



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

**EFFECTO DE TÉCNICAS DE MANEJO DURANTE LA VIVERIZACIÓN PARA
PROMOVER ATRIBUTOS MORFO-FISIOLÓGICOS ASOCIADOS A
RESISTENCIA AL DÉFICIT HÍDRICO EN DOS ARBUSTOS MELÍFEROS
NATIVOS DE CHILE CENTRAL**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para optar al título profesional Ingeniera en Biotecnología Vegetal

POR: Flavia Augusta Cresta Recasens

Profesora Guía: Carolina Estela Álvarez Maldini

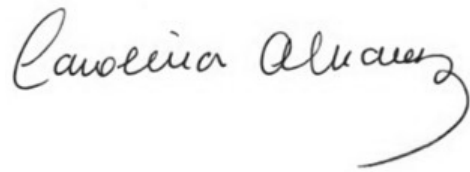
Marzo, 2025

Concepción, Chile

© 2025, Flavia Augusta Cresta Recasens

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

**EFFECTO DE TÉCNICAS DE MANEJO DURANTE LA VIVERIZACIÓN PARA
PROMOVER ATRIBUTOS MORFO-FISIOLÓGICOS ASOCIADOS A
RESISTENCIA AL DÉFICIT HÍDRICO EN DOS ARBUSTOS MELÍFEROS
NATIVOS DE CHILE CENTRAL**



Profesora Guía

Carolina Estela Álvarez Maldini

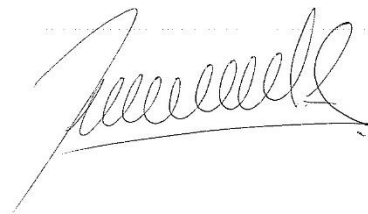
Profesora Asistente
Ingeniera Forestal, Dra.



Profesor Guía

Manuel Eduardo Sánchez Olate

Profesor Asociado
Ingeniero Forestal, Dr.



Profesor Guía

Manuel Alejandro Acevedo Tapia

Colaborador Externo
Ingeniero Forestal, Dr.

*A Tatiana y Leonardo,
por ser quienes son
y hacerme quien soy.*

AGRADECIMIENTOS

En esta etapa de intenso aprender, trabajar, de infinitas conversaciones y preguntas, quiero agradecer a cada una de las personas que estuvieron presentes en este periodo de más de un año el cual me gusta llamar “la fisiología y la viverización de plantas no es para los débiles de espíritu”.

Al Dr. Manuel Sánchez quien fue la primera persona en confiar en mí para participar en una tesis de posgrado e introducirme al mundo de los viveros, sin él no había descubierto este maravilloso mundo.

Agradezco al Dr. Manuel Acevedo, mi co-guía, por su eterna paciencia y sus lecciones, por incentivar me a hacer preguntas y buscar un poco más allá, gracias por estar constantemente alimentando mi curiosidad, respondiendo cada pregunta y duda.

A mi profesora guía, la Dra. Carolina Álvarez, gracias por abrirme las puertas de su oficina, y encaminarme en este desafiante pero hermoso mundo que es la fisiología vegetal, gracias por confiar en mi para convertir el primer objetivo de su proyecto FIBN en el tema de esta tesis, por ser fuente de inspiración y admiración, no me alcanzan las palabras para describir todo lo que aprendí de ella, una gran científica y persona, no podría haber tenido mejor guía.

Quiero agradecer a todo el personal e integrantes del CTPF del INFOR por recibirme cuando llegue a hacer mi práctica y posteriormente la tesis, por ayudarme en esas intensas tareas bajo el sol y a plena lluvia, no habría sido posible sin su ayuda.

A mis padres, quienes jamás dejaron de creer, de preguntar y de demostrarme cuan orgullosos estaban, por consentir que siguiera mis sueños desde el día que decidí que quería dedicarme a la ciencia y mucho antes, gracias por apoyar cada decisión, son mi alma, mi motivación y mi más grande fuente de admiración.

A mis hermanos, que aun en la distancia siempre me mostraron su apoyo y orgullo.

Agradezco a cada uno de mis amigos, aquellos incondicionales que me escucharon quejarme y sufrir, pero que también me dejaban hablar sin parar sobre cuánto me gustaba lo que estaba haciendo.

A mi amor, por ser casa lejos de casa, por nunca dejar de decirme que confiara en mí porque podría lograrlo sin problema, apoyándome cada vez que la moral bajaba y el cansancio se presentaba, especialmente en los últimos meses, tenías razón.

A la Kira, mi fiel compañera, por su compañía en esas madrugadas que me quedaba leyendo y escribiendo, por siempre recibirme con sus maullidos y moviendo la cola cuando llegaba tarde y cansada.

Finalmente, pero no menos importante, me agradezco a mí misma, a todas las Flavias, las que perseveraron, que se levantaban los fines de semana para ir al vivero, las que se entregaron a los sueños y preguntas de la Flavia pequeña que siempre soñó con ser científica... Lo dimos todo, y valió la pena.

Y a mis plantas, siempre a mis plantas, en ellas encuentro vida, preguntas y sueños.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	10
2.1 Colecta de semillas y germinación.....	10
2.2 Viverización de plantas	10
2.3 Tratamiento de poda química radical	12
2.4 Tratamientos de manejo de riego.....	12
2.5 Evaluaciones morfo-fisiológicas.....	14
2.6 Diseño experimental y análisis de datos	17
III. RESULTADOS	19
3.1 Evaluaciones morfológicas	19
3.2 Distribución de biomasa.....	22
3.3 Estatus nutricional.....	25
3.4 Conductancia estomática (gs).....	27
3.5 Contenido relativo de clorofila (CRC).....	28
3.6 Supervivencia	29
3.7 Curvas presión-volumen	30
IV. DISCUSIÓN	32
4.1. Efecto del riego y poda química de raíces sobre atributos morfológicos en <i>E. pulverulenta</i> y <i>A. dentata</i>	32
4.2. Efecto en el estatus nutricional y comportamiento en <i>E. pulverulenta</i> y <i>A. dentata</i>	35
4.3. Plasticidad de atributos morfo-fisiológicos en <i>A. dentata</i> y <i>E.</i> <i>pulverulenta</i>	37
4.4. Implicancias para la producción en vivero	39
V. CONCLUSIONES	40
VI. GLOSARIO	41
VII. BIBLIOGRAFÍA	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.1. Tabla de significancia para las variables morfológicas de largo de tallo y diámetro de cuello de *Escallonia pulverulenta* y *Azara dentata* en respuesta a los tratamientos de riego y poda química de raíces y su interacción. Valores en negrita y subrayado indican diferencias significativas para $p < 0,05$. D.F: grados de libertad 20

Tabla 3.2.1. Medias con sus desviación estándar y significancia de los tratamientos de riego con criterio (CR 50%) y sistemático (SIS), y con poda (CP) y sin poda (SP) química de raíces y su interacción sobre parámetros de biomasa y distribución entre componentes en *Escallonia pulverulenta* y *Azara Dentata*. Valores en negrita y subrayado indican diferencias significativas para $p < 0,05$. D.F: grados de libertad. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con Tukey. n.s: no significativo de acuerdo a Tukey 24

Tabla 3.3.1. Significancia en la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de los tratamientos de riego con criterio (CR 50%) y sistemático (SIS) y con poda (CP) y sin poda (SP) química de raíces y su interacción sobre el estatus nutricional de *Escallonia pulverulenta* y *Azara dentata*. Valores en negrita y subrayado indican diferencias significativas para $p < 0,05$. D.F: grados de libertad 25

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.4.1. Monitoreo de riego con balanzas análogas para los tratamientos sistemático (SIS) (a) y de riego con criterio (CR 50%) (b) para *Escallonia pulverulenta* (línea azul) y *Azara dentata* (línea roja) durante la etapa de pleno crecimiento. La línea segmentada indica el umbral de riego (50%). Se realizaron un total de 68 y 53 labores en *E. pulverulenta* y *A. dentata*, respectivamente para el tratamiento de riego con criterio (CR 50%) y un total de 167 labores en *E. pulverulenta* y *a. dentata* para el tratamiento de riego sistemático (SIS) 13

Figura 3.1.1. Largo de tallo (cm) (a) y diámetro de cuello (mm) (b) de plantas de *Escallonia pulverulenta* durante el período de pleno crecimiento sometidas a tratamientos de riego sistemático (SIS) y con criterio (CR 50%) y sin (SP) y con (CP) poda química de raíces. Símbolos indican media \pm desviación estándar. 20

Figura 3.1.2. Largo de tallo (cm) (a) y diámetro de cuello (mm) (b) de plantas de *Azara dentata* durante el período de pleno crecimiento sometidas a tratamientos de riego con criterio (CR 50%) y sistemático (SIS) y con poda (CP) y sin poda (SP) química de raíces. La línea sólida en cada caja representa la mediana y la línea segmentada representa la media. Barras sobre y bajo las cajas indican desviación estándar. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con Tukey y puntos negros sobre y bajo las cajas corresponden a outliers. Valores en las cajas indican media. 21

Figura 3.3.1. Concentraciones foliares de nitrógeno (N) (a) y de potasio (K) (b) para tratamientos de riego bajo criterio (CR 50%) y sistemático (SIS) y de K para los tratamiento con poda (CP) y sin poda (SP) química de raíces (c) en de *Escallonia pulverulenta* al final de la fase de pleno crecimiento. La línea sólida en cada caja representa la mediana y la línea azul segmentada representa la media. Barras sobre y bajo las cajas indican desviación estándar. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con Tukey. Valores en caja representan media..... 26

Figura 3.3.2. Concentraciones foliares de nitrógeno (N) para los tratamientos de riego sistemático (SIS) y con criterio (CR 50%) (a) y de fósforo (P) para la interacción de los tratamientos de riego y con (CP) y sin (SP) poda química de raíces (b) en *Azara dentata*. La línea sólida en cada caja representa la mediana y la línea azul y roja segmentada representa la media. Barras sobre y bajo las cajas indican desviación estándar. Distintas letras indican diferencias

significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con Tukey. Valores en cajas representan media..... 27

Figura 3.5.1. Contenido relativo de clorofila (CRC, unidades de SPAD) durante la fase de pleno crecimiento de *Escallonia pulverulenta* en respuesta a los tratamientos de riego sistemático (SIS) y con criterio (CR 50%). Símbolos indican media + desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para el mismo tiempo de medición. ** indican diferencias significativas entre tiempos de medición para el mismo tratamiento para $p < 0,01$, ns indica sin diferencias significativas entre tiempos de medición para el mismo tratamiento de riego de acuerdo a Tukey..... 29

Figura 3.7.1. Capacitancia hidráulica absoluta ($C_{FT, absolute}$) para los tratamientos de riego con criterio (CR 50%) y sistemático (SIS) en *Azara dentata*. La línea sólida en cada caja representa la mediana y la línea segmentada representa la media. Barras sobre y bajo las cajas indican desviación estándar. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con Tukey. Valores en las cajas representan media..... 30

RESUMEN

Las técnicas de producción de plantas en vivero tienen como objetivo modificar atributos morfo-fisiológicos para mejorar el desempeño durante el estrés hídrico después del establecimiento en campo. Técnicas como poda química de raíces y riego basado en la demanda hídrica de la planta se aplican para tal fin, pero carecen de evidencia científica en especies arbustivas. Por eso, se investigó el efecto de las técnicas mencionadas anteriormente durante la producción en vivero de *Escallonia pulverulenta* y *Azara dentata*, arbustos nativos del centro mediterráneo de Chile. Se evaluaron dos esquemas de riego: basado en la demanda de la planta (CR 50%) y sistemático (SIS), y dos tratamientos de poda de raíces: control sin poda de raíces (SP) y poda de raíces aplicando oxiclóruo de cobre (CP). Se midió crecimiento, estado nutricional, distribución de biomasa, concentración relativa de clorofila (CRC) y relación presión-volumen (PV). En *E. pulverulenta*, el tratamiento CR 50% redujo el tamaño de la planta (diámetro y longitud) pero aumentó la relación raíz-brote. En *A. dentata*, la interacción entre la poda de raíces y el riego afectó el tamaño de la planta; se observó un mayor diámetro y longitud del tallo en la combinación de tratamientos CR 50% x CP. En ambas especies, CP disminuyó la biomasa de la raíz. En ambas especies el tratamiento CR 50% aumentó la concentración de nitrógeno foliar y el CRC. Después de un evento de helada, observamos que el esquema de riego afectó la supervivencia en ambas especies, donde las plantas en el tratamiento CR 50%

tuvieron una mayor supervivencia. Con respecto a los caracteres PV, solo la capacitancia absoluta ($C_{FT, absolute}$) se vio afectada en *A. dentata*, donde $C_{FT, absolute}$ fue mayor en el riego sistemático. En consecuencia, CR 50% fue el tratamiento que mayormente indujo cambios en los caracteres morfo-fisiológicos relacionados con la resistencia a la sequía en ambas especies.

