de los rodales estaban ubicados en el Parque Nacional Los Alerces; dos en la Reserva Forestal Loma del Medio – Río Azul y seis en el Valle del Río Manso, en la provincia de Río Negro. En cada uno de los rodales se instaló una parcela circular con un tamaño de entre 500 y 1000 m², según la densidad de árboles, procurando que cada parcela contuviera al menos 50 individuos. En cada parcela se realizó un censo de todos los árboles con DAP mayor a 5 cm. De cada árbol se determinó la especie, el DAP, la altura total y del inicio de la copa viva, la posición social y la forma del fuste, se identificaron los cinco árboles vecinos más cercanos y en una muestra se determinó la edad.

Para estimar el área foliar de cada árbol se utilizaron las funciones de predicción desarrolladas previamente (ecuaciones 5 y 14 para el estrato inferior, y las ecuaciones 1 y 16 para el estrato superior de ciprés y coihue, respectivamente). Con la suma de las áreas foliares de los árboles dividida por la superficie de la parcela se determinó el IAF total, por especie y por estrato. Para la estimación del área de albura y del incremento corriente en diámetro de los últimos 10 años de cada especie, en cada parcela, se tomaron muestras de tarugos a la altura del pecho con barreno de Pressler. Para la estimación del volumen y el incremento en volumen, se utilizaron las siguientes funciones:

Ciprés: $V[m^3]=0,000088595*(DAP[cm]^2*H[m])^{0,903631}$ (Loguercio 1997)

Coihue: $V[m^3]=0,0000518*(DAP[cm]^{2,02412})*(H[m]^{0,899318})$ (Chauchard et al. inédito, citado por Maggio y Cellini 2016).

La estructura de las parcelas fue caracterizada mediante los siguientes parámetros por especie y por estrato de alturas (superior e inferior): el IAF, el número de árboles, el área basal, el diámetro cuadrático medio, la altura dominante, el volumen actual, el incremento corriente anual en volumen (ICV) y la eficiencia de crecimiento del rodal (ER).

2.2.2. Resultados

Las estructuras estudiadas presentaron entre 490 y 2198 árboles.ha⁻¹, con alturas dominantes entre 20 y 34 m para el coihue y entre 17 y 26 m para el ciprés, las áreas basales variaron entre 48,6 y 76,3 m².ha⁻¹, el volumen entre 436 y 977 m³.ha⁻¹, el IAF entre 4,3 y 7,4 y el incremento corriente en volumen de los últimos 10 años varió entre 9,7 y 23,1 m³.ha⁻¹.año⁻¹. La participación de ambas



especies en el IAF presentó un rango de 71% de ciprés con 29% de coihue, a 22% de ciprés con 88% de coihue. El coihue es en general más joven que el ciprés en ambos estratos, con edades medias entre 18 y 60 años, contra 44 y 100 años, respectivamente.

Los gráficos de distribución de frecuencias diamétricas (número de árboles por clase DAP) y de la relación altura-DAP permiten distinguir distintas estructuras (Figura 5 y 6). Existe un predominio del coihue dominando en las clases diamétricas superiores, en general superando 40 cm (con un máximo de 116 cm), mientras que el ciprés predomina por debajo de 40 cm. Las alturas mayores de coihue, entre 30 y 40 m, superaron a las de ciprés en 5 a 10 m. Otras estructuras muestran predominio de coihue también en las clases menores (RM-E-05 y LM-E-01). En general las clases diamétricas menores presentan menos frecuencia, lo que indicaría que la mayoría de las parcelas se encuentran en una etapa madura, pero no habiendo entrado aún en la de reiniciación del rodal. Las excepciones son las parcelas RM-E-05 y LA-E-02, en las que se estarían incorporando coihues y cipreses en las primeras clases diamétricas. Asimismo, la mayor pendiente de las curvas altura-DAP de coihue indica un mayor incremento en altura que ciprés, en especial en las primeras etapas de desarrollo.

El coihue fue la especie que más IAF aportó al rodal en la mayoría de las parcelas, aun cuando el número de árboles de ciprés fue considerablemente superior. El incremento corriente en volumen (ICV) de ambas especies aumentó acorde creció el IAF de cada especie, con una mayor tasa de crecimiento en el caso del coihue. De esta manera, las diferencias de ICV entre los rodales estuvieron más relacionadas al IAF de cada especie que al IAF total del rodal, siendo coihue la especie que más aportó al crecimiento del rodal (entre el 52 y el 90%, Figura 7). A su vez, el coihue presentó la mayor parte de su IAF en el estrato superior (entre 70 y 97%), con un consecuente mayor ICV en este estrato. El ciprés presentó en general, menor participación en el estrato superior, con un ICV más homogéneamente distribuido entre los estratos de altura. Sin embargo, el ICV del ciprés se mostró condicionado negativamente por el IAF de coihue en el rodal.

Para el coihue el incremento diamétrico promedio de los árboles dominantes fue de 6,9 mm.año⁻¹ (máximo: 14,8 mm.año⁻¹, 7,2 mm de ancho de anillo promedio, 50 cm de DAP) y para el ciprés de 2,1 mm.año⁻¹ (máximo: 3,3 mm de ancho de anillo promedio, 80 cm de DAP). Mientras que en promedio los dominantes de coihue tuvieron una altura de 24 m, mientras que los de ciprés tuvieron una altura de 20 m. Estos mayores incrementos diámetro y mayor desarrollo en altura del coihue, se traducen en mayor ICV de los bosques mixtos respecto a los puros de ciprés. El rango ICV registrado en el presente estudio fue de 9,7 a 23 m³.ha⁻¹.año⁻¹, con un promedio de 13,6 m³.ha⁻¹.año⁻¹.



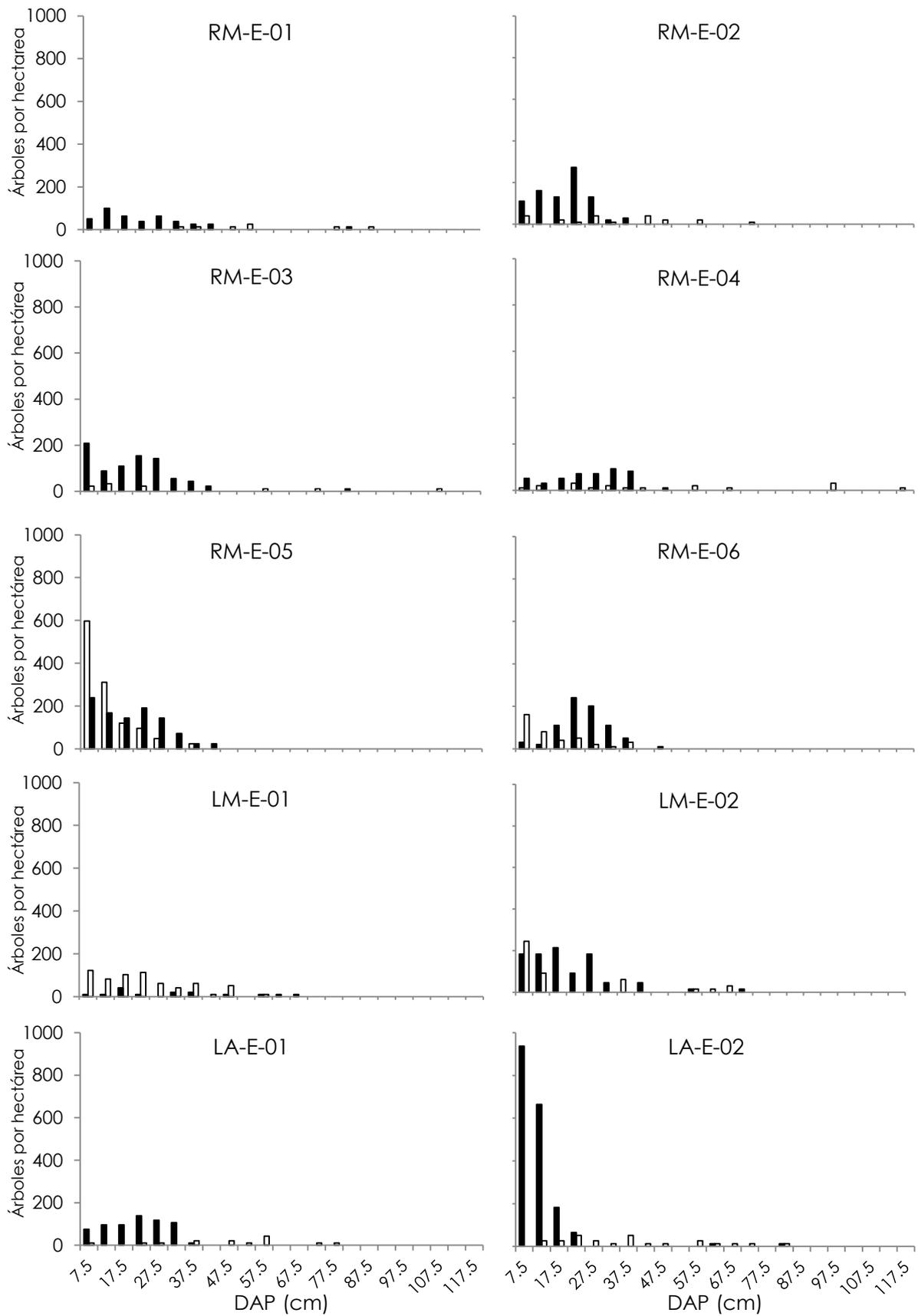


Figura 5. Distribución de frecuencias diamétricas de las parcelas del estudio: ciprés con barras negras y coihue con barras blancas.