ABSTRACT

Nursery production techniques aim to modify morpho-physiological traits to improve performance during water stress after field establishment. Techniques such as chemical root pruning and irrigation based on plant water demand are applied for such purpose, but lack scientific evidence in shrub species. Thus, we researched the effect of above-mentioned techniques during nursery production of *Escallonia pulverulenta* and *Azara dentata*, two native shrubs species from Mediterranean central Chile. We tested two irrigation schemes: based on plant demand (CR 50%) and systematic (SIS), and two root pruning treatments: control without root pruning (SP) and root pruning with copper oxychloride application (CP). We measured growth, nutritional status, biomass distribution, relative chlorophyll concentration (CRC), and pressure-volume (PV) relationship. In *E. pulverulenta*, the CR 50% treatment reduced plant size (diameter and length) but increased the root-to-shoot ratio. In *A. dentata*, interaction between root pruning and irrigation affected plant size; higher stem diameter and length was observed in the CR 50% x CP treatment combination. In both species, CP decreased root biomass. As expected, in both species, the CR 50% treatment increased leaf nitrogen concentration and CRC. After a frost event, we observed that irrigation scheme affected survival in both species, where plants in the CR 50% treatment had higher survival. Regarding PV traits, only absolute capacitance ($C_{FT, absolute}$) was affected in *A. dentata*, where $C_{FT, absolute}$ was higher in systematic irrigation.

Consequently, the CR 50% was the treatment that mostly induced changes in morpho-physiological traits related to drought resistance in both species.

I. INTRODUCCIÓN

El año 2019 se generó el informe científico de IPBES, el cual evidencia el rápido deterioro de la naturaleza a nivel mundial. Según los resultados del informe, tres cuartas partes del medio ambiente terrestre han sido alterados significativamente, donde el cambio climático con su incremento en las temperaturas y alteración en las precipitaciones se muestra como el principal contribuyente de la alteración de los ecosistemas (IPBES, 2019). En Chile central se proyecta que las precipitaciones disminuirán entre un 20-30 % para el año 2050, acompañado de un aumento de la temperatura promedio de 3 °C a 4 °C, causando un aumento en la demanda de recursos hídricos que pondría en riesgo los ecosistemas de agua dulce (Hannah et al., 2013). Por otro lado, Chile mediterráneo es un ecosistema que presenta una alta vulnerabilidad a sufrir incendios forestales (Cordero et al., 2024). En la última década alrededor de 1,7 millones de hectáreas (ha) han sido consumidas debido a estos incendios, lo cual se vuelve especialmente preocupante considerando que esta zona es una de las principales 35 *hotspots* de biodiversidad para priorizar con respecto a la conservación a nivel mundial (Mittermeier et al., 2004; Muñoz-Sáez et al., 2021; Myers et al., 2000; Williams et al., 2011).

Consecuentemente existe prioridad de restaurar los ecosistemas dañados. Es por esto que la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el periodo 2021-2030 como la Década de la Restauración de los Ecosistemas (Mills et al., 2021). Esto no solo con el fin de detener su degradación, sino que también de restaurarlos y mantener aquellos que aún están intactos. Chile se ha comprometido a reforestar al menos 100.000 ha para el año 2030 usando mayormente especies nativas, según el Acuerdo de Paris del 2015 en la COP21. La nueva Política Forestal es aún más ambiciosa, apuntando a restaurar 500.000 ha de ecosistemas degradados o fragmentados dentro de áreas prioritarias (CONAF, 2015).

Sin embargo, Bannister et al., (2018) identificaron tres cuellos de botella que obstaculizan el cumplimiento de estos objetivos. El primero corresponde a la falta de un plan nacional de restauración a nivel de paisaje, aspecto que se ha abordado mediante el Plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021-2030 (Minagri, 2021). El segundo corresponde a la mala calidad y baja disponibilidad de plantas nativas producidas en viveros, factor que provocaría que las metas mencionadas anteriormente no pudieran cumplirse hasta el año 2052 en el caso del Acuerdo de Paris, y hasta el año 2181 para la nueva Política Forestal (Acevedo et al., 2021). Por último, el tercer cuello de botella se refiere a los resultados deficientes en la fase de establecimiento, debido a los atributos morfo-fisiológicos deficientes de las plantas producidas en viveros y la falta de técnicas asociadas al establecimiento (Bannister et al., 2016).

Para abordar los últimos dos cuellos de botella es necesaria la selección de especies apropiadas y la viverización de plantas con atributos morfo-fisiológicos adecuados en relación a las condiciones limitantes del sitio de restauración, lo que se encuentra enmarcado en el concepto de planta objetivo (TPC) (Davis & Pinto, 2021; Dumroese et al., 2016). Se ha reportado ampliamente el efecto directo que técnicas de viverización tienen sobre los atributos morfo-fisiológicos de las plantas producidas, y por consiguiente su resistencia al estrés hídrico y el éxito al momento del establecimiento (Massone et al., 2018; Vilagrosa et al., 2003; Villalón-Mendoza, 2016; Villar-Salvador et al., 2012). Estos resultados pueden ser logrados con diversas técnicas, tal como la correcta elección de contenedores, el tipo de sustrato o la fertilización (Cuesta et al., 2010; Domínguez Lerena et al., 1997; Landis, et al., 2014a; T. Landis, et al., 2014b), entre otros. El manejo de la fertilización, especialmente con nitrógeno (N), ha sido una de las técnicas más reportadas, donde las investigaciones demuestran que existe una directa relación entre el contenido de N en la planta y su desempeño en campo debido al desarrollo de atributos asociados a resistencia a estrés, tal como mayor diámetro de cuello y crecimiento radicular (Cuesta et al., 2010; Massone et al., 2018; Villar-Salvador et al., 2012).

En climas mediterráneos que presentan veranos secos, el crecimiento radicular post-plantación es uno de los factores que determina la supervivencia de la planta, ya que promueve la absorción de agua almacenada en capas más profundas del suelo (Pinto et al., 2015). Desde un punto de vista nutricional, Villar-

Salvador et al., (2012) exponen en su modelo que la supervivencia al estrés hídrico está asociado al desarrollo del sistema radicular post-plantación lo que depende de las concentraciones nutricionales almacenadas durante la viverización, exponiendo que el estado nutricional de las plantas, además promueve el crecimiento (Grossnickle & Macdonald, 2018).

Durante el periodo 1998-2015 las especies más utilizadas para la restauración fueron principalmente arbóreas; *Prosopis chilensis* (1.565 ha), *Quillaja saponaria* (1.474 ha), *Nothofagus dombeyi* (1.020 ha), y *Araucaria araucana* (979 ha) (Bannister et al., 2018). Sin embargo, el uso de estas especies puede ser contraproducente en regiones con mayor presencia de sequía por efecto del cambio climático (Castro et al., 2002). Mientras que las formas más conservadoras de restaurar consisten en “limpiar” el sitio de arbustos y especies herbáceas por considerarse una fuente de competencia para los árboles jóvenes establecidos (Castro et al., 2002), la interacción entre arbustos y especies arbóreas puede ser beneficiosa para estos últimos (Castro et al., 2002). En ambientes de tipo mediterráneo, los arbustos pioneros adaptados a las condiciones locales tienen un efecto facilitador para el establecimiento de especies arbóreas ya que actúan como plantas nodrizas (Castro et al., 2002, 2004) aumentando su porcentaje de supervivencia y crecimiento (Gómez-Aparicio et al., 2004). Esto debido a que mantienen una mayor humedad del suelo, temperaturas más estables, reducen la radiación incidente o protegen de la nieve en zonas con bajas temperaturas (Castro et al., 2004; Cavieres et al.,

1998; Molina-Montenegro et al., 2005; Peñaloza et al., 2001), disminuyendo las tasas de transpiración y aumentando la fotosíntesis en las especies beneficiarias (Molina-Montenegro et al., 2005; Tewksbury & Lloyd, 2001). La elección exclusiva de especies de tipo arbóreo o de sucesiones más tardías (Fagundes et al., 2018) para las primeras etapas de programas de restauración podría no ser la correcta al no poseer los atributos necesarios para resistir las condiciones climáticas y edáficas del sitio, produciendo pobres desempeños al momento del establecimiento y una baja supervivencia (Bannister et al., 2018). Por ejemplo, un meta-análisis realizado por Gómez-Aparicio et al., (2004) en el cual 109 de 146 casos experimentales donde se plantaron especies clasificadas en cuatro grupos funcionales (arbustos, caducifolias, perennes y pinos de montaña) presentaron una mayor supervivencia, y un 76 % presentó un mayor crecimiento, al ser plantadas bajo el dosel de arbustos nodriza (leguminosas, arbustos pequeños, espinosos de hoja caduca y Cistáceas) versus aquellas plantadas al descubierto. Aunque, por otro lado, en especies de condiciones altoandinas de tipo cojín como *Laretia acaulis*, este efecto podría no presentarse viéndose la misma cantidad de otras especies dentro como fuera de estos cojines (Cavieres et al., 1998) llegando incluso a generar una interferencia negativa, especialmente a mayores altitudes, donde las especies crecen fuera de estos cojines (Alliende & Hoffmann, 1985).

Pese a la función y beneficios que tienen los arbustos pioneros, esta práctica no se ha implementado en Chile para los programas de restauración. En el periodo

2016-2019, del total de plantas nativas que se produjeron en vivero, solo el 6,7 % corresponde a especies arbustivas producidas con fines ornamentales, mientras que el 89,7 % corresponde a especies arbóreas, el otro 3,5 % corresponde a otras especies (suculentas, plantas trepadoras, herbáceas, entre otras) (Acevedo, et al., 2021).

Sin embargo, a nivel nacional un ejemplo es el resultado que se obtuvo con el “Programa de Restauración del Ecosistema de Cayumanque” (Seremi del Medio Ambiente, 2020) donde arbustivas como *Schinus polygamus* (huingán), *Escallonia pulverulenta* (madroño) o *Acacia caven* (espino), presentaron tasas de supervivencia de 98, 97 y 97 %, respectivamente; frente a especies arbóreas como *Q. saponaria* (quillay), *Cryptocarya alba* (peumo) y *Nothofagus obliqua* (roble) con 99, 63 y 51 %, respectivamente (Seremi del Medio Ambiente, 2020).

A pesar de la importancia productiva y el efecto facilitador que las especies arbustivas pueden presentar para los programas de restauración, en Chile no existe información sobre técnicas de viverización para estas especies. Dentro de los manejos más comunes en vivero para producir plantas con los atributos deseados, se encuentran la fertilización nitrogenada, la poda de raíces (química o aérea) y el riego en base a demanda. El manejo adecuado del riego es fundamental para producir plantas con atributos morfo-fisiológicos apropiados. Acevedo et al., (2021) en su encuesta a viveros de las regiones del Biobío, Maule y Ñuble, reportaron que el 100 % de ellos basan su criterio de manejo del riego

en la “apariencia visual”, llegando a regar de forma sistemática hasta tres veces al día. Esto promueve el aumento en la lixiviación de nutrientes, induciendo el desarrollo de plantas con deficiencias nutricionales (Dumroese et al., 2005; Li et al., 2018). En Estados Unidos el uso de herramientas para regar conforme a un criterio como balanzas análogas, ha permitido monitorear la pérdida de agua del sustrato de más de 10 millones de plántulas al año (Dumroese et al., 2015). Para ello, el momento de riego se realiza cuando el sustrato ha alcanzado el valor mínimo previamente determinado en base a los requerimientos y necesidades de la planta, lo que dependerá de la especie, el nivel de desarrollo o las condiciones climáticas (Acevedo et al., 2020; Belayneh et al., 2013; Dumroese et al., 2015).

Por otra parte, la poda química se ha usado para mejorar la distribución y crecimiento de las raíces, estimulando el desarrollo de raíces secundarias favoreciendo el anclaje, la absorción de agua y nutrientes, promoviendo así la supervivencia de las plantas (Marler & Musser, 2016). Sin embargo, existe información contradictoria con respecto al real beneficio de este tratamiento, mientras que en algunas investigaciones, como la realizada por Sword Sayer et al., (2009), se destacan los efectos positivos al aumentar el tamaño de la raíz principal y promover el crecimiento de las raíces secundarias de plántulas de *Pinus palustris*, induciendo un aumento en el desempeño en campo observado un año después de la plantación. Por el contrario, otros estudios realizados en la misma especie reportaron una disminución en el volumen total de raíces

(Dumroese et al., 2013) o de las longitudes medias y totales de las raíces laterales (Sung et al., 2019).

La elección de arbustos para ser usados en programas de restauración también puede poseer un enfoque productivo, como lo es el caso de *E. pulverulenta* y *Azara dentata* (corcolén blanco), ambas especies melíferas nativas, las cuales se distribuyen en el rango del clima mediterráneo de Chile central. *E. pulverulenta*, en particular, se distribuye entre las regiones de Coquimbo a La Araucanía, creciendo en bordes de quebradas y en laderas asoleadas en la costa y valles interiores (Riedemann et al., 2014). Según Rivera-Hutinel & Acevedo-Orellana (2017) debido a la longevidad de las flores y su potencial reproductivo, es que esta especie, provoca que sus flores sea visitadas por una alta diversidad de especies polinizadoras, produciendo una gran diversidad funcional. Mientras que *A. dentata* se encuentra desde la región de Coquimbo a La Araucanía en laderas asoleadas, suelos algo húmedos, con buen drenaje y un pH neutro a ligeramente ácido, siendo parte del bosque esclerófilo (Riedemann et al., 2014). En estudios realizados, se comprobó que la miel de *A. dentata* posee un alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, lo que le entrega una alta capacidad antioxidante y por tanto múltiples beneficios especialmente a nivel de enfermedades cardiovasculares (Ady Giordano & Montenegro, 2018), además de ser usado en la medicina alternativa como antirreumático y antitusígeno .

Es por lo anterior que se ha planteado la hipótesis de que el uso de poda química radicular y el manejo de riego en base a la demanda hídrica durante la viverización de *Escallonia pulverulenta* y *Azara dentata* generarán atributos morfo-fisiológicos asociadas a resistencia al estrés hídrico. Para comprobar esto el objetivo principal de esta investigación es evaluar el efecto de ambas técnicas durante la viverización de estas especies, en sus atributos morfo-fisiológicos asociados a la resistencia al déficit hídrico. Como objetivos específicos se plantea evaluar el efecto de la poda química radicular durante la viverización de *Escallonia pulverulenta* y *Azara integrifolia*, sobre atributos morfo-fisiológicos asociados a resistencia al estrés hídrico, evaluar el efecto del riego en base a demanda hídrica durante la viverización de *Escallonia pulverulenta* y *Azara integrifolia*, sobre atributos morfo-fisiológicos de calidad y evaluar el efecto de la interacción de la poda química radicular y el riego en base a la demanda hídrica en *Escallonia pulverulenta* y *Azara integrifolia*, sobre atributos morfo-fisiológicos de calidad.

II. METODOLOGÍA

2.1 Colecta de semillas y germinación

Tanto las semillas de *E. pulverulenta* como las de *A. dentata* fueron colectadas en la región del Biobío, en Paso Hondo en la localidad de Florida y en Río Claro ubicado en la comuna de Yumbel, respectivamente, en abril del año 2021, y fueron almacenadas a 8 °C hasta su uso el 27 de julio del 2023 cuando fueron sembradas en almacigueras. Durante la etapa de germinación, las semillas se regaron diariamente mediante aspersores para mantener una alta humedad en el sustrato.

2.2 Viverización de plantas

La producción de las plantas se realizó en el vivero del Centro Tecnológico de la Planta Forestal (CTPF) del Instituto Forestal (INFOR) en la comuna de San Pedro de la Paz, región del Biobío (36°50'53,6" S, 73°07'57,0"W). Una vez las plántulas alcanzaron un tamaño de entre 4-7 cm aproximadamente estas se repicaron desde las almacigueras, a fines de diciembre del 2023, a bandejas plásticas con 20 cavidades cada una, cada cavidad con un volumen de 656 ml (25,4 cm de altura, 6,9 cm de diámetro superior) (Deepot 20T, Stuewe & Sons, OR, USA). Se utilizaron 40 bandejas en total por especie (10 bandejas (20 plantas x bandeja) x

2 tratamientos de poda de raíces x 2 tratamientos de riego). Cultivando 800 plantas por especie en total. Como sustrato se utilizó compost de corteza de pino de granulometría G-10 con una porosidad total, de aireación y de retención de agua de 49, 25 y 24 %, respectivamente.

El esquema de fertilización se realizó se acuerdo a Alvarez-Maldini et al., (2020), usando concentraciones constantes de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S): 300, 150, 180, 100, 80 y 115 mg L⁻¹, respectivamente. Se utilizó nitrato de calcio, sulfato de magnesio, nitrato de amonio, fosfato de potasio monobásico y urea como sales para aportar macronutrientes. La fertilización de micronutrientes consistió en concentraciones constantes de hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn): 6, 4, 0,5 y 6 mg L⁻¹, respectivamente. Estos fueron aportados mediante el uso de sulfato de hierro, sulfato de manganeso, sulfato de cobre y sulfato de zinc. Durante la etapa de pleno crecimiento, la cual duró de enero a julio del 2024, el riego se aplicó dependiendo del tratamiento de riego (ver sección 2.4), y los eventos de fertilización, que se realizaron mediante fertirriego (fertilización con agua). Se alternaron con los eventos de riego en el caso del tratamiento de riego por criterio, en cuanto al tratamiento de riego sistemático o control, las bandejas se fertilizaron una vez a la semana siguiendo el esquema de los viveros comerciales.

2.3 Tratamiento de poda química radical

Antes de llenar las bandejas con sustrato, el interior de cada cavidad fue cubierto con una mezcla de 60 g L⁻¹ de oxiclورو de cobre, látex y agua siguiendo la práctica establecida por Acevedo, et al., (2021). Del total de 40 bandejas por especie, 20 de ellas fueron bañadas con esta mezcla, las cuales conformaron el tratamiento con poda química (CP), las otras 20 consistieron en el tratamiento control o sin poda (SP) por lo que no fueron bañadas.

2.4 Tratamientos de manejo de riego

Se consideraron dos esquemas de manejo de riego, del total de 40 bandejas por especie el tratamiento control consistió en un riego sistemático con manguera una vez al día procurando la saturación del sustrato (SIS) en 20 bandejas. Por otro lado, el tratamiento de riego en base a la demanda se aplicó en las restantes 20 bandejas donde se estableció un criterio de riego de 50% (CR 50%) de la pérdida de agua disponible aprovechable por la planta. El monitoreo de la pérdida de humedad del sustrato se realizó mediante el uso de cuatro sensores de humedad de suelo GS1 (METER Group, Pullman, WA, USA) por especie (1 sensor x 2 tratamientos de poda de raíces x 2 tratamientos de riego) conectados a data *loggers* Em50 (METER Group) para almacenamiento de datos con una frecuencia de 15 minutos. Se realizó una curva de calibración ajustando los datos de los sensores con los pesajes de las bandejas que se obtuvieron usando cuatro

balanzas análogas por especie según Dumroese et al., (2015) (1 balanza x 2 tratamientos de poda de raíces x 2 tratamientos de riego) (Figura 2.4.1 a y b).

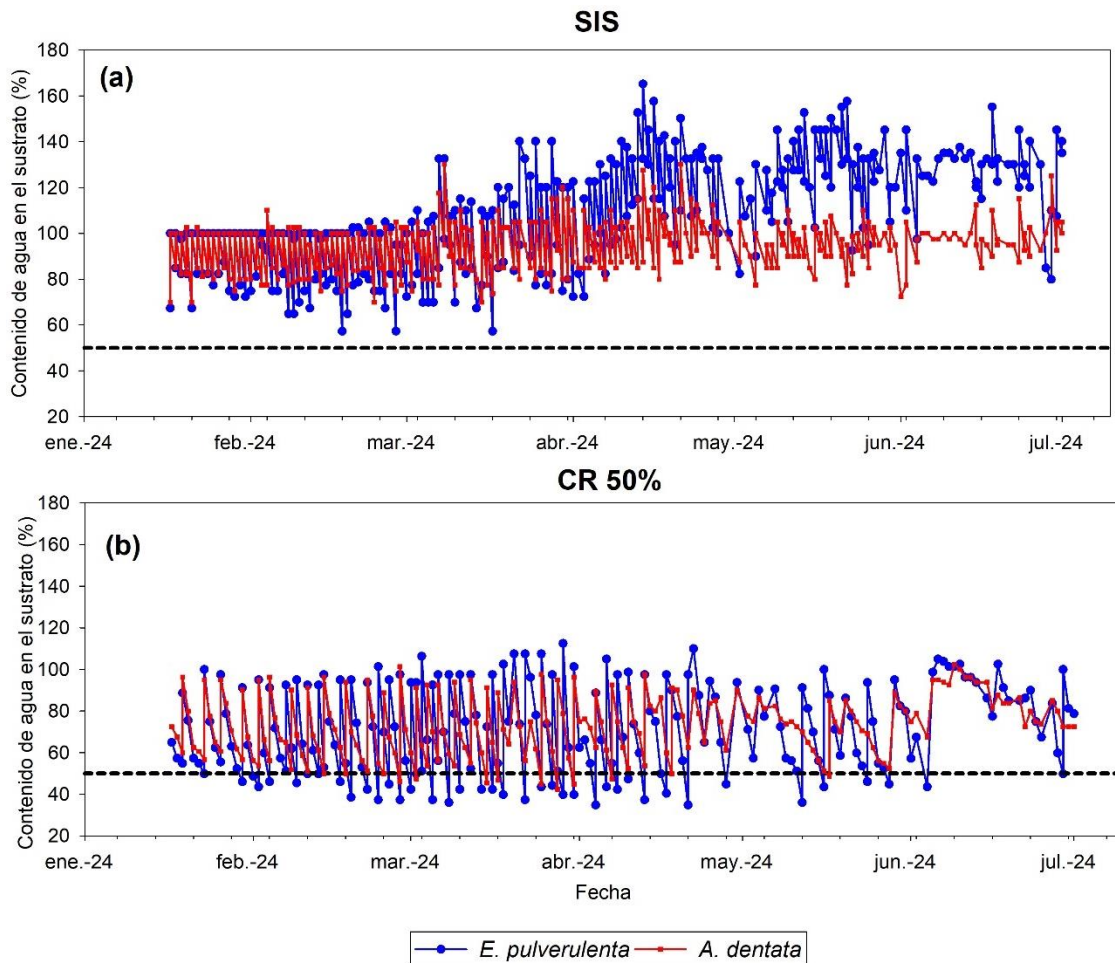


Figura 2.4.1. Monitoreo de riego con balanzas análogas para los tratamientos sistemático (SIS) (a) y de riego con criterio (CR 50%) (b) para *Escallonia pulverulenta* (línea azul) y *Azara dentata* (línea roja) durante la etapa de pleno crecimiento. La línea segmentada indica el umbral de riego (50 %). Se realizaron un total de 68 y 53 labores en *E. pulverulenta* y *A. dentata*, respectivamente para el tratamiento de riego con criterio (CR 50%) y un total de 167 labores en *E. pulverulenta* y *A. dentata* para el tratamiento de riego sistemático (SIS)

2.5 Evaluaciones morfo-fisiológicas

2.5.1. Evaluaciones morfológicas: Se evaluó el crecimiento de largo de tallo (cm) usando una regla con precisión de 0,1 cm y diámetro de cuello (DAC) (mm) usando un pie de metro con precisión de 0,01 mm. Las mediciones se realizaron una vez cada dos semanas durante el periodo de pleno crecimiento. Se seleccionaron un total de 80 plantas por especie (4 plantas x 2 tratamientos de poda química x 2 tratamientos de riego x 5 réplicas). Estas mediciones se realizaron siempre en los mismos individuos a lo largo de todo el ensayo, procurando seleccionar plantas que se encontraran centrales en la unidad experimental (bandeja).