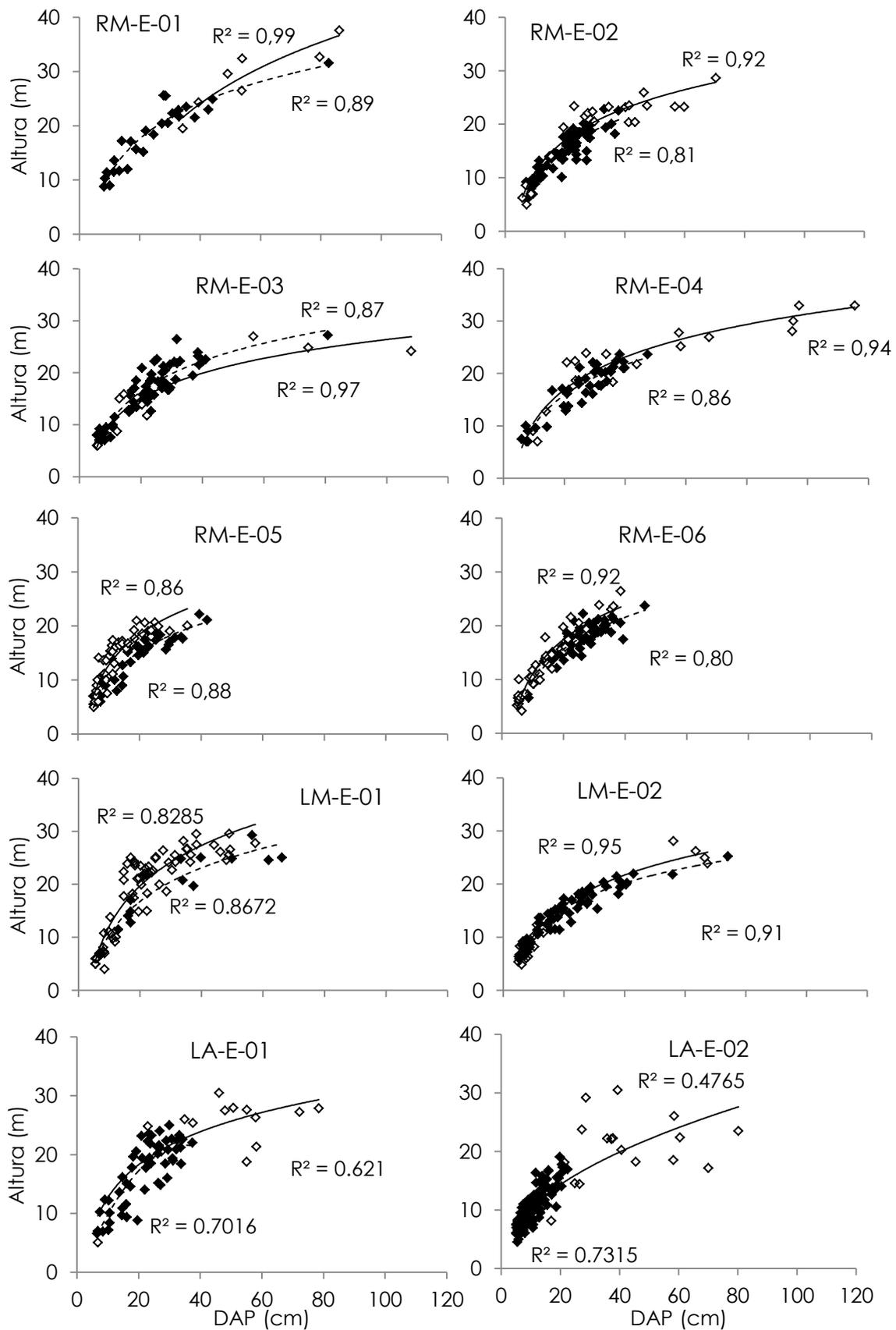


Figura 6. Curvas altura-DAP de ciprés (negro, punteada) y coihue (blanco, entera) de las parcelas del estudio.



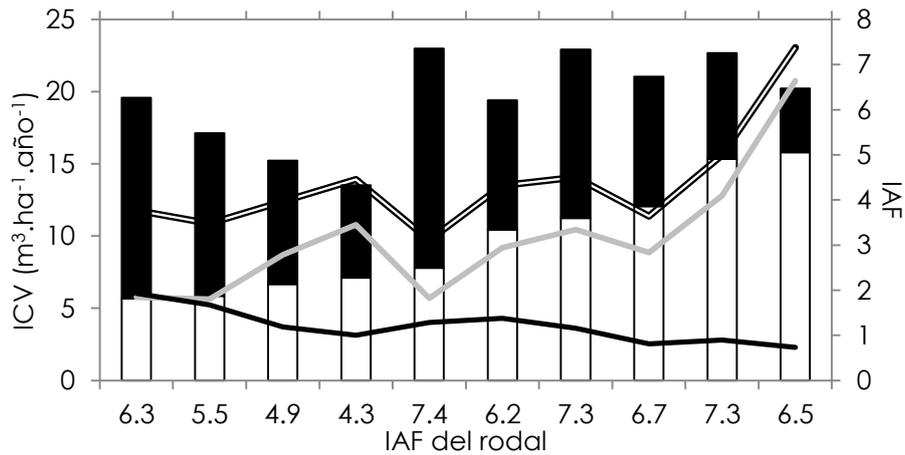


Figura 7. Incremento corriente anual en volumen (ICV, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) de ciprés (línea negra), de coihue (línea gris) y total de cada parcela (línea doble) en relación al índice de área foliar (IAF) del rodal y al índice de área foliar de ciprés (barras negras) y de coihue (barras blancas).

En general, la eficiencia del estrato superior es mayor que la del inferior para ambas especies, aunque en el coihue la diferencia es mayor. El ICV del coihue del estrato superior tiene una fuerte relación con la eficiencia, que no puede observarse en el estrato inferior. En el ciprés, su ICV considerablemente menor se asoció también a bajos valores de eficiencia, sin diferencias entre estratos. A su vez, la eficiencia de ocupación del espacio de crecimiento tendió a ser menor en la medida que se incrementó el IAF total del rodal. Sin embargo, la reducción de la eficiencia de crecimiento a nivel de rodal con el aumento del IAF del rodal es mucho más pronunciada en el coihue que en el ciprés (Figura 8).

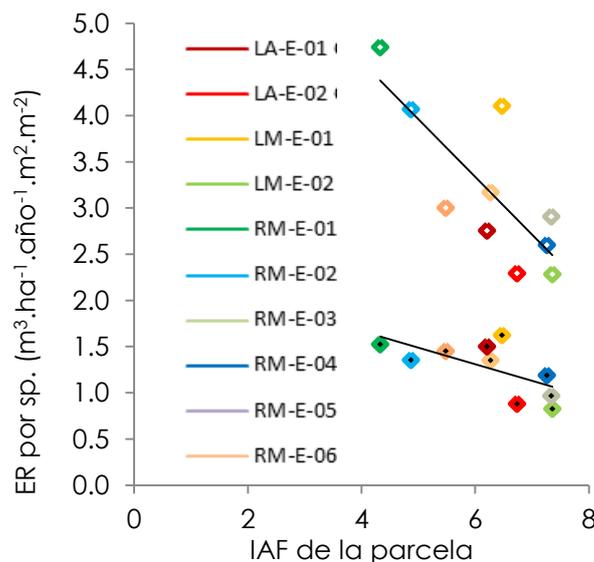


Figura 8. Eficiencia de crecimiento (ER, $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1} \cdot m^2 \cdot m^{-2}$) de ciprés (relleno negro) y coihue (relleno blanco) en relación al índice de área foliar (IAF) total de cada parcela. Las líneas representan la tendencia.



2.2.3. Conclusiones

Si bien en este estudio se buscó abarcar distintas estructuras que representaran las combinaciones y estados de desarrollo posibles del bosque mixto de coihue y ciprés, estas se vieron condicionadas al predominio general de rodales de origen post-fuego. Estos rodales se iniciaron luego de los incendios de fines de 1800 - principios de 1900, presentan actualmente estructuras bi-estratificadas cercanas a la fase madura (especialmente del ciprés) y algunas más jóvenes con una tendencia a la irregularidad.

En general, la densidad de los rodales es entre media y alta, con el coihue predominando en las clases diamétricas y de altura superiores, y el ciprés con mayor participación en el estrato más bajo. El coihue alcanzó alturas de hasta 38 m, mientras que el ciprés no excedió los 31 m. La evaluación de las edades indicó que los cipreses se establecieron antes que los coihues. No obstante ello, el coihue es la especie que aportó más al crecimiento (entre el 50 y el 90% del ICV).