2.5.2. Distribución de biomasa: La colecta de material se realizó una vez finalizado el periodo de pleno crecimiento (mes de julio) en las plantas descritas en el punto 2.5.1. Cada planta fue separada por componentes y secada a 65 °C por 48 h en horno de ventilación forzada (Binder FD 115). Luego, se obtuvo la masa seca (g) usando una balanza con precisión 0,001 g (Quimis 2003). La distribución de biomasa se calculó usando la siguiente fórmula:

$$Biomasa (g) = \frac{\text{Peso componente (Raiz - Follaje)}}{Biomasa total}$$

2.5.3. Estatus nutricional: Una vez finalizado el periodo de pleno crecimiento se obtuvo una muestra de hoja desde las plantas de cada bandeja por tratamiento de riego, obteniendo tres muestras compuestas por cada manejo de riego, asegurando la obtención de al menos 15 gramos secos por muestra. Se evaluó un total de 12 muestras por especie (2 tratamientos de poda de raíz x 2 tratamientos de manejo de riego x 3 réplicas). Se determinó el porcentaje de N, P (mediante el método colorimétrico), y K (mediante absorción atómica) de acuerdo con lo descrito en Temminghoff & Houba, (2004).

2.5.4. Conductancia estomática (gs): Finalizada la etapa de pleno crecimiento se seleccionaron 48 plantas por especie (4 plantas x 2 tratamiento de poda de raíces x 2 tratamientos de riego) y mediante un porómetro SC-1 (METER Group), se midió gs ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

2.5.5. Contenido relativo de clorofila (CRC): Se utilizó un medidor de clorofila SPAD-502Plus (Konica Minolta), el cual determina la diferencia entre la transmitancia de la luz roja y la infrarroja que pasa a través de la muestra vegetal. Se realizaron tres mediciones de CRC; 8 y 16 semanas luego del inicio del ensayo y la tercera se realizó una

vez finalizada la etapa de pleno crecimiento a las 28 semanas. Se seleccionaron 60 plantas por especie en cada medición (3 plantas x 2 tratamientos de riego x 2 tratamiento de poda de raíces x 5 réplicas).

2.5.6. Supervivencia: Una vez finalizada la etapa de pleno crecimiento se calculó el porcentaje (%) de supervivencia de ambas especies a las heladas estacionales presentes durante el último mes de la fase de pleno crecimiento (mes de julio) con temperaturas que llegaron hasta los -4°C para cada uno de los tratamientos, considerando las plantas que no fueron utilizadas para los análisis destructivos.

2.5.7. Curvas presión-volumen: Finalizada la etapa de pleno crecimiento se seleccionaron 16 plantas por especie (1 planta x 2 tratamientos de poda x 2 tratamientos de riego x 4 réplicas). Debido a que ambas especies poseen peciolos cortos, se seleccionaron ramillas del tercio superior de cada planta, cuidando de que tuvieran entre 5-7 hojas para medir. Usando una bomba de presión Schölander 1505D-EXP (PMS Instruments, Albany, OR, USA) se realizaron mediciones de 14 rasgos, siguiendo la metodología establecida por Sack et al., (2011) y Tyree & Hammel, (1972). Las ramillas se disecaron lentamente bajo condiciones de laboratorio, y el potencial hídrico ($\Psi_{\text{H}_2\text{O}}$, MPa) y masa fresca se midió periódicamente con una balanza analítica (PX224AM,

Ohaus, Alemania). El potencial al punto de pérdida de turgor (Ψ_{TLP} , MPa) se identificó como el punto de inflexión de la curva $1/\Psi_{H_2O}$ vs. el contenido relativo de agua (RWC). El módulo de elasticidad (ϵ , MPa) se estimó como (Ψ_p , MPa) vs. RWC en la fase desde full turgor hasta el Ψ_{TLP} . La capacitancia a full turgor (CFT, MPa^{-1}), se calculó como la pendiente de la posición linear desde RWC hasta Ψ_{H_2O} antes del Ψ_{TLP} , normalizado al contenido de agua saturada por área foliar. Además, se obtuvieron los valores de capacitancia en el punto de pérdida de turgencia (C_{TLP} , MPa^{-1}), la capacitancia absoluta al punto de pérdida de turgor por área foliar ($C_{TLP\ absolute}$, $mol\ m^{-2}\ MPa^{-1}$) y la masa foliar por área (LMA $g\ m^{-2}$).

2.6 Diseño experimental y análisis de datos

El diseño experimental consiste en parcelas divididas para cada especie, donde la parcela completa correspondió al tratamiento de riego mientras que el tratamiento de poda química de raíces correspondió a la subparcela con 10 réplicas. Las evaluaciones morfológicas y de CRC, se analizaron usando el software SAS (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA) mediante un modelo de parcelas divididas con medidas repetidas. Las variables de distribución de biomasa, estatus nutricional, conductancia estomática, curvas presión-volumen y supervivencia se analizaron mediante un modelo de parcelas divididas. De forma adicional, se realizaron análisis multivariados para determinar los efectos de los

tratamientos de poda química de raíces y riego sobre los atributos morfo-fisiológicos de las plantas producidas.

Todas las visualizaciones se realizaron con el software SigmaPlot 14 (Systat Software Inc. San José, CA, USA).

III. RESULTADOS

3.1 Evaluaciones morfológicas

Para la variable morfológica de largo de tallo (cm), en *E. pulverulenta* se comprobó que la interacción del riego y la poda a través del tiempo fue altamente significativa (p-valor < 0,0001) (Tabla 3.3.1). Al final de la etapa de pleno crecimiento se observó que aquellas plantas regadas de forma sistemática y podadas químicamente presentaron largo de tallo mayor que los demás tratamientos, seguidos por aquellas regadas de la misma forma, pero sin poda. Plantas del tratamiento CR 50% mostraron menor largo de tallo tanto en plantas con y sin poda química (Figura 3.1.1 a). Así mismo, en la variable de diámetro de cuello (mm), también se observó una interacción triple significativa entre la medición x tratamiento de riego x tratamiento de poda química (Tabla 3.1.1). Al finalizar la etapa de pleno crecimiento, las plantas en el tratamiento SP obtuvieron los mayores diámetros independiente del tratamiento de riego aplicado, siendo los individuos bajo el tratamiento CR 50% y CP los que tuvieron menores diámetros (Figura 3.1.1 b).

Tabla 3.1.1. Tabla de significancia para las variables morfológicas de largo de tallo y diámetro de cuello de *Escallonia pulverulenta* y *Azara dentata* en respuesta a los tratamientos de riego y poda química de raíces y su interacción. Valores en negrita y subrayado indican diferencias significativas para $p < 0,05$. D.F: grados de libertad.

Fuente de variación	Variables morfológicas							
	Largo de tallo				Diámetro de cuello			
	<i>E. pulverulenta</i>		<i>A. dentata</i>		<i>E. pulverulenta</i>		<i>A. dentata</i>	
	D.F	p-valor	D.F	p-valor	D.F	p-valor	D.F	p-valor
MEDICIÓN (MED)	9	<,0001	9	<,0001	9	<,0001	9	<,0001
RIEGO	1	<,0001	1	0,0882	1	<,0001	1	0,0016
MED*RIEGO	9	0,0104	9	0,9473	9	<,0001	9	0,0468
PODA	1	<,0001	1	0,9525	1	0,0288	1	0,6547
MED*PODA	9	<,0001	9	1,0000	9	0,9127	9	0,5570
RIEGO*PODA	1	<,0001	1	0,0397	1	<,0001	1	0,0253
MED*RIEGO*PODA	9	<,0001	9	0,9114	9	0,0093	9	0,4085

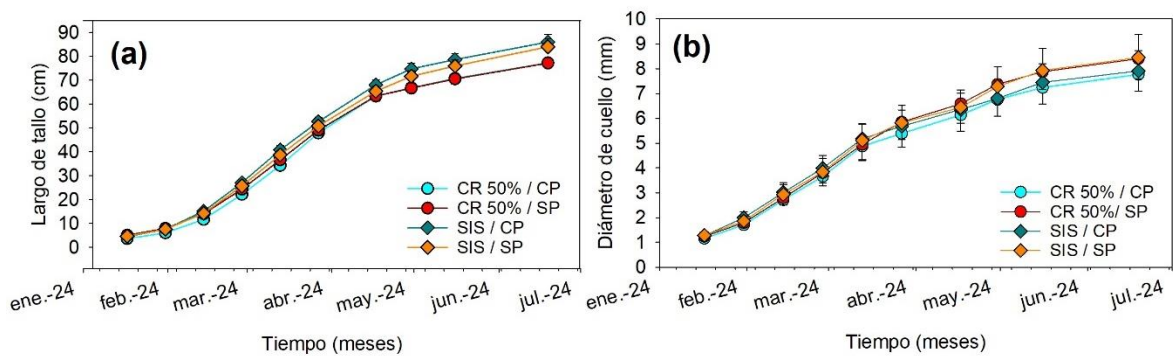


Figura 3.1.1. Largo de tallo (cm) (a) y diámetro de cuello (mm) (b) de plantas de *Escallonia pulverulenta* durante el período de pleno crecimiento sometidas a tratamientos de riego sistemático (SIS) y con criterio (CR 50%) y sin (SP) y con (CP) poda química de raíces. Símbolos indican media \pm desviación estándar.

En el caso de *A. dentata*, para el largo de tallo fue significativa la interacción del riego y la poda, a diferencia de *E. pulverulenta*, el tiempo fue significativo de forma

independiente. La poda química no tuvo un efecto significativo sobre las variables morfológicas (Tabla 3.1.1). Los mayores largos de tallo se observaron en el tratamiento CR 50% tanto CP y SP y las plantas bajo el tratamiento SIS y SP, y donde el tratamiento de riego sistemático con poda química obtuvo menores valores para la variable largo de tallo (Figura 3.1.2 a). Respecto al diámetro de cuello al igual que en *E. pulverulenta*, se observó una interacción significativa de la poda química de raíces con el riego (Tabla 3.1.1). Considerando todas las mediciones realizadas, las plantas que obtuvieron mayor diámetro de cuello fueron las que se regaron con criterio, en ambos tratamientos de poda y el tratamiento de riego SIS con poda, mientras que el tratamiento de riego SIS y SP presentó los menores valores en esta variable (Figura 3.1.2 b).