El incremento corriente en volumen del rodal estuvo más relacionado a cómo se distribuye el IAF entre los componentes del rodal que al IAF total. Un mayor crecimiento del rodal es el resultado de una mayor participación de coihue en el espacio de crecimiento ocupado total. A su vez, un mayor IAF de coihue condiciona negativamente el crecimiento del ciprés. Sin embargo, la mejora en el crecimiento del rodal por una mayor participación de coihue se podría ver limitada si el IAF del rodal es muy alto, ya que la eficiencia de crecimiento a nivel de rodal decae al aumentar el IAF. En rodales de menor densidad, los coihues pueden alcanzar rápidamente el dosel superior y desarrollar sus copas de manera eficiente, como se observó en la parcela RM-E-01. En rodales más densos, la eficiencia es menor debido a que aumenta la proporción de las zonas sombreadas de las copas, habiéndose sugerido que la máxima absorción de radiación solar por parte del dosel se produce a un valor de IAF de 5,5 (consultar en Caselli 2020). Sin embargo, si el IAF es bajo, aunque corresponda a árboles eficientes, la producción del bosque puede ser menor que cuando el rodal está más completo, aún si los árboles crecen más lentamente. En síntesis, mientras el área foliar del bosque crezca más rápido que lo que decae la eficiencia, la productividad se incrementará con el aumento del IAF.



2.3. IAF del bosque mixto y el crecimiento de los renovales

2.3.1. Metodología

El estudio se realizó en rodales mixtos de ciprés y coihue, con regeneración de ambas especies, en la Reserva Forestal Loma del Medio – Río Azul, provincia de Río Negro. Las coberturas de los rodales seleccionados abarcaron desde muy cerrado a muy abierto (Figura 9), en parte afectados por el mal del ciprés. En porciones de rodales con distintas coberturas del dosel, se seleccionaron pares de renovales, uno de ciprés y otro de coihue con alturas similares, entre 1,5 y 4,5 m, ubicados a no más de 3 m entre sí para procurar que tuvieran similares condiciones de cobertura y de competencia. En total se muestrearon 21 renovales por especie. De cada renoval seleccionado se registró el diámetro a la altura del cuello (DAC), el DAP (si el árbol tenía más de 1,3 m de altura), la altura total, la altura de inicio de la copa viva y la edad, y se midió el crecimiento anual en altura de los últimos 2 años en base a las cicatrices de las yemas del ápice del tallo. En torno a los renovales se estableció una parcela circular de 340 m² para caracterizar la estructura del rodal. En cada parcela se realizó un censo de todos los árboles con DAP mayor a 5 cm para la caracterización estructural. De cada árbol se determinó la especie, el DAP, la altura total y del inicio de la copa viva, la posición social y la forma del fuste. Con estos datos se calculó el área foliar de cada árbol utilizando las ecuaciones presentadas en la Tabla 1 (ecuaciones 5 y 14 para el estrato inferior, y las ecuaciones 1 y 16 para el estrato superior de ciprés y coihue, respectivamente). Con la suma de las áreas foliares de los árboles, dividida por la superficie de la parcela se determinó el IAF total, por especie y por estrato.



Figura 9. Rango de coberturas de dosel bajo las que crecían los renovales muestreados.

2.3.2. Resultados

El incremento en altura de los últimos 2 años de ambas especies se redujo con la edad del renoval, pero esta tendencia fue más marcada para el coihue. A su vez, el incremento en altura de los renovales fue alto cuando el



IAF total del rodal fue bajo (Figura 10). En coihue los mayores incrementos en altura se observaron, con un IAF entre 1 y 2,5, variando entre 40 y 60 cm.año⁻¹. En ciprés la relación entre el incremento en altura y el IAF del rodal fue débil, siendo más dependiente de la participación de coihue en el dosel, creciendo algo más cuando la mayor parte del IAF es de ciprés y creciendo menos cuando es el IAF es en su mayoría de coihue.

En general, los renovales de ambas especies que mostraron incrementos mayores a 40 cm en lo últimos 2 años pertenecen a parcelas con IAF menor a 4 o bien con IAF mayor a 4, pero con este espacio en el estrato superior ocupado en su mayor parte por ciprés (Figura 7). En parcelas con IAF mayor a 4 los incrementos de ciprés y coihue fueron similares.

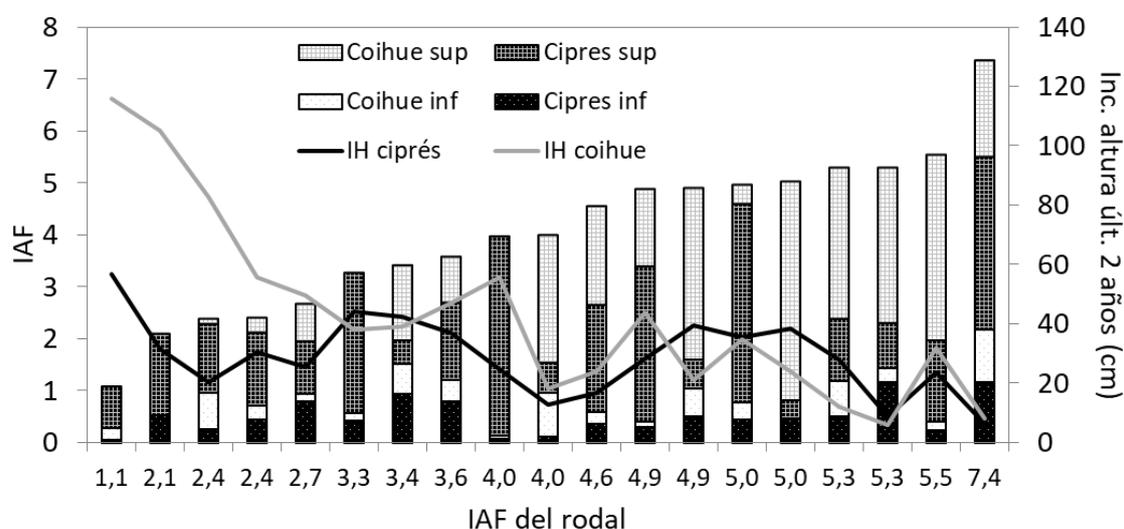


Figura 10. Incremento en altura de renovales de ciprés (línea negra) y de coihue (línea gris) bajo dosel con diferente participación de índice de área foliar (IAF) en el estrato superior (barras rayadas) e inferior (barras cuadriculadas) de ciprés (negro y gris), y de coihue (blanco y gris).

2.3.3. Conclusiones

La disponibilidad de recursos en el piso del bosque permite que las plantas del sotobosque, incluyendo la regeneración natural de los árboles, puedan crecer. Sin embargo, se ha observado un comportamiento diferente para el coihue y el ciprés. El coihue presentaría una zona umbral de IAF del rodal para el desarrollo de la regeneración de alrededor de 4, por debajo del cual el incremento en altura aumenta de manera pronunciada, pudiendo alcanzar 60 cm.año⁻¹ con un IAF del rodal cercano a 1. En cambio, los renovales de ciprés aumentan muy gradualmente el incremento en altura cuando se reduce el IAF del rodal, mostrando una relación débil. Esto implica que los renovales de ciprés podrían necesitar cambios en el espacio de crecimiento más cercano (micro) para mostrar mayores variaciones en el crecimiento.

Sabiendo que al aumentar el IAF del rodal, la radiación solar que llega a la regeneración disminuye, y que el crecimiento en diámetro y altura de las



plantas aumenta con la intensidad de la radiación solar, las diferencias en el comportamiento de las especies son las esperables según su tolerancia a la sombra. El ciprés es relativamente más tolerante a la sombra que el coihue y muestra un crecimiento menor, que aumenta muy gradualmente cuando el IAF del rodal disminuye. En cambio, el coihue muestra sustancialmente mayor incremento que el ciprés cuando el IAF es bajo, y a la vez, cuando el IAF es muy alto su incremento es muy bajo, pudiendo presentar incrementos similares al ciprés. Este comportamiento resulta interesante para utilizarlo para regular la composición del bosque mixto en la etapa temprana. Para favorecer la participación de ciprés en la regeneración y permitirle un crecimiento en altura equilibrado con el coihue, el IAF del rodal debería mantenerse relativamente alto, mientras que en aquellos sectores donde se desee liberar el crecimiento de la regeneración de coihue, el IAF debe ser bajo.

2.4. IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO

Las funciones aquí desarrolladas resultan útiles para el control de la densidad en bosques de ciprés y coihue puros, y especialmente en los mixtos, en los que las variables de control de la densidad tradicionales (área basal, IDR, etc.) podrían no representar suficientemente la competencia entre las especies en distintas estructuras. La aplicación de las herramientas desarrolladas permite delinear las primeras recomendaciones de manejo para los bosques mixtos de ciprés y coihue.

Si uno de los objetivos de manejo fuera producir madera de coihue de grandes dimensiones, aprovechando su mayor eficiencia de crecimiento sería necesario conducirlos desde la etapa juvenil. Se debería identificar grupos de coihues jóvenes de mejor forma, sanidad y vitalidad y liberarlos de sus principales competidores directos. Esta intervención posibilitaría que los árboles selectos alcancen el dosel superior rápidamente, diferenciándose como dominantes y codominantes, y acumulando mayor área foliar, lo que redundaría en mayor incremento en volumen y aumento de la producción del rodal.

En una etapa posterior, el mayor IAF paulatinamente ocasionaría una reducción de la eficiencia de crecimiento individual. Para regular el IAF del rodal, manteniendo alto el crecimiento del rodal, será necesario concentrar el IAF en el estrato superior. Ello se lograría mediante la liberación de espacio de crecimiento a través de una secuencia de raleos por lo bajo hasta que los árboles selectos alcancen las dimensiones de cosecha.