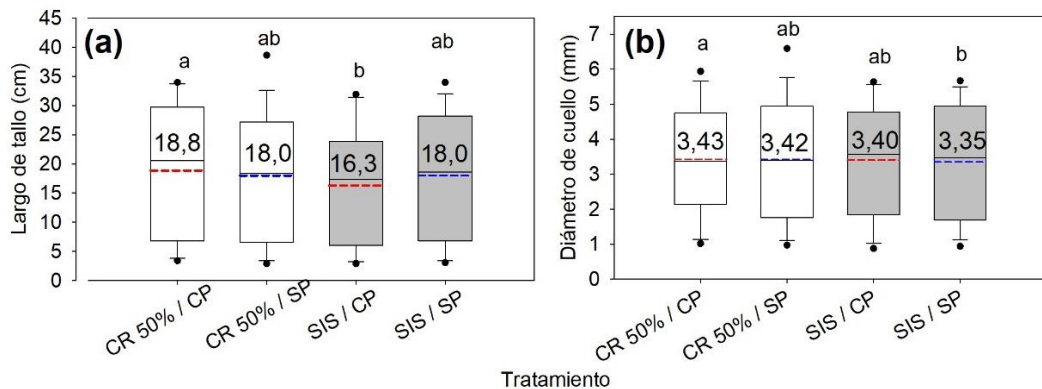


Figura 3.1.2. Largo de tallo (cm) (a) y diámetro de cuello (mm) (b) de plantas de *Azara dentata* durante el período de pleno crecimiento sometidas a tratamientos de riego con criterio (CR 50%) y sistemático (SIS) y con poda (CP) y sin poda (SP) química de raíces. La línea sólida en cada caja representa la mediana y la línea segmentada representa la media. Barras sobre y bajo las cajas indican desviación estándar. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con ANOVA y puntos negros sobre y bajo las cajas corresponden a outliers. Valores en las cajas indican media.

3.2 Distribución de biomasa

Se consideraron las biomásas de cada uno de los componentes (raíz, tallo, hojas) y la proporción de cada uno de estos con respecto a la biomasa total. En el caso de *E. pulverulenta* no se obtuvieron interacciones significativas entre los tratamientos de riego y poda química. El riego tuvo un efecto significativo sobre la biomasa de raíz, biomasa total y sobre la proporción de biomasa de raíz, tallos y hojas. Se observó que aquellas plantas regadas con criterio obtuvieron una mayor biomasa de raíces y total y una menor proporción de biomasa de los componentes aéreos, mientras que aumentó la proporción de biomasa de raíz (Tabla 3.2.1).

La poda química fue significativa para la biomasa de hoja y raíz, y biomasa total, además de la proporción de biomasa de tallo y raíz (Tabla 3.2.1). Los individuos que recibieron el tratamiento de poda química de raíces produjeron una menor biomasa total, de raíces, y de hojas, la proporción de raíces tuvo el mismo resultado. Sin embargo, la proporción de biomasa de tallo fue mayor en los individuos podados (Tabla 3.2.1).

En el caso de *A. dentata*, el riego fue solamente significativo para la proporción de biomasa de hoja, donde el tratamiento de riego sistemático genera una mayor proporción de este componente (Tabla 3.2.1). En cuanto al tratamiento de poda química de raíces, este fue significativo para la proporción de tallo y proporción

de raíces (Tabla 3.2.1). Al igual que en *E. pulverulenta*, la poda química generó una menor proporción de biomasa radicular, pero una mayor proporción de biomasa de tallo (Tabla 3.2.1)

Tabla 3.2.1. Medias \pm desviación estándar y significancia de los tratamientos de riego con criterio (CR 50%) y sistemático (SIS), y con poda (CP) y sin poda (SP) química de raíces y su interacción sobre parámetros de biomasa y distribución entre componentes en *Escallonia pulverulenta* y *Azara dentata*. Valores en negrita y subrayado indican diferencias significativas para $p < 0,05$. D.F: grados de libertad. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con Tukey. n.s: no significativo.

Fuente de variación		<i>E. pulverulenta</i>							
		Biomasa (g)				Distribución de biomasa por componente (%)			
		Hoja	Tallo	Raíz	Total	Hoja	Tallo	Raíz	
Riego									
	SIS	6,15 \pm 2,40 n.s	9,95 \pm 3,63 n.s	4,15 \pm 1,90^b	20,26 \pm 7,08^b	30,80 \pm 5,10^a	49,78 \pm 4,87^a	20,67 \pm 8,77^b	
	CR 50%	6,61 \pm 2,04 n.s	10,73 \pm 2,63 n.s	7,49 \pm 2,29^a	24,83 \pm 6,27^a	26,48 \pm 3,47^b	43,69 \pm 4,67^b	29,83 \pm 4,41^a	
Poda									
	SP	7,13 \pm 1,97^a	10,95 \pm 2,71 n.s	6,49 \pm 2,66^a	24,57 \pm 6,24^a	29,26 \pm 5,07 n.s	45,06 \pm 5,26^b	25,68 \pm 6,66^a	
	CP	5,64 \pm 2,24^b	9,74 \pm 3,50 n.s	5,14 \pm 2,56^b	20,52 \pm 7,26^b	27,94 \pm 4,56 n.s	48,38 \pm 5,59^a	23,68 \pm 6,65^b	
	D.F				p-valor				
	RIEGO	1	0,3075	0,2421	<.0001	0,0100	0,0009	<.0001	<.0001
	PODA	1	0,0026	0,1136	0,0185	0,0172	0,2649	0,0056	0,0788
	RIEGO*PODA	1	0,8780	0,9644	0,4693	0,8074	0,4291	0,2543	0,0608
Fuente de variación		<i>A. dentata</i>							
		Biomasa (g)				Distribución de biomasa por componente (%)			
		Hoja	Tallo	Raíz	Total	Hoja	Tallo	Raíz	
Riego									
	SIS	2,78 \pm 1,28 n.s	1,41 \pm 0,85 n.s	2,51 \pm 1,02 n.s	6,70 \pm 3,02 n.s	41,51 \pm 3,65^a	20,25 \pm 4,44 n.s	38,24 \pm 5,72 n.s	
	CR 50%	2,87 \pm 1,29 n.s	1,55 \pm 0,68 n.s	3,03 \pm 1,48 n.s	7,45 \pm 3,25 n.s	38,27 \pm 4,56^b	20,93 \pm 4,14 n.s	40,80 \pm 6,18 n.s	
Poda									
	SP	2,64 \pm 1,61 n.s	1,33 \pm 0,75 n.s	2,78 \pm 1,45 n.s	6,75 \pm 3,36 n.s	39,11 \pm 4,45 n.s	19,31 \pm 3,46^b	41,58 \pm 5,99^a	
	CP	3,02 \pm 1,23 n.s	1,63 \pm 0,77 n.s	2,76 \pm 1,12 n.s	7,40 \pm 2,90 n.s	40,67 \pm 4,29 n.s	21,87 \pm 4,67^a	37,46 \pm 5,44^b	
	D.F				p-valor				
	RIEGO	1	0,9471	0,5936	0,1918	0,5263	0,0054	0,5281	0,0947
	PODA	1	0,1135	0,0837	0,6188	0,1969	0,2661	0,0162	0,0106
	RIEGO*PODA	1	0,5515	0,6451	0,7010	0,6250	0,6428	0,6620	0,7716

3.3 Estatus nutricional

Para *E. pulverulenta*, no se observaron interacciones significativas entre los tratamientos de riego y poda química de raíces. Tanto N como el K presentaron diferencias significativas en el tratamiento de riego, mientras que el tratamiento de poda química de raíces solo influenció las concentraciones de K (Tabla 3.3.1). Respecto al efecto del riego, los individuos en el tratamiento de CR 50% presentaron mayor concentración de N y K que los que se regaron de forma sistemática (Figura 3.3.1 a y b). Por otro lado, las plantas a las cuales se les aplicó el tratamiento de poda química de raíces mostraron mayores porcentajes de K en el follaje que aquellas sin el tratamiento (Figura 3.3.1 c).

Tabla 3.3.1. Significancia en la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de los tratamientos de riego con criterio (CR 50%) y sistemático (SIS) y con poda (CP) y sin poda (SP) química de raíces y su interacción sobre el estatus nutricional de *Escallonia pulverulenta* y *Azara dentata*. Valores en negrita y subrayado indican diferencias significativas para $p < 0,05$. D.F: grados de libertad

Fuente de variación	D.F.	Especie					
		<i>E. pulverulenta</i>			<i>A. dentata</i>		
		p-valor			p-valor		
	N	P	K	N	P	K	
RIEGO	1	<u>0,0056</u>	0,839	<u>0,0021</u>	<u>0,0159</u>	0,1530	0,2161
PODA	1	0,1559	0,839	<u>0,0001</u>	0,2594	0,0038	0,9203
RIEGO*PODA	1	0,6027	0,839	0,0820	0,8035	<u>0,0221</u>	0,5098

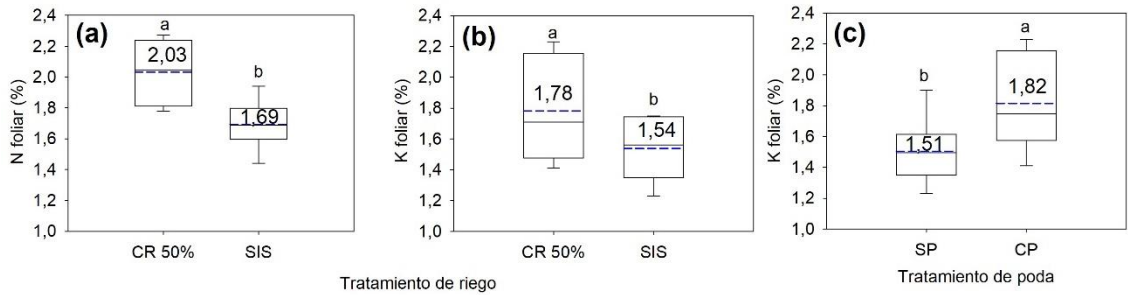


Figura 3.3.1. Concentraciones foliares de nitrógeno (N) (a) y de potasio (K) (b) para tratamientos de riego bajo criterio (CR 50%) y sistemático (SIS) y de K para los tratamiento con poda (CP) y sin poda (SP) química de raíces (c) en *Escallonia pulverulenta* al final de la fase de pleno crecimiento. La línea sólida en cada caja representa la mediana y la línea azul segmentada representa la media. Barras sobre y bajo las cajas indican desviación estándar. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con Tukey. Valores en caja representan media.

Para *A. dentata*, se observó una interacción significativa entre los tratamientos de riego y poda química de raíces en la concentración de P (Tabla 3.3.1). Además, se observaron diferencias significativas en la concentración de N en respuesta a los tratamientos de riego (Tabla 3.3.1). Al igual que en *E. pulverulenta*, las plantas que fueron regadas con criterio obtuvieron mayor porcentaje de nitrógeno (Figura 3.3.2 a), por otro lado, la interacción del tratamiento sin poda química y de riego sistemático obtuvo los mayores valores de fósforo, seguido del tratamiento sin poda y con criterio de riego y donde la interacción de riego sistemático y poda química obtuvieron los porcentajes más bajos (Figura 3.3.2 b).