Por otra parte el ciprés, dada su menor eficiencia de crecimiento, dependencia del IAF del rodal y diferencia entre estratos, requiere ser favorecido por sectores dentro del rodal, liberándolo de la competencia del coihue. Para ello, se deberían realizar raleos moderados que generen espacios para beneficiar a árboles de ambos estratos, eliminando coihues inmediatos, lo que se debe mantener consecuentemente hasta que los cipreses alcancen dimensiones de cosecha.



Con el fin de estimar el crecimiento de estructuras de rodales sometidos a bajo las medidas de conducción descritas, se realizaron simulaciones en base a funciones simples ajustadas entre el IAF y el área basal, y entre el IAF y el ICV, discriminadas por especie y estrato (para detalles ver Caselli 2020). Se ha recomendado que la densidad del rodal bajo manejo se mantenga entre 40 y 60% de la densidad máxima (ver referencias en Caselli 2020). Si bien no se dispone de información sobre las densidades máximas de cada especie, se estimó un IAF máxima preliminar para el bosque mixto de 10, lo que implica un rango de valores bajo manejo con un límite inferior de 4 y uno superior de 6 (ver Caselli 2020). Para la asignación de IAF se debe considerar a su vez, la tolerancia de las especies ya que ciertas combinaciones pueden no ser posibles. En este caso, el coihue es menos tolerante a la sombra que el ciprés, por lo que requerirá más radiación solar desde los estadios más tempranos para poder desarrollarse bajo dosel.

En las estructuras naturales estudiadas al menos el 70% del IAF de coihue se encuentra en el dosel superior. Esta fue la proporción que se utilizó en la simulación de los rodales. La asignación de más IAF de coihue al dosel inferior puede no ser factible por la baja vitalidad que presentarían los árboles bajo dosel en rodales con IAF mayor a 4. En el caso de rodales más abiertos, mayor asignación de área foliar al estrato inferior parece ser posible, por lo que se usó para las simulaciones una distribución de 50% en cada estrato.

Las combinaciones con mayor participación de ciprés mostraron los menores ICV del rodal, mientras que las que tenían mayor proporción de coihue presentaron ICV superiores. Por ejemplo, para un nivel de ocupación de 45% del máximo IAF y un 70% del IAF asignado al estrato superior, con 80% de IAF de ciprés el ICV máximo del rodal alcanzaría $12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, mientras que si el coihue ocupa el 80% de IAF, el ICV del rodal sería de $19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

Teniendo en cuenta la mayor tolerancia a la sombra de ciprés frente a coihue y que cuanto mayor sea la participación de coihue, mayor es el ICV del rodal, se planteó una asignación diferente del IAF de las especies para cada estrato, favoreciendo al coihue en el estrato superior y al ciprés en el inferior. Un rodal en el que se asigna el 80% del IAF del estrato superior a coihue y el 80% del IAF del estrato inferior a ciprés (manteniendo el IAF de 45% respecto al máximo y un 70% del mismo asignado al estrato superior) el ICV del rodal rondaría $18 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Un rodal en el que se asigna 65% del IAF de coihue al estrato superior e igual porcentaje de ciprés al estrato inferior, da lugar a un ICV del rodal de $16,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Un rodal en el que se asigna una partición diferente del IAF de la especie según el estrato, de manera que el 80% del IAF del estrato superior corresponde al coihue y el 65% del IAF del estrato inferior corresponde al ciprés, da lugar a un ICV del rodal de $18,4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. La distribución de las especies entre los estratos en este rodal, además de propiciar un alto crecimiento del rodal, favorece al ciprés en el estrato inferior aprovechando su menor tolerancia relativa a la sombra. Si el objetivo del manejo fuera maximizar la eficiencia de crecimiento del rodal, el IAF del rodal debe ser bajo y ocupado mayormente por coihue.



Para la etapa de regeneración y desarrollo juvenil, el estudio del crecimiento de los renovales en relación al IAF del dosel permitió conocer las necesidades para regular la composición temprana del rodal mixto. Para favorecer la participación de ciprés en la regeneración y permitirle un crecimiento de unos 20 cm.año^{-1} , el IAF del rodal debería mantenerse alto (por encima de 4) y sobre todo dominado por ciprés en el estrato superior. Para esto el sector del rodal donde se espera que domine ciprés debe ser conducido previamente con ese fin, regulando la composición de ambas especies en el IAF rodal. En aquellos sectores donde se desee un predominio de coihue en la regeneración, el IAF del rodal debe ser menor a 4 y preferentemente con mayor participación de ciprés en el dosel, lo que permitiría que los renovales de coihue crezcan en altura hasta unos 50 cm.año^{-1} . Además, para lograr un crecimiento vigoroso de coihue se debe liberar su regeneración avanzada que se encuentra bajo dosel a temprana edad.



3. RESTAURACIÓN DE RODALES AFECTADOS POR MAL DEL CIPRÉS MEDIANTE ENRIQUECIMIENTO CON CIPRÉS Y COIHUE

La radiación solar y la humedad del suelo son factores micro-ambientales que dentro del bosque condicionan en gran medida los patrones de supervivencia y crecimiento de la regeneración de las especies forestales. La correcta interpretación de los efectos de estos factores en relación al crecimiento de las plantas y su distribución en ambientes naturales, requiere de estudios detallados llevados a cabo en condiciones de campo. Sin embargo, aislar los efectos de cada factor en estas condiciones resulta prácticamente imposible. Esta imposibilidad se debe mayormente a la ocurrencia de factores múltiples, sucesivos y/o simultáneos, que interactúan afectando las respuestas de las plantas de manera positiva o negativa. Los experimentos llevados a cabo en condiciones controladas, en cambio, permiten detectar interacciones y separar los efectos de cada uno, para así poder interpretar las implicancias que tienen para la supervivencia y el crecimiento de las especies estudiadas. En base a los conocimientos generados en vivero y a campo, pueden diseñarse técnicas de manejo que a través de diferentes sistemas silviculturales (como por ejemplo, cortas de protección o selección en grupos), permitan manipular la cobertura del bosque e, indirectamente, la humedad del suelo, para favorecer o desalentar el establecimiento de nuevas plantas.

Sin embargo, cuando la cobertura arbórea ha desaparecido o es muy baja debido a perturbaciones naturales o antrópicas, es necesario utilizar técnicas de restauración para recuperarla. Para promover la supervivencia de las especies objetivo, las prácticas de restauración muchas veces necesitan una manipulación adicional del micrositio para evitar o disminuir cualquier efecto negativo sobre las plantas. Estos efectos están causados por la competencia por agua o nutrientes en el suelo por parte de la vegetación herbácea, por la falta de plantas nodrizas que protejan a las plantas de interés de fluctuaciones de temperatura excesivas y/o por excesivo calentamiento por alta radiación en suelos sin vegetación. Remover la vegetación puede disminuir los efectos de la competencia, reducir la cobertura del suelo y modificar algunas condiciones físicas de la parte superior del mismo, incrementando la radiación incidente y la temperatura de la superficie, y tener consecuencias sobre el contenido de agua. Para algunas especies forestales en etapa de plántula, altas temperaturas a nivel del cuello afectan negativamente la supervivencia, por lo que es necesario el mantenimiento de cierta protección. Por ello es necesario estudiar en qué casos la presencia de vegetación es benéfica y en qué casos es perjudicial para la supervivencia y crecimiento de las plantas objetivo.

Para la conversión de bosques puros degradados a bosque mixto de ciprés y coihue, es necesario conocer las condiciones ambientales óptimas para la supervivencia y el crecimiento de la regeneración de ambas especies. El ciprés y el coihue son consideradas especies intolerantes a la sombra, sin embargo, sus requerimientos de radiación solar pueden variar durante los



primeros estadios del desarrollo de las plántulas, dependiendo de otros factores. La regeneración de coihue se ve limitada bajo dosel cerrado, sin embargo, se ha observado regeneración bajo dosel en bosques maduros con sotobosque ralo. A su vez, la afinidad del coihue por sitios abiertos parece reducirse en sitios secos y cuando se expone a heladas. En los sitios donde se combina con el ciprés, el coihue comienza su regeneración en claros de 400-600 m², y acorde crecen los renovales se deben ir ampliando, mientras en los sitios menos húmedos la regeneración de coihue en los claros es afectada por eventos de sequía, en particular en los suelos rocosos con pendientes elevadas.

Por su parte, el ciprés es más tolerante a la sombra que el coihue, lo que le permite persistir mucho más tiempo bajo dosel, y también más resistente a las condiciones de déficit hídrico. Sin embargo, en sitios secos necesita cierta protección de la radiación directa y de los extremos de temperatura durante los primeros años de vida. La asociación de las plántulas de ciprés con plantas nodrizas permite que estas reciban menos niveles de radiación, menos variaciones de temperatura y aparentemente también mejoren su estado hídrico, siendo más marcado este efecto en estaciones muy secas. En estos sitios, la supervivencia de las plántulas de ciprés parece estar más condicionada por la alta radiación y elevadas temperaturas que por el contenido de humedad de suelo. En aquellos sitios donde la cobertura del bosque se redujo y no hay plantas que puedan actuar como nodrizas, la protección artificial puede ser una alternativa para promover el éxito en tareas de restauración (Figura 11). En la región donde crecen estas especies, la información acerca de cómo la protección artificial puede afectar la supervivencia y el crecimiento de las especies objetivo en ensayos de restauración es muy escasa.



Figura 11. Restauración activa de bosque de ciprés de la cordillera afectado por mal del ciprés donde se ha perdido la mayor parte de la cobertura arbórea por muerte en pie o volteo por pudrición de raíces.

En esta sección se describen los resultados de ensayos en vivero y a campo donde se evaluaron el comportamiento de plantines de ciprés y coihue. Los primeros tuvieron como objetivo generar conocimiento sobre las posibles interacciones entre la radiación solar y la humedad de suelo y su efecto sobre la supervivencia y crecimiento de la regeneración. Los estudios a campo se establecieron para generar conocimiento acerca del



comportamiento de plantines de ciprés y coihue frente a distintas condiciones de cobertura del dosel en dos sitios con condiciones de precipitación diferentes. A partir de los resultados es posible definir pautas de manejo para la etapa de regeneración del bosque puro y mixto, y evaluar la necesidad de adaptación de las pautas al gradiente de precipitación en el que estas especies se desarrollan.

3.1. Condiciones adecuadas para la supervivencia y crecimiento de ciprés y coihue en vivero

En esta primera parte se describen los resultados principales de dos experimentos bajo condiciones semi-controladas en vivero. El primer experimento se estableció para determinar el umbral de humedad edáfica mínimo para la supervivencia de cada especie y el crecimiento inicial bajo la combinación de dos condiciones de humedad edáfica (capacidad de campo y sin irrigación), y tres regímenes de radiación solar (alta, media y baja). El segundo experimento se estableció para examinar los efectos de la interacción entre tres niveles de humedad de suelo (alta, media y baja) y tres regímenes de radiación solar (alta, media y baja), sobre la supervivencia y el crecimiento inicial de las dos especies, y determinar que combinación de estos factores permitiría alcanzar las mejores tasas de crecimiento.

3.1.1. Metodología

Los dos ensayos en vivero se realizaron en el Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) en Esquel, provincia de Chubut. El Ensayo 1 fue desarrollado durante la temporada de crecimiento 2014-2015, y el Ensayo 2 durante las temporadas de crecimiento 2015-2016 y 2016-2017. Los factores bajo estudio fueron la radiación solar, la humedad edáfica y la especie, con un diseño de parcelas partidas (Tabla 2). La supervivencia y el crecimiento de plantines de ciprés y coihue fueron las variables respuesta. Los plantines se colocaron en macetas de 5 litros, con sustrato compuesto por tierra negra y arena volcánica en una proporción de 3:1.

Los niveles de radiación solar de cada tratamiento (Tabla 2) fueron logrados a través de unas estructuras cúbicas (cubículos) de 2 m³ de volumen revestidas con malla media sombra (Figura 12). Cada nivel de radiación solar se definió como el porcentaje de radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) recibida bajo cielo abierto al mediodía (Tabla 2). Los niveles de humedad se definieron con relación al porcentaje de humedad del suelo a capacidad de campo.

Al comienzo y al final de la temporada de crecimiento de ambos ensayos se midieron el DAC y la altura de todos los plantines sobrevivientes. La evolución temporal de la supervivencia durante la estación de crecimiento, así como la supervivencia e incrementos en DAC, altura y volumen al final del ensayo, se analizaron con modelos mixtos. En estos análisis se utilizaron p-



valores con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. Para los análisis mencionados se utilizó el software estadístico Infostat.



Figura 12. Estructuras cúbicas donde se dispusieron las plantas.

Tabla 2. Descripción de los ensayos de supervivencia y crecimiento de los plantines de ciprés y coihue bajo condiciones semi-controladas en vivero de las temporadas de crecimiento 2014-15 (Ensayo 1), y 2015-16 y 2016-17(Ensayo 2).

	<i>Ensayo 1</i>	<i>Ensayo 2</i>
<i>Tratamientos</i>	Seis: tres niveles de radiación solar y dos niveles de humedad.	Nueve: tres niveles de radiación solar y tres niveles de humedad.
<i>Diseño experimental</i>	Parcelas partidas. Primer factor: nivel de radiación solar. Segundo factor: nivel de humedad de suelo y especie	Parcelas partidas. Primer factor: nivel de radiación solar y nivel de humedad edáfica. Segundo factor: especie.
<i>Niveles de radiación solar</i>	En relación a cielo abierto: 100% (radiación solar alta, LA), 28% (radiación solar media-baja, LM) y 8% (radiación solar baja, LB).	En relación a cielo abierto: 95% (radiación solar alta, LA), 46% (radiación solar intermedia, LI) y 9% (radiación solar baja, LB).
<i>Niveles de humedad edáfica</i>	CC: 100-65% en relación a capacidad de campo (32-20% de humedad). ES: estrés, solo irrigación al inicio del ensayo hasta capacidad de campo, sin irrigación posterior.	En relación a capacidad de campo: R1: 100-80% (41-33% de humedad), R2: 70-50% (29-21% de humedad) y R3: 40-20% (16-8% de humedad).
<i>Edad de los plantines</i>	Ciprés: 4 años Coihue: 4 años	Ciprés:3 años Coihue: 1 años
<i>Número de plantines por tratamiento</i>	16 por especie	20 por especie
<i>Duración del ensayo</i>	15 semanas	16 semanas en la 1er temporada 26 semanas en la 2da temporada



3.1.2. Resultados

La estación de crecimiento 2014-2015 (diciembre, enero, febrero y marzo) fue cálida y muy seca. La precipitación acumulada en el período fue 87,8 % inferior al promedio histórico (10,6 vs 87 mm). Esto hizo que las condiciones de crecimiento fueron muy extremas durante el Ensayo 1.

Durante el período de crecimiento del Ensayo 1 en los tratamientos bajo estrés (ES) se observó mayor supervivencia de ciprés, y para un mismo nivel de radiación solar hubo un retardo en el momento de inicio de la mortalidad de ciprés respecto de coihue (Figura 13).

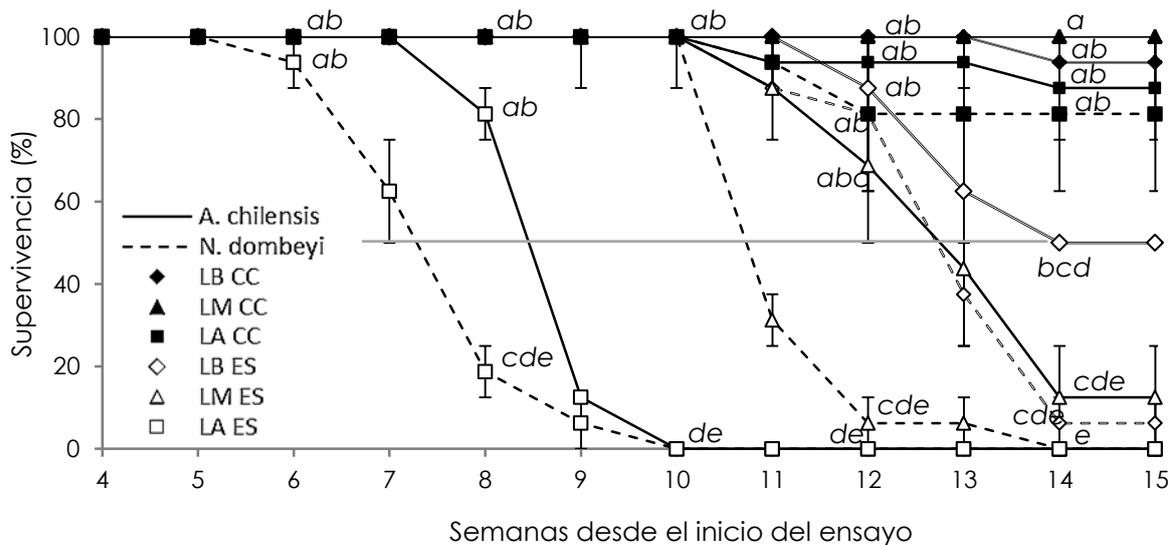


Figura 13. Supervivencia (%) de plantines de coihue (*N. dombeyi*) y ciprés (*A. chilensis*) durante el Ensayo 1 por tratamiento. Radiación solar: 100 % (LA), 28 % (LM) y 8 % (LB) en relación a cielo abierto. Humedad de suelo: 100-65 % en relación a capacidad de campo (negro) y sin riego (blanco). Medias con letras en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). La línea gris indica 50 % de supervivencia.

A su vez, en ambas especies se observó un retardo en el inicio de la mortalidad cuanto menor fue la radiación solar. Por ejemplo para ciprés en el nivel de estrés, el 50 % de la mortalidad se alcanzó durante la semana 8 en radiación solar alta, durante la 12 en radiación solar media-baja y en la semana 14 en radiación solar baja (Figura 13). El inicio de la mortalidad se registró en niveles de humedad de suelo mayores en la condición de radiación solar alta respecto a los de la condición de radiación solar baja para el coihue (9,7 vs 7,3 %) y el ciprés (9,2 vs 6,9 %). En los tratamientos con humedad a capacidad de campo (CC), la supervivencia disminuyó recién hacia el final del período de crecimiento (a partir de la semana 10), y no hubo diferencias entre especies ni niveles de radiación solar. La supervivencia al final del período de crecimiento sólo fue afectada por la humedad del suelo, siendo muy superior en plantas que fueron bien regadas.