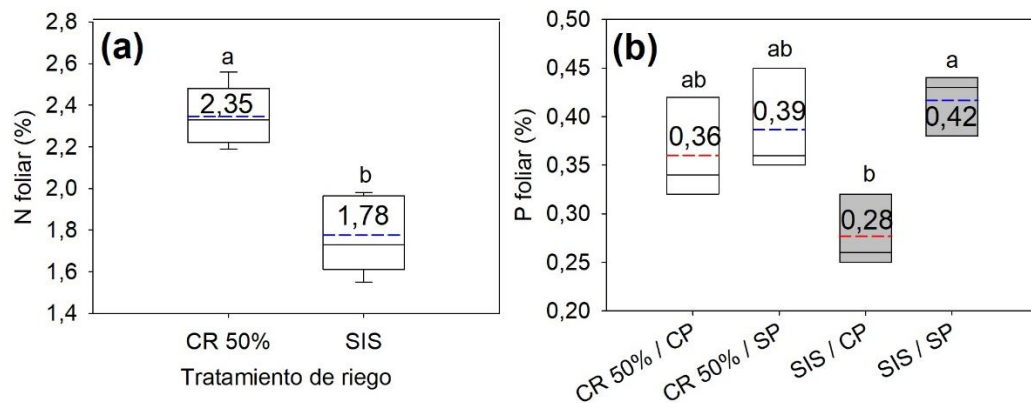


Figura 3.3.2. Concentraciones foliares de nitrógeno (N) para los tratamientos de riego sistemático (SIS) y con criterio (CR 50%) (a) y de fósforo (P) para la interacción de los tratamientos de riego y con (CP) y sin (SP) poda química de raíces (b) en *Azara dentata*. La línea sólida en cada caja representa la mediana y la línea azul y roja segmentada representa la media. Barras sobre y bajo las cajas indican desviación estándar. Distintas letras indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con Tukey. Valores en cajas representan media.

3.4 Conductancia estomática (gs)

Con relación a gs, ninguno de los tratamientos de poda de raíces o riego tuvo un efecto significativo sobre este parámetro, tanto en *E. pulverulenta* como en *A. dentata* (todos p -valor $< 0,05$). En promedio para ambas especies, gs fue de $194,31 \pm 45,10$ mmol H₂O m⁻² s⁻¹ en *E. pulverulenta* y de $298,70 \pm 75,57$ mmol H₂O m⁻² s⁻¹ en *A. dentata*.

3.5 Contenido relativo de clorofila (CRC)

Se obtuvieron diferencias significativas en el CRC para la interacción entre tiempo de medición (MED) y tratamiento de riego (p-valor = 0,0305) sólo en el caso de *E. pulverulenta*. Por el contrario, la poda química de raíces no tuvo efecto sobre el CRC en ninguna especie. Durante toda la etapa de pleno crecimiento, el riego con criterio produjo plantas con mayores valores de CRC que el riego sistemático, donde el tratamiento de riego CR 50% fue consistentemente mayor que el tratamiento de riego SIS a lo largo de la viverización, y sus valores se mantuvieron estables en el tiempo. Por el contrario, para el riego sistemático se evidenció un incremento significativo entre la primera y segunda medición, para luego estabilizarse en la última medición (Figura 3.5.1).

Por otro lado, en el caso de *A. dentata* no hubo ninguna interacción o tratamiento que de forma independiente mostrara ser significativo para la variable de CRC (todos p-valor > 0,05).

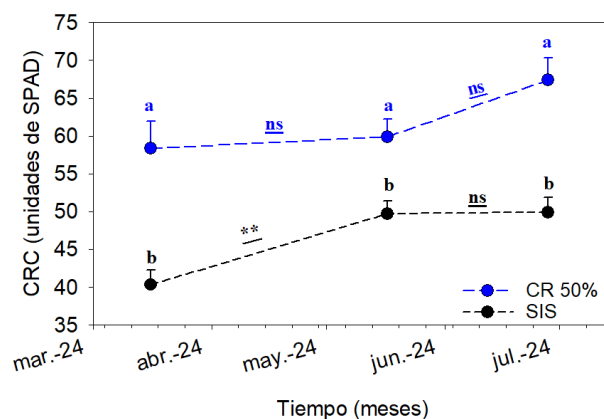


Figura 3.5.1. Contenido relativo de clorofila (CRC, unidades de SPAD) durante la fase de pleno crecimiento de *Escallonia pulverulenta* en respuesta a los tratamientos de riego sistemático (SIS) y con criterio (CR 50%). Símbolos indican media + desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos para el mismo tiempo de medición. ** indican diferencias significativas entre tiempos de medición para el mismo tratamiento para $p < 0,01$, ns indica sin diferencias significativas entre tiempos de medición para el mismo tratamiento de riego de acuerdo con ANOVA

3.6 Supervivencia

Debido a las intensas heladas y variaciones climáticas que se registraron en la región durante los meses de invierno se observó mortalidad, en las cuales *E. pulverulenta* fue la especie más afectada y donde los tratamientos de poda y de riego mostraron ser significativos cada uno de forma independiente (p-valor = 0,0191 y p-valor <0,0001, respectivamente). En el caso del riego, las plantas que fueron regadas con criterio presentaron un mayor porcentaje de supervivencia o de plantas no afectadas ($70,56 \pm 15,36$ %) por sobre aquellas que se regaron de forma sistemática ($27,50 \pm 13,85$ %). Para la poda química de raíces la diferencia fue más moderada en comparación con los tratamientos de riego, donde las plantas con el tratamiento con poda química obtuvieron un mayor porcentaje de plantas no afectadas ($43,25 \pm 24,45$ %) que las plantas sin el tratamiento de poda química de raíces ($54,13 \pm 27,79$ %).

Para *A. dentata* sólo el riego fue significativo (p-valor < 0,0001) en la supervivencia de plantas afectadas, y al igual que con *E. pulverulenta* el riego

con criterio obtuvo mayor porcentaje de plantas no afectadas ($88,00 \pm 6,48 \%$) que el riego sistemático ($86,00 \pm 10,83 \%$).

3.7 Curvas presión-volumen

Para *E. pulverulenta* no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos de riego, poda y sus interacciones para ninguno de los parámetros evaluados (todos los p-valor $> 0,05$). Solo en el caso de *A. dentata* se obtuvo diferencias en el parámetro de capacitancia absoluta (CFT_{absolute}) (p-valor = $0,0138$) con respecto a los tratamientos de riego. Donde en el riego sistemático se observó una mayor CFT_{absolute} (Figura 3.7.1).

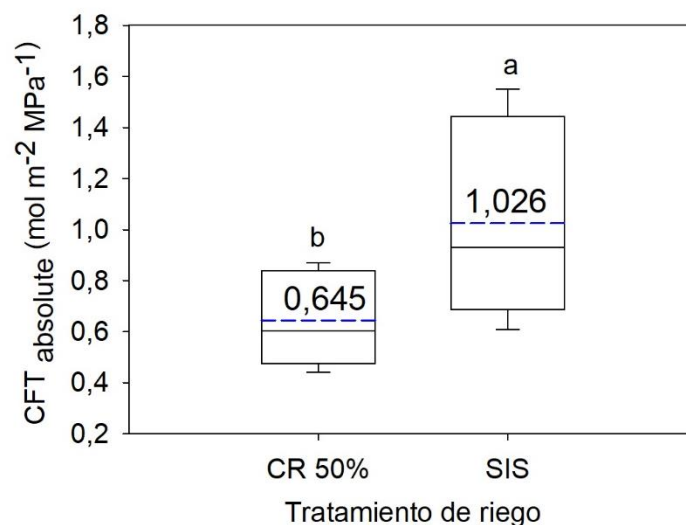


Figura 3.7.1. Capacitancia hidráulica absoluta (CFT_{absolute}) para los tratamientos de riego con criterio (CR 50%) y sistemático (SIS) en *Azara dentata*. La línea sólida en cada caja representa la mediana y la línea segmentada representa la media. Barras sobre y bajo las cajas indican desviación estándar. Distintas letras

indican diferencias significativas entre tratamientos para $p < 0,05$ de acuerdo con ANOVA. Valores en las cajas representan media.

IV. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se logró determinar y caracterizar los efectos de la aplicación de riego con criterio en base a la pérdida del 50% del agua aprovechable y de la poda química de raíces con compuesto a base de cobre sobre atributos morfo-fisiológicos asociados a resistencia al déficit hídrico de los arbustos nativos *E. pulverulenta* y *A. dentata*. En ambas especies respondieron de manera diferencial a los tratamientos aplicados.

4.1. Efecto del riego y poda química de raíces sobre atributos morfológicos en *E. pulverulenta* y *A. dentata*

Para *E. pulverulenta*, el tratamiento de riego 50% no tuvo un efecto positivo en el largo de tallo, no así en *A. dentata* donde se observó que el tratamiento de riego CR 50% generó mayores largos de tallo. Por otro lado, la poda química muestra tener un efecto negativo en el diámetro de cuello en el caso de *E. pulverulenta* y un efecto positivo para *A. dentata*, independiente del tipo de riego aplicado.

Sin embargo, a pesar de que el tratamiento de riego CR 50% produce plantas de menor altura y diámetro en *E. pulverulenta*, este induce una mayor biomasa total, la que se explica por una mayor proporción de biomasa

radicular, en respuesta a una menor disponibilidad hídrica evitando un desbalance entre la absorción de agua y la transpiración (Grossnickle, 2005a, 2005b; Moreno, 2009; Potters et al., 2007; Shao et al., 2008). Por el contrario, el tratamiento de riego sistemático indujo una disminución en la proporción biomasa raíz / biomasa aérea producida por un mayor desarrollo de los componentes aéreos de la planta lo que podría inducir un desbalance entre la absorción y agua y transpiración. En *A. dentata*, aun cuando el tratamiento de riego SIS produjo una mayor biomasa de hojas, se observó un efecto más moderado que en *E. pulverulenta*.

Por otro lado, para ambas especies se observó el mismo comportamiento en respuesta al tratamiento de poda química, en *E. pulverulenta* este tratamiento disminuyó la biomasa de hoja, de raíz y por consiguiente la biomasa total, mientras que en *A. dentata* disminuyó la proporción de biomasa raíz / biomasa aérea. Contrario a la hipótesis, las plantas de ambas especies que fueron podadas disminuyeron su relación biomasa raíz / biomasa aérea. Estos resultados ya han sido reportados con anterioridad en *Pinus palustris* (Dumroese et al., 2013), y en especies nativas como *Q. saponaria* y *A. chilensis*, donde la aplicación de cobre no solo disminuye la biomasa radicular sino que también disminuye la cantidad de raíces laterales y finas (Calderón-Ureña et al., 2025; Liu et al., 2016; Marchioretto et al., 2020) lo que podría tener un efecto negativo en la absorción de agua y nutrientes especialmente en los periodos de baja disponibilidad hídrica (Agee et al., 2021). Liu et al.,

(2016) reportaron que las plántulas de *Quercus variabilis* podadas con cobre no exhibieron un mejor rendimiento post-plantación que las no podadas, aun cuando presentaban mayores concentraciones de N y K en raíces. De manera similar, Tsakalimi & Ganatsas, (2006) reportaron que no se observaron diferencias entre las concentraciones de macro y micro-nutrientes, ni en la supervivencia luego de dos años en condiciones de campo de *Pinus halepensis*.

Existe una discrepancia sobre si una planta más grande, mayor largo de tallo y diámetro de cuello, es beneficioso o no para la supervivencia de las plantas en condiciones de campo. Por una parte, se ha descrito que un mayor tamaño puede aumentar la supervivencia debido a que existe una mayor movilización de los recursos, tales como carbohidratos, agua y nutrientes minerales (Villar-Salvador et al., 2012), factores que serán claves para el proceso de establecimiento, competencia y prevención del estrés por falta de agua (Grossnickle, 2005a). Por la otra parte, también se ha reportado que un mayor tamaño puede ser perjudicial y reducir la supervivencia de las plántulas debido a una mayor transpiración, lo que puede aumentar la vulnerabilidad al estrés por sequía (Grossnickle, 2012; Oliet et al., 2019). En un meta-análisis realizado por Andivia et al., (2021), que considera los antecedentes tanto positivos como negativos del tamaño de la planta en condiciones de campo, se demostró la relación positiva existente entre el aumento de diámetro de cuello y altura, y la supervivencia en campo, patrón que se mostró consistente

en plantaciones forestales en una amplia gama de condiciones de aridez. Así, el efecto del riego con criterio CR 50% y la poda química podrían tener un efecto ventajoso en el caso de *A. dentata* en condiciones de estrés en campo. En *E. pulverulenta* el riego con criterio CR 50% podría mostrar ventajas con respecto a la distribución de biomasa, no así la poda química que podría generar efectos no deseados como la menor proporción biomasa radicular / biomasa aérea lo que podría afectar de manera negativa la supervivencia post-plantación.