Las condiciones ambientales durante el Ensayo 2 fueron más benévolas. La supervivencia durante y al final de la primera temporada de crecimiento fue alta y similar para los distintos tratamientos de radiación solar y humedad y



para las especies. La supervivencia al final de la primera temporada fue 98 % para el ciprés y 94 % para el coihue. Durante el invierno, dadas las fuertes heladas registradas, la supervivencia del coihue disminuyó ligeramente. En la segunda temporada de crecimiento la supervivencia de coihue y ciprés fue similar hasta la semana 11, luego la de ciprés fue mayor que la de coihue. La supervivencia del coihue con la menor humedad fue menor que en los demás niveles de humedad y que ciprés en todos los niveles de humedad. Al final del ensayo la supervivencia de las especies mantuvo la misma tendencia con un promedio de 94 % para ciprés y 71 % para coihue, respectivamente, no variando sustancialmente debido a la humedad ni a la radiación solar.



Figura 13. Plantas de ciprés (Izq.) y de coihue (Der.) al final del Ensayo 2. Las marcas de graduación corresponden a 5 cm.

Al final de la segunda temporada en el Ensayo 2 los mayores incrementos en DAC se produjeron en el coihue y en los niveles de radiación solar intermedia y alta (Figura 13 y 14). En el incremento en volumen se observaron resultados similares, siendo mayor el incremento en el coihue y en el nivel de radiación solar intermedia. Respecto al incremento en altura el coihue creció más que ciprés en todos los tratamientos (15,8 cm del coihue vs 6,0 cm del ciprés). La humedad edáfica no mostró efectos sobre ninguno de los parámetros de crecimiento medidos.



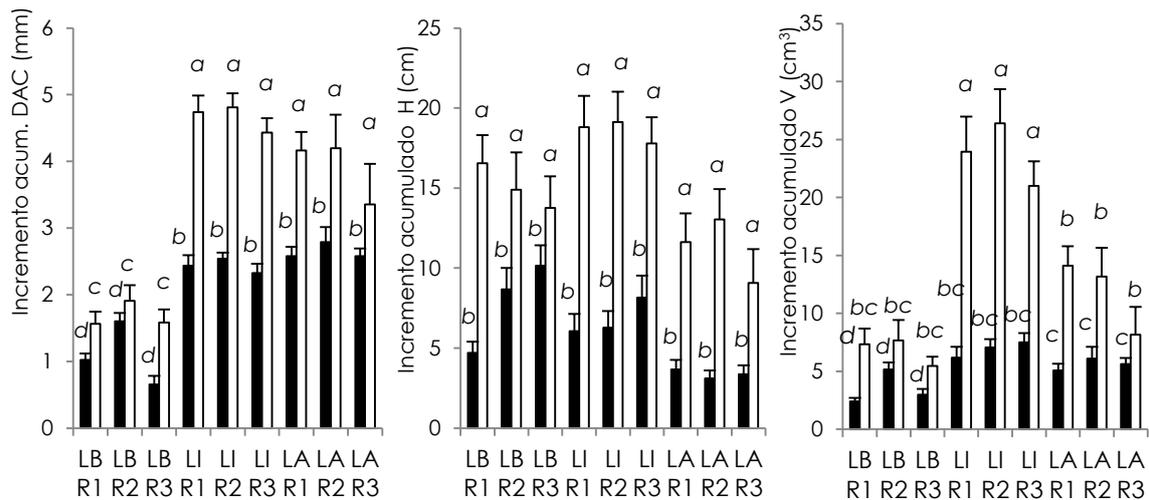


Figura 14. Incremento en diámetro de cuello (DAC), altura (H) y volumen (V) acumulado durante el Ensayo 2 para ciprés (negro) y coihue (blanco) por tratamiento y error estándar. Medias con letras en común no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$).

3.1.3. Conclusiones

Los resultados muestran que en condiciones semi-controladas en vivero la humedad del suelo y la radiación solar afectan el comportamiento de coihue y ciprés de manera similar. La supervivencia del ciprés y del coihue está condicionada en primer lugar por la humedad edáfica y en segundo por la radiación solar. Si la humedad edáfica es suficiente, ambas especies pueden tener alta supervivencia, incluso en niveles radiación solar tan bajos como 8% respecto a cielo abierto. Cuando la humedad es crítica, la mayor tolerancia a la sombra y a la sequía del ciprés se pone de manifiesto con una supervivencia mayor respecto del coihue aunque, si las condiciones de déficit hídrico permanecen, estas diferencias pueden desaparecer. Este comportamiento puede estar relacionado a diferencias en los mecanismos eco-fisiológicos de las dos especies. Para evitar el estrés, el ciprés cierra sus estomas en respuesta a altas demandas evaporativas, lo que permite que la planta conserve algo de agua en sus tejidos. Bajo condiciones similares de baja humedad de suelo y alta evaporación, el coihue no muestra la misma estrategia, incrementando la conductancia estomática, para intentar extraer más agua del suelo, lo que puede resultar en su deshidratación. Para ambas especies, un descenso de la humedad del suelo durante la estación de crecimiento por debajo de 8% de contenido de agua (<20% de la capacidad de campo), sería responsable de que se desencadene el proceso de mortalidad. Es razonable entonces, establecer el 8% de contenido de agua en el suelo, como un umbral mínimo para propiciar la supervivencia de la mayoría de los plantines de ciprés y coihue.

En condiciones de falta de agua, el umbral de humedad de suelo que permitió que las plantas sobrevivan varió a su vez en función de la radiación solar recibida. Plantas creciendo con menor luminosidad pueden soportar un



nivel de humedad de suelo ligeramente menor que aquellas expuestas a más radiación solar. Existen antecedentes que indican que la sombra puede generar una mejora en las condiciones hídricas de los individuos, al reducir las diferencias de presión de vapor entre los plantines y el aire que los rodea.

El coihue crece notablemente más que el ciprés desde el estadio de plantín. Tanto el coihue como el ciprés pueden ver afectado su crecimiento por el efecto de la radiación solar. Con baja radiación solar, el incremento en diámetro y en volumen fue bajo. El incremento en altura es mayor en la radiación solar intermedia y alta, aunque cuando se evaluó el crecimiento de dos años este último efecto tendió a desaparecer, asemejándose esta variable en las distintas coberturas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que los requerimientos de radiación solar pueden variar con el desarrollo del árbol. Una vez que los plantines están establecidos, sus necesidades de protección del sotobosque o del dosel empiezan a disminuir y pueden tener mayores necesidades de radiación solar para continuar desarrollándose hasta alcanzar el canopeo.

3.2. Experiencia de plantación a campo en un gradiente de precipitación y bajo diferentes coberturas del dosel.

Los experimentos de campo se establecieron para determinar la supervivencia y crecimiento inicial de plantines de ciprés y coihue, en bosques de ciprés afectados por el mal del ciprés, ubicados en dos rangos de precipitación (xérico y méxico), bajo tres niveles de cobertura arbórea (sin cobertura, 30-60% de cobertura y más de 70% de cobertura) y dos niveles de vegetación herbácea circundante (con y sin remoción). En un segundo experimento a campo, se evaluó en los sitios sin cobertura, el efecto de la protección artificial y el efecto de la remoción de la vegetación competidora, sobre la supervivencia y crecimiento inicial de plantines de ciprés y coihue.

3.2.1. Metodología

En un área representativa de la distribución natural de ciprés, se seleccionaron dos sitios, uno que presenta condiciones ambientales méxicas (43° 11' S, 71° 40' O) y otro con condiciones xéricas (43° 12' S, 71° 31' O), en noroeste de Chubut. En el sitio méxico la vegetación predominante está compuesta por bosque de ciprés afectado por el mal del ciprés y degradado por ganado vacuno y equino. En el sitio xérico, la vegetación predominante es un bosque de ciprés degradado por ganado vacuno y con algunos árboles enfermos por mal del ciprés, que fue afectado por un incendio durante el verano de 1990. El valor histórico de precipitación anual para el sitio méxico es de 984 mm, dato tomado en la estación meteorológica de INTA Trevelin (serie 1970-2012). Para el sitio xérico el valor histórico es de 690 mm al año, tomado de la estación meteorológica Nant y Fall (serie 1964-1988).



En cada sitio se seleccionaron zonas con distinto nivel de cobertura arbórea: alta (mayor a 70% de cobertura), intermedia (30-60%) y sin cobertura (0%) (Figura 15). En cada cobertura se establecieron 3 parcelas de plantación con ciprés y coihue. Además, se evaluaron los efectos de la vegetación herbácea circundante (con y sin) y, en las parcelas sin cobertura, el efecto de la utilización de protección artificial de la radiación con tubos de plástico PET blancos con ventilaciones. La vegetación circundante, compuesta principalmente por pastos y hierbas (Figura 16), se removió con pala y de raíz en un ancho de 50 cm a los lados de la planta, en dos momentos en cada estación de crecimiento (noviembre y febrero). Se presentan los resultados para las variables respuesta supervivencia e incremento en altura.