4.2. Efecto del riego con criterio y la poda química en el estatus nutricional y comportamiento en *E. pulverulenta* y *A. dentata*

En ambas especies el tratamiento de riego CR 50% generó una mayor concentración de N debido a una menor disponibilidad hídrica y lixiviación de los nutrientes, representada por este tratamiento, lo que se traduciría en un aumento en las concentraciones foliares de nutrientes (Abbasi & Sepaskhah, 2023; Juntunen et al., 2002; Li et al., 2018).

Según el modelo de Villar-Salvador et al., (2012) la mayor concentración de N, promovería el crecimiento de las raíces post-plantación y con esto la absorción de agua y nutrientes del suelo, aumentando así la tasa neta de fotosíntesis y concentración de carbohidratos no estructurales. Para *E. pulverulenta*, este incremento en N, que es un componente principal de la

clorofila (Ontiveros-Capurata et al., 2022), también se vio reflejado en un aumento de CRC, lo que podría inducir una mayor capacidad fotosintética (Loayza et al., 2022; Sim et al., 2015; Yáñez-Segovia et al., 2023).

La poda química, por su parte, generó un aumento en la concentración de K en *E. pulverulenta*, resultados similares fueron reportados por Calderón-Ureña et al. (2025) en *Q. saponaria*, por Marchioretto et al., (2020) en *Physalis peruviana* y por de Freitas et al. (2015) en *Inga subnuda*, estos últimos explican que la destrucción de la epidermis y endodermo causado por el exceso de Cu en las raíces facilitaría la absorción y traslocación de K a las hojas.

Por otra parte, la mayor concentración de N y K en el caso de *E. pulverulenta* y de N para *A. dentata*, producto del riego con criterio explicarían la mayor supervivencia de ambas especies frente al evento de helada. Andivia et al. (2012) reportaron que una mayor concentración de N mejoró significativamente la tolerancia al frío de plántulas de *Quercus ilex ssp.* ya que aumenta la concentración de carbohidratos solubles ejerciendo un efecto osmótico (Larcher, 2000). Por su parte, K tiene un papel esencial en la respuesta de la planta al estrés, al aumentar las concentraciones de antioxidantes y reducir la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Wang et al., 2013; Cakmak, 2005), aminorando el estrés oxidativo y muerte celular inducido por estrés por frío.

El riego con criterio ha sido estudiado como una técnica de vivero, conocida como endurecimiento por sequía, cuyos objetivos son reducir el crecimiento y promover la formación de yemas (Landis, 1989), aclimatar las plantas a su entorno natural y de esta forma promover los mecanismos fisiológicos involucrados en la tolerancia a la sequía o helada (Villar-Salvador et al., 2013), mejorando así la supervivencia y el crecimiento post-plantación (Landis et al., 1998). Se ha demostrado que la aplicación de esta técnica aumenta la supervivencia en campo, siendo particularmente beneficiosa en arbustos en sitios de alta aridez sin causar un efecto negativo en el crecimiento (Puértolas et al., 2024). Por lo que el uso de esta técnica es altamente recomendado en escenarios donde el crecimiento radicular post-plantación puede verse restringido por el estrés hídrico.

4.3. Diferencias en los atributos morfo-fisiológicos en *A. dentata* y *E. pulverulenta*

La capacitancia hidráulica, definida como el cambio en contenido de agua para un rango dado de potencial hídrico, actúa como un buffer contra fluctuaciones de potencial hídrico (Blackman & Brodribb, 2011). El aumento de disponibilidad hídrica, como es el caso del riego sistemático en *A. dentata*, indujo un aumento en la capacitancia, no así en *E. pulverulenta*. Esto podría

indicar un aumento en la capacidad de almacenar y entregar agua en el caso de *A. dentata* frente a escenarios de estrés hídrico (Fuchs, 2024).

Aunque el objetivo de esta investigación no fue evaluar la diferencia de atributos entre especies, se observaron diferencias en rasgos morfo-fisiológicos que ayudan a comprender sus respuestas diferenciales a los tratamientos aplicados.

A. dentata presenta un mayor LMA ($172,82 \pm 11,62 \text{ g m}^{-2}$) en contraste con *E. pulverulenta* ($133,58 \pm 11,98 \text{ g m}^{-2}$). Un mayor LMA está asociado a hojas más gruesas, densas y con mayor inversión estructural (Poorter et al., 2009) lo que contribuye a una larga vida de las hojas, retención de nutrientes y protección sobre la desecación (de la Riva et al., 2016). Estas características, asociadas también a menores tasas de crecimiento, confieren menor plasticidad en respuesta a factores ambientales (Carrascosa et al., 2023; Chen et al., 2020), lo que podría explicar la menor respuesta de *A. dentata* frente a los tratamientos aplicados.

En concordancia, se observó un mayor módulo de elasticidad (ϵ), el cual corresponde al cambio de potencial de presión por cambio en el contenido relativo de agua simplástica (Nadal et al., 2023), en *A. dentata* ($15,40 \pm 0,98 \text{ MPa}$) versus *E. pulverulenta* ($11,30 \pm 1,01 \text{ MPa}$). Un mayor ϵ se a menor plasticidad celular, paredes celulares más rígidas que restringen cambios importantes en el volumen celular con la disminución del contenido relativo de

agua (Touchette et al., 2014). Esto se condice con la idea de menor plasticidad de *A. dentata* generando una menor respuesta frente a los tratamientos aplicados.

4.4. Implicancias para la producción en vivero

El riego con criterio CR 50% demostró ser el tratamiento que indujo atributos morfo-fisiológicos asociados a resistencia al estrés hídrico considerando biomasa, nutrición y supervivencia en ambas especies. Además, desde un punto de vista productivo, contribuye a la reducción de costos asociados al uso de personal, maquinaria y recursos hídricos (Belayneh et al., 2013; Dumroese et al., 2015), y menor lixiviación de nutrientes y contaminación de napas subterráneas (Abbasi & Sepaskhah, 2023; Li et al., 2018).

La poda química, por otra parte, no indujo los atributos esperados con relación a distribución de biomasa y estatus nutricional, en ambas especies. Considerando su alto costo, es necesario evaluar empíricamente su efecto en condiciones de campo o restricción hídrica.

V. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en esta investigación destacan la importancia de adaptar las prácticas de manejo en vivero a las características particulares de cada especie y las condiciones ambientales.

El riego con criterio CR 50% mostró efectos positivos para ambas especies al promover una mayor biomasa radicular de *E. pulverulenta* y una proporción balanceada entre la relación biomasa radicular / biomasa aérea de ambas especies, y mejor estatus nutricional. Estos atributos contribuyeron a una mayor resistencia a estrés por frío, lo que demuestra su potencial para mejorar la supervivencia post-plantación en condiciones de estrés abiótico.

Por el contrario, la poda química de raíces generó efectos negativos en ambas especies, disminuyendo la biomasa total y proporción de biomasa radicular. Considerando además los costos económicos y ambientales que esta técnica genera, se vuelve una opción poco recomendable para la producción de estas especies.

No obstante, es fundamental evaluar el efecto de los tratamientos aplicados en condiciones de campo o bajo escenarios de restricción hídrica, evaluar efectivamente la implementación de estas técnicas en especies arbustivas y su desempeño en condiciones climáticas adversas producidas por el cambio climático.

VI. GLOSARIO

Clima mediterráneo: clima templado que se caracteriza por veranos secos y cálidos, e inviernos lluviosos y suaves.

Conductancia estomática: medida de la cantidad de agua que pierden las hojas de las plantas.

Edáfico: Perteneciente o relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a las plantas.

Hotspot de biodiversidad: región terrestre con gran riqueza biológica que se encuentra amenazada.

Lixiviación de nutrientes: proceso por el cual los nutrientes del suelo o de los alimentos se pierden y son arrastrados por el agua.

Módulo de elasticidad: parámetro que mide la rigidez de la pared celular.

Planta nodriza: planta adulta que ayuda al crecimiento de otras plantas, proporcionándoles protección, sombreado y nutrientes.

Planta pionera: primeras especies que se establecen en un área después de una perturbación o en espacios sin vegetación.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Abbasi, M. R., & Sepaskhah, A. R. (2023). Nitrogen leaching and groundwater N contamination risk in saffron/wheat intercropping under different irrigation and soil fertilizers regimes. *Scientific Reports*, 13(1), 6587. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33817-5>

Acevedo, M., Álvarez, C., Cartes, E., Dumroese, R. K., & González, M. (2020). Production and establishment techniques for the restoration of *Nothofagus alessandrii*, an endangered keystone species in a Mediterranean forest. *New Forests*, 51(1), 159-174. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09724-x>

Acevedo, M., Álvarez-Maldini, C., Dumroese, R. K., Bannister, J. R., Cartes, E., & González, M. (2021). Native Plant Production in Chile. Is It Possible to Achieve Restoration Goals by 2035? *Land*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/land10010071>

Acevedo, M., Rubilar, R., Dumroese, R. K., Ovalle, J. F., Sandoval, S., & Chassin-Trubert, R. (2021). Nitrogen loading of *Eucalyptus globulus* seedlings: Nutritional dynamics and influence on morphology and root growth potential. *New Forests*, 52(1), 31-46. <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09778-2>

Ady Giordano, P. V., Mauricio Retamal, Felipe Leyton, Patricia Martínez, Raquel Bridi, & Montenegro, G. (2018). Bioactive polyphenols and antioxidant

capacity of *Azara petiolaris* and *Azara integrifolia* Honeys. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 484-489. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1426631>

Agee, E., He, L., Bisht, G., Couvreur, V., Shahbaz, P., Meunier, F., Gough, C. M., Matheny, A. M., Bohrer, G., & Ivanov, V. (2021). Root lateral interactions drive water uptake patterns under water limitation. *Advances in Water Resources*, 151, 103896. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.103896>

Alliende, M. C., & Hoffmann, A. J. (1985). Plants intruding *Laretia acaulis* (Umbelliferae), a high Andean cushion plant. *Vegetatio*, 60(3), 151-156. <https://doi.org/10.1007/BF00039932>

Alvarez-Maldini, C., Acevedo, M., Dumroese, R. K., González, M., & Cartes, E. (2020). Intraspecific Variation in Drought Response of Three Populations of *Cryptocarya alba* and *Persea lingue*, Two Native Species From Mediterranean Central Chile. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01042>

Andivia, E., Fernández, M., Vázquez-Piqué, J., & Alejano, R. (2012). Two provenances of *Quercus ilex* ssp. *Ballota* (Desf) Samp. Nursery seedlings have different response to frost tolerance and autumn fertilization. *European Journal of Forest Research*, 131, 1091-1101. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0578-1>

Andivia, E., Villar-Salvador, P., Oliet, J. A., Puértolas, J., Dumroese, R. K., Ivetić, V., Molina-Venegas, R., Arellano, E. C., Li, G., & Ovalle, J. F. (2021). Climate and species stress resistance modulate the higher survival of large seedlings in forest restorations worldwide. *Ecological Applications*, 31(6), e02394. <https://doi.org/10.1002/eap.2394>

Bannister, J. R., Donoso, P. J., & Mujica, R. (2016). La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados. *Bosque (Valdivia)*, 37, 229-235.