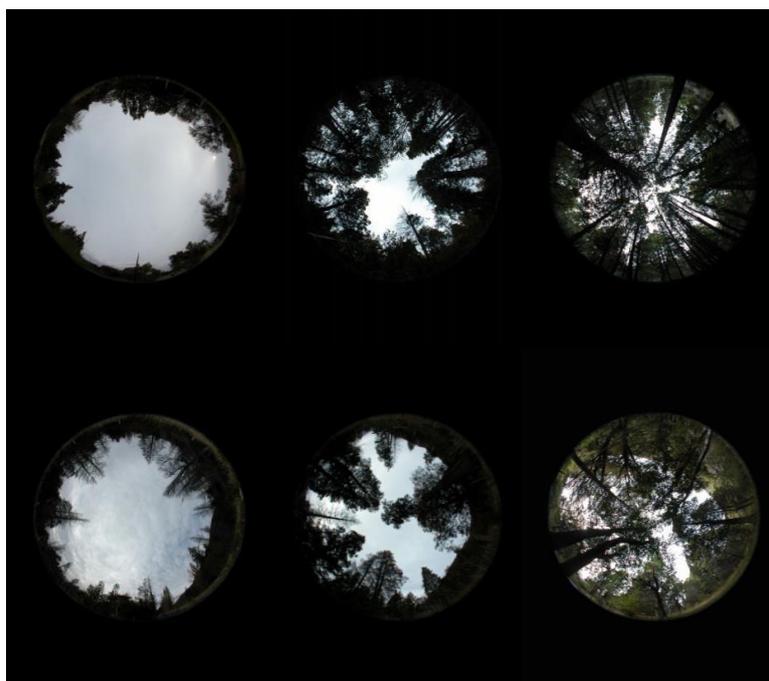


Figura 15. Fotografías tomadas con lente hemisférica de las parcelas en ambos sitios (mésico: abajo, xérico: arriba) correspondientes a los tratamientos sin cobertura (izq.), cobertura intermedia (centro) y cobertura alta (der.).

A partir de 2016 se obtuvieron datos de temperatura y humedad de suelo de sensores instalados a una profundidad de 15 cm en una parcela al azar en cada nivel de cobertura del dosel en ambos sitios. Los datos fueron registrados cada una hora y colectados en dataloggers (HOBO y Decagon Em5b).

Ambas temporadas de crecimiento analizadas tuvieron condiciones similares a los valores medios históricos. En ambos sitios se observó una gran variabilidad diaria en la temperatura del suelo en las parcelas sin cobertura del dosel y con cobertura intermedia, en comparación con las parcelas con alta cobertura del dosel. En el sitio xérico la temperatura del suelo fue mayor en la parcela sin cobertura, alcanzando casi 30°C en verano, mientras que bajo cobertura intermedia y alta, la temperatura no excedió los 20°C. En el sitio mésico la tendencia fue similar, pero la diferencia de las temperaturas máximas entre la parcela con cobertura alta y las menos cubiertas, fue de sólo



5°C. A su vez, se observó una menor variabilidad diaria de la humedad del suelo bajo alta cobertura del dosel. Las parcelas de cobertura intermedia y alta mostraron los valores máximos y mínimos de humedad de suelo, especialmente en el sitio xérico. El sitio méxico presentó un valor mínimo de humedad de suelo cercano a 10%, mientras que en el sitio xérico menor al 5%.



Figura 16. Arriba: Plantación en parcela sin cobertura arbórea donde se observan las filas con protectores individuales contra la radiación y las filas con remoción de vegetación (Izq.: sitio xérico. Der.: sitio méxico). Abajo: Plantación en parcela con cobertura arbórea alta donde se observan las filas con remoción de vegetación (Izq.: sitio xérico. Der.: sitio méxico).

3.2.2. Resultados

En ambos sitios la supervivencia fue afectada por la cobertura, la vegetación circundante y la especie. En el sitio méxico las mayores supervivencias se registraron en la cobertura alta en ambas especies (89% en el ciprés; 86% en el coihue), y en ciprés sin cobertura (83 %). En cuanto al



efecto de la vegetación circundante se observó que ambas especies tuvieron una supervivencia similar con y sin remoción de la vegetación circundante (ciprés: 81% sin remoción y 67% con remoción; coihue: 55% sin remoción y 69%, $s = 5$ con remoción). En el sitio xérico la supervivencia de coihue sin remoción y sin cobertura fue menor (2,8%) que la de coihue con remoción en las coberturas alta (83,3%) e intermedia (91,7%), y que la del ciprés sin remoción en la cobertura intermedia (72,2%).

En el sitio méxico las plantas sin vegetación circundante y sin cobertura fueron las que más crecieron en altura, aunque su crecimiento fue similar al de las plantas de la cobertura alta con y sin remoción de la vegetación circundante (Figura 17). Las plantas que menos crecieron fueron las de sin cobertura y sin remoción, siendo similar su crecimiento al de las plantas de la cobertura intermedia con y sin remoción (Figura 18). Las plantas de coihue de la cobertura alta mostraron el mayor crecimiento (33,16 cm vs intermedia: 15,22 cm vs sin cobertura: 18,77 cm; vs ciprés: 16,78 cm sin cobertura; 14,42 cm con cobertura alta; 12,2 cm con cobertura intermedia).



Figura 17. Izq.: Planta de coihue creciendo sin vegetación circundante y sin cobertura, en el sitio méxico. Der.: Plantas de ciprés y coihue creciendo sin vegetación circundante bajo cobertura alta, en el sitio méxico.

En el sitio xérico no se observaron diferencias entre tratamientos y algunas plantas mostraron disminución de la altura debido al marchitamiento del ápice. El incremento promedio en altura en este sitio fue de 9,72 cm.

En el sitio méxico no se observaron efectos de la protección artificial. En el sitio xérico las plantas con protección tuvieron mayor supervivencia (60 vs 30% sin protección). Por otro lado, hubo mayor supervivencia por efecto de la remoción de la vegetación (con y sin remoción: ciprés: 86% vs 42%; coihue: 42% vs 10%, respectivamente).



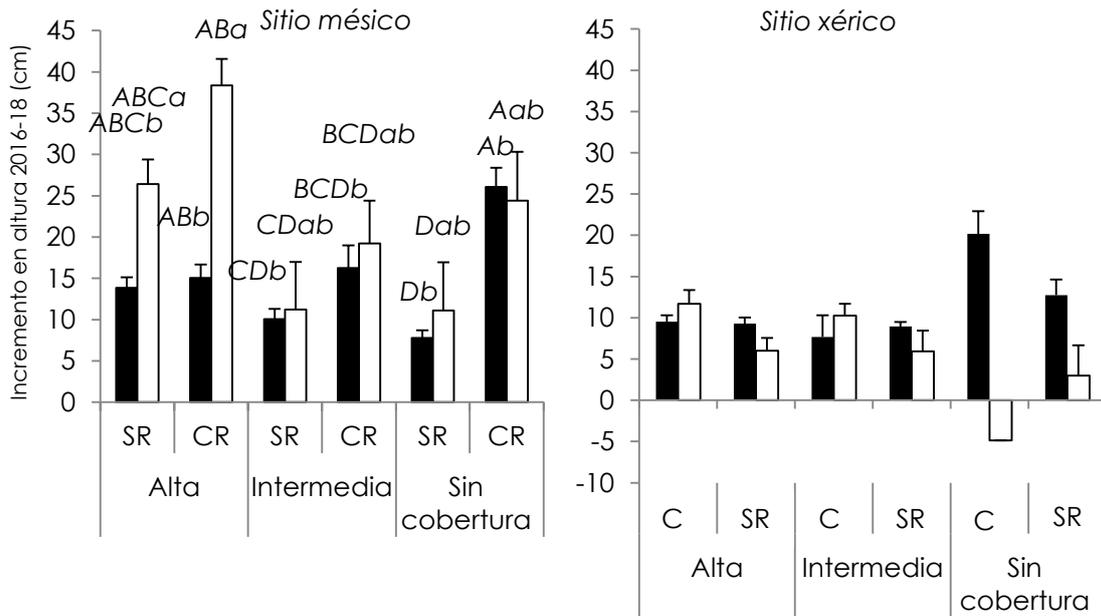


Figura 18. Incremento en altura al final de la segunda temporada de crecimiento (2016-18) para plantas de ciprés (negro) y coihue (blanco) creciendo con remoción de la vegetación circundante (CR) y sin remoción (SR) en las coberturas alta (mayor a 70% de cobertura), intermedia (30-60%) y sin cobertura para el sitio mésico y el sitio xérico. Letras en común indican que no se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$): en el sitio mésico mayúscula indica el efecto de la interacción cobertura-vegetación circundante y la minúscula el efecto marginal de la cobertura-especie.

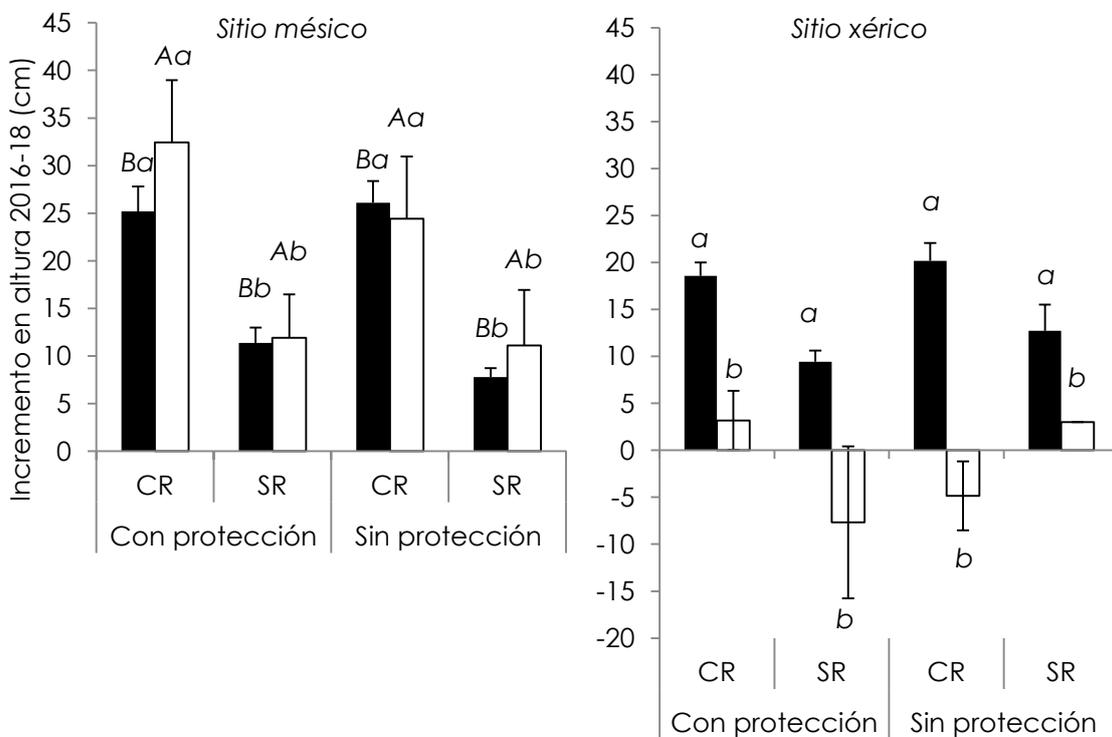


Figura 19. Incremento en altura al final de la segunda temporada de crecimiento (2016-18) en las parcelas sin cobertura para plantas de ciprés (negro) y coihue (blanco) con remoción de la vegetación circundante (CR), sin remoción (SR), utilizando protectores artificiales (Con protección) y sin ellos (Sin protección), para el



sitio méxico y el sitio xérico. Letras en común indican que no se detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$): en el sitio méxico se muestra en mayúscula el efecto de la especie y en minúscula el efecto de la vegetación circundante; en el sitio xérico se muestra el efecto de la especie.

El incremento en altura no fue afectado por la protección artificial ni por la combinación de vegetación artificial y protección en ninguno de los dos sitios (Figura 19).

3.3.3. Conclusiones

La cobertura del dosel tiene un rol importante en la supervivencia de ambas especies. Se ha sugerido en sitios méxicos que una alta cobertura del dosel beneficia la supervivencia de las plantas de ciprés tanto en condiciones secas como húmedas, lo que coincide con los resultados de este estudio. El coihue si bien en sitios húmedos presenta afinidad por sitios abiertos, en condiciones méxicas y xéricas necesita protección del dosel dado que no cuenta con estrategias para evitar los efectos de la falta de humedad y las altas demandas evaporativas. En estos sitios la sombra disminuye la diferencia de presión de vapor entre las hojas y el ambiente mejorando el estado hídrico de las plantas.

Aunque se observa que una cobertura boscosa favorece la supervivencia, los cipreses plantados sin cobertura pueden equiparar su supervivencia respecto a los plantados bajo cobertura. Esto indicaría que en el sitio méxico ciprés encontró un régimen de humedad suficiente como para tolerar la alta radiación, es decir, que bajo estas condiciones ambientales no requerirían de especies nodrizas o protección, como sí requiere en sitios o años más secos. Por otro lado, la falta de cobertura en condiciones ambientales extremas puede ser letal en estas especies, tanto en sitios méxicos como en xéricos, por las altas temperaturas que se pueden registrar en el suelo bajo estas condiciones.

La supervivencia en las parcelas sin cobertura es favorecida por la protección artificial en el sitio xérico, llegando a equiparar los porcentajes de supervivencia bajo cobertura de dosel cuando se combina con la eliminación remoción de la vegetación circundante, compuesta principalmente por pastos y hierbas. De los resultados se deduce que en el sitio xérico el principal factor limitante para la supervivencia sería la humedad y de allí la importancia de disminuir la presencia de pastos y hierbas en la proximidad inmediata del plantín y proteger a los plantines de la desecación a través de la protección artificial en la tareas de restauración. Estos hallazgos permiten especular que las tareas de restauración activa en sitios xéricos de bosque de ciprés degradado severamente por mal del ciprés y ganado pueden resultar exitosas, acelerando la recuperación de la cobertura boscosa. En el sitio méxico en cambio, la supervivencia fue similar entre plantas con y sin remoción de la vegetación, independientemente de la cobertura boscosa, aunque la remoción de la vegetación mejoró el crecimiento de las plantas.



La falta de cobertura arbórea en el sitio méxico favorece el crecimiento en altura del coihue respecto al ciprés pero no mejora el crecimiento respecto al de los plantines bajo dosel, mientras que en el sitio xérico las plantas crecieron altura de manera similar en todas las coberturas. Este resultado no era esperado para el coihue, ya que los antecedentes indican una afinidad por sitios abiertos. Este comportamiento indicaría que aún en condiciones como las del sitio méxico evaluado, la humedad no es suficiente para que el desarrollo de coihue sin cobertura sea mejor que bajo dosel, al menos en los primeros años desde la plantación. A su vez, sin cobertura en el sitio xérico el coihue creció menos que el ciprés, incluso presentando decrecimiento por marchitamiento del ápice, aún remoción de la vegetación y con protección artificial. Esto indica que no es recomendable la plantación de coihue en sitios xéricos sin cobertura y sin remoción de la vegetación circundante, aun utilizando protección artificial. Si bien la protección posibilita la supervivencia, la tasa de crecimiento es muy baja, probablemente debido a la falta de humedad.

3.3 IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO

La restauración de los bosques degradados por mal del ciprés y el enriquecimiento de los bosques puros de ciprés con coihue, resultan posibles a la radiación solar de los conocimientos generados en esta tesis. De los estudios realizados en vivero y a campo sobre las condiciones adecuadas para el desarrollo de plantines de ciprés y coihue, se desprende que la restauración y el enriquecimiento forestal mediante plantación son muy recomendables en sitios méxicos y xéricos, si se realiza bajo una cobertura del dosel de más de 30%, es decir, con cobertura intermedia a alta. Para la plantación en sitios sin cobertura arbórea, es recomendable el uso de protección artificial, ya que puede aumentar la supervivencia, especialmente en sitios xéricos.

A su vez, se sugiere la remoción de pastos y hierbas en la cercanía inmediata del plantín debido a que esta práctica puede aumentar la supervivencia en los sitios xéricos, y el crecimiento en los méxicos. En sitios xéricos sin protección del dosel la especie a seleccionar para su plantación debería ser el ciprés, mientras que con protección del dosel pueden usarse ambas especies, al igual que en sitios méxicos, tanto con protección del dosel, como con protectores artificiales. Estos resultados son auspiciosos para la restauración activa de los bosques degradados por el mal del ciprés y para el enriquecimiento de los bosques puros de ciprés con coihue para la conversión a bosques mixtos, imitando el proceso que se da naturalmente. El objetivo final de estas acciones debería ser producir rodales saludables y productivos de ciprés y coihue, contribuyendo a restaurar sus funciones ecológicas y escénicas.





4. PUBLICACIONES SURGIDAS DE ESTA TESIS

Caselli M., Urretavizcaya M.F., Loguercio G.A., Defossé G.E., 2018. Light and moisture conditions suitable for establishing andean cypress and coihue beech seedlings in patagonia: a nursery approach. *Forest Science* 65(1):27-39. DOI: doi.org/10.1093/forsci/fxy032

Caselli M., Loguercio G.A., Urretavizcaya M.F., Defossé G.E., 2019. Developing silvicultural tools for managing mixed forest structures in Patagonia. *Forest Science*, 66(1):119–129. DOI: doi.org/10.1093/forsci/fxz052

Caselli M., Urretavizcaya M.F., Loguercio G.A., Contardi L., Gianolini S., Defossé G.E., 2020. Effects of canopy cover and neighboring vegetation on the early development of planted *Austrocedrus chilensis* and *Nothofagus dombeyi* in north Patagonian degraded forests. *Forest Ecology and Management*, 479 (1): January 2021, 118543. DOI: doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118543

Caselli M., 2020. Crecimiento de *Austrocedrus chilensis* y *Nothofagus dombeyi* en bosques mixtos y condiciones ambientales para el desarrollo de sus renovales: contribuciones al manejo de rodales afectados por el mal del ciprés. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/93076>. DOI: doi.org/10.35537/10915/93076

5. FINANCIAMIENTO DE LA TESIS

La tesis fue realizada a través de una beca interna de posgrado del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Las actividades fueron financiadas por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva de la Nación según Acta Acuerdo Interjurisdiccional 12Feb2015 entre el Gobierno Nacional, las Provincias Patagónicas y Miembros Promotores del Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) (Proyecto P4-A2-013); por la Unidad para el Cambio Rural (UCAR), Programa de Sustentabilidad y Competitividad Forestal (Proyecto de Investigación Aplicada 14067); y a través del Proyecto de Unidad Ejecutora 2016 CONICET-CIEFAP (PUE 4116/16).

El financiamiento de esta publicación corresponde al Proyecto de Unidad Ejecutora 2016 CONICET-CIEFAP (PUE 4116/16).