Bannister, J., Vargas-Gaete, R., Ovalle, J., Acevedo, M., Fuentes-Ramirez, A., Donoso, P., Promis, A., & Smith-Ramirez, C. (2018). Major bottlenecks for the restoration of natural forests in Chile. *Restoration Ecology*, 26, 1039-1044. <https://doi.org/10.1111/rec.12880>

Belayneh, B., Lea-Cox, J., & Lichtenberg, E. (2013). Costs and Benefits of Implementing Sensor-controlled Irrigation in a Commercial Pot-in-Pot Container Nursery. *HortTechnology*, 23, 760-769. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.6.760>

Blackman, C., & Brodribb, T. (2011). Two measures of leaf capacitance: Insights into the water transport pathway and hydraulic conductance in leaves. *Functional Plant Biology*, 38, 118-126. <https://doi.org/10.1071/FP10183>

Calderón-Ureña, F., Álvarez-Maldini, C., Acevedo, M., Sánchez-Olate, M. E., Dumroese, R. K., Sierra-Olea, A., Ovalle, J. F., & Esquivel-Segura, E. (2025). Phosphorus Fertilization and Chemical Root Pruning: Effects on Root Traits During the Nursery Stage in Two Mediterranean Species from Central Chile. *Plants*, *14*(2). <https://doi.org/10.3390/plants14020195>

Carrascosa, A., Silvestre, M., Morgado, L., & Azcárate, F. M. (2023). Diversity and mean specific leaf area of Mediterranean woody vegetation changes in response to summer drought across a double stress gradient: The role of phenotypic plasticity. *Journal of Vegetation Science*, *34*(2), e13180. <https://doi.org/10.1111/jvs.13180>

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., Gómez, J. M., & Gómez-Aparicio, L. (2004). Benefits of Using Shrubs as Nurse Plants for Reforestation in Mediterranean Mountains: A 4-Year Study. *Restoration Ecology*, *12*(3), 352-358. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.0316.x>

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J., & Gómez, J. (2002). Use of Shrubs as Nurse Plants: A New Technique for Reforestation in Mediterranean Mountains. *Restoration Ecology*, *10*, 297-305. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2002.01022.x>

Cavieres, L. A., Peñaloza, A., Papic, C., & Tambutti, M. (1998). Efecto nodriza del cojín *Laretia acaulis* (Umbelliferae) en la zona altoandina de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 71, 337-347.

Chen, X., Sun, J., Wang, M., Lyu, M., Niklas, K. J., Michaletz, S. T., Zhong, Q., & Cheng, D. (2020). The Leaf Economics Spectrum Constrains Phenotypic Plasticity Across a Light Gradient. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.00735>

CONAF. (2015). *Política Forestal 2015-2035*. Corporación Nacional Forestal.

Cordero, R. R., Feron, S., Damiani, A., Carrasco, J., Karas, C., Wang, C., Kraamwinkel, C. T., & Beaulieu, A. (2024). Extreme fire weather in Chile driven by climate change and El Niño–Southern Oscillation (ENSO). *Scientific Reports*, 14(1), 1974. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52481-x>

Cuesta, B., Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Jacobs, D., & Benayas, J. (2010). Why do large, nitrogen rich seedlings better resist stressful transplanting conditions? A physiological analysis in two functionally contrasting Mediterranean forest species. *Forest Ecology and Management*, 260, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.002>

Davis, A. S., & Pinto, J. R. (2021). The Scientific Basis of the Target Plant Concept: An Overview. *Forests*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/f12091293>

de Freitas, T. A., França, M. G. C., de Almeida, A.-A. F., de Oliveira, S. J. R., de Jesus, R. M., Souza, V. L., dos Santos Silva, J. V., & Mangabeira, P. A. (2015). Morphology, ultrastructure and mineral uptake is affected by copper toxicity in young plants of *Inga subnuda* subs. *Luschnathiana* (Benth.) T.D. Penn. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(20), 15479-15494. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4610-8>

de la Riva, E. G., Tosto, A., Pérez-Ramos, I. M., Navarro-Fernández, C. M., Olmo, M., Anten, N. P., Marañón, T., & Villar, R. (2016). A plant economics spectrum in Mediterranean forests along environmental gradients: Is there coordination among leaf, stem and root traits? *Journal of Vegetation Science*, 27(1), 187-199.

Domínguez Lerena, S., Herrero, N., Carrasco, I., Ocaña, L., & Peñuelas, J. (1997). *Ensayo de diferentes tipos de contenedores para Quercus ilex, Pinus halepensis, Pinus pinaster y Pinus pinea: Resultados de vivero*. Actas del II Congreso Forestal Español.

Dumroese, R. K., Landis, T., Pinto, J., Haase, D., Wilkinson, K., & Davis, A. (2016). Meeting Forest Restoration Challenges: Using the Target Plant Concept. *REFORESTA*, 1, 37. <https://doi.org/10.21750/REFOR.1.03.3>

Dumroese, R. K., Page-Dumroese, D. S., Salifu, K. F., & Jacobs, D. F. (2005). Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: Nutrient uptake

efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(12), 2961-2967. <https://doi.org/10.1139/x05-226>

Dumroese, R. K., Pinto, J., & Montville, M. (2015). Using container weights to determine irrigation needs: A simple method. *Native Plants Journal*, 16, 67-71. <https://doi.org/10.3368/npj.16.1.67>

Dumroese, R. K., Sung, S.-J. S., Pinto, J. R., Ross-Davis, A., & Scott, D. A. (2013). Morphology, gas exchange, and chlorophyll content of longleaf pine seedlings in response to rooting volume, copper root pruning, and nitrogen supply in a container nursery. *New Forests*, 44(6), 881-897. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9377-5>

Fagundes, M., Weisser, W., & Ganade, G. (2018). The role of nurse successional stages on species-specific facilitation in drylands: Nurse traits and facilitation skills. *Ecology and Evolution*, 8(10), 5173-5184. <https://doi.org/10.1002/ece3.3962>

Fuchs, M. (2024). Revealing the Hidden Role of Capacitance in the Water Flow Through Plants to the Atmosphere. *Plant, Cell & Environment*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/pce.15343>

Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., Gómez, J. M., Hódar, J. A., Castro, J., & Baraza, E. (2004). Applying plant facilitation to forest restoration: A meta-

analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications*, 14(4), 1128-1138. <https://doi.org/10.1890/03-5084>

Grossnickle, S. C. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30(2), 273-294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>

Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests*, 43(5), 711-738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>

Grossnickle, S., & Macdonald, J. (2018). Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. *Forests*, 9, 283. <https://doi.org/10.3390/f9050283>

Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P. A., & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6907-6912. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110>

IPBES. (2019, abril). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (Versión 1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6417333>

Juntunen, M.-L., Hammar, T., & Rikala, R. (2002). Leaching of Nitrogen and Phosphorus during Production of Forest Seedlings in Containers. *Journal of*

Environmental Quality, 31(6), 1868-1874.

<https://doi.org/10.2134/jeq2002.1868>

Landis, T. D. (1989). Seedling nutrition and irrigation. The container tree nursery manual Volume 4. *Agriculture Handbook*, 674.

Landis, T., Douglass, J., Wilkinson, K., & Luna, T. (2014). Sustratos. En *Manual de Viveros Tropicales* (pp. 101-121).

Landis, T., Luna, T., & Dumroese, R. K. (2014). Contenedores. En *Manual de Viveros Tropicales* (pp. 122-139).

Landis, T., Tinus, R. W., & Barnett, J. P. (1998). Seedling nutrition and irrigation. En *Seedling propagation* (Vol. 6). USDA Forest Service.

Larcher, W. (2000). Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. *Plant Biosystems - PLANT BIOSYST*, 134, 279-295.
<https://doi.org/10.1080/11263500012331350455>

Li, Y., Li, J., Gao, L., & Tian, Y. (2018a). Irrigation has more influence than fertilization on leaching water quality and the potential environmental risk in excessively fertilized vegetable soils. *PloS one*, 13(9), e0204570.

Li, Y., Li, J., Gao, L., & Tian, Y. (2018b). Irrigation has more influence than fertilization on leaching water quality and the potential environmental risk in

excessively fertilized vegetable soils. *PLOS ONE*, 13(9), e0204570.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204570>

Liu, J., Bloomberg, M., Li, G., & Liu, Y. (2016). Effects of copper root pruning and radicle pruning on first-season field growth and nutrient status of Chinese cork oak seedlings. *New Forests*, 47(5), 715-729.
<https://doi.org/10.1007/s11056-016-9540-x>

Loayza, H., Calderón R., A., Gutiérrez, R. O., Céspedes F., E., & Quiroz, R. (2022). Estimación de las concentraciones relativas de clorofila en folíolos de papa (*Solanum tuberosum* L.) Utilizando técnicas de reflectancia de la vegetación. *Ecología Aplicada*, 21, 91-101.

Marchioretto, L. D. R., Rossi, A. D., & Conte, E. D. (2020). Chemical root pruning improves quality and nutrient uptake of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana*) seedlings. *Scientia Horticulturae*, 261, 108948.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108948>

Marler, T., & Musser, C. (2016). Chemical and air pruning of roots influence post-transplant root traits of the critically endangered *Serianthes nelsonii*. *Plant Root*, 10, 21-25. <https://doi.org/10.3117/plantroot.10.21>

Massone, D. S., Bartoli, C. G., & Pastorino, M. J. (2018). Efecto de la fertilización con distintas concentraciones de nitrógeno y potasio en el

crecimiento de plantines de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) en vivero. *Bosque (Valdivia)*, 39(3), 375-384.

Mills, A., Christophersen, T., Wilkie, M., & Mansur, E. (2021). El Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas: Acelerar un movimiento a escala planetaria. *Restaurar la tierra—El próximo decenio: Unasylva No. 252—Vol. 71 2020/1, 252(1)*, 132.

Minagri. (2021, diciembre). *Plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021-2030*.

Mittermeier, R., Gil, P., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C., Lamoreux, J., & Fonseca, G. (2004). Hotspots Revisited. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. En *Conserv. Int.* (Vol. 392).

Molina-Montenegro, M. A., Badano, E. I., Inostroza, P. A., & Cavieres, L. A. (2005). Intercambio gaseoso en dos especies de plantas alto andinas de Chile central: Efecto de la asociación a plantas en cojín. *Ecología austral*, 15(1), 49-58.

Moreno F., L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27, 179-191.

Muñoz-Sáez, A., Choe, H., Boynton, R. M., Elsen, P. R., & Thorne, J. H. (2021). Climate exposure shows high risk and few climate refugia for Chilean native vegetation. *Science of The Total Environment*, 785, 147399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147399>

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Nadal, M., Clemente-Moreno, M. J., Perera-Castro, A. V., Roig-Oliver, M., Onoda, Y., Gullías, J., & Flexas, J. (2023). Incorporating pressure–volume traits into the leaf economics spectrum. *Ecology Letters*, 26(4), 549-562. <https://doi.org/10.1111/ele.14176>

Oliet, J., de Urbina, E., Sánchez-Pinillos, M., & Tardío, G. (2019). Matching seedling size to planting conditions: Interactive response with soil moisture. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 12. <https://doi.org/10.3832/ifor2801-012>

Ontiveros-Capurata, R. E., Juárez-López, P., Mendoza-Tafolla, R. O., Alia-Tejagal, I., Villegas-Torres, O. G., Guillén-Sánchez, D., & Cartmill, A. D. (2022). Relationship between chlorophyll and nitrogen concentration, and fresh matter production in basil ‘Nufar’(Ocimum basilicum) with three handheld chlorophyll

meter readings: SPAD, atLEAF and MC-100. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 28(3), 189-202.

Pañaloza, A., Cavieres, L., Arroyo, M. T. K., & Torres, C. (2001). Efecto nodriza intra-específico de *Kageneckia angustifolia* D. Don (Rosaceae) sobre la germinación de semillas y sobrevivencia de plántulas en el bosque esclerófilo montano de Chile central. *Revista chilena de historia natural*, 74, 539-548.

Pinto, J., Marshall, J., Dumroese, R. K., Davis, A., & Cobos, D. (2015). Seedling establishment and physiological responses to temporal and spatial soil moisture changes. *New Forests*, 47. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9511-7>

Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I. J., & Villar, R. (2009). Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): A meta-analysis. *New Phytologist*, 182(3), 565-588. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x>

Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., & Jansen, M. A. K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: Growing out of trouble? *Trends in Plant Science*, 12(3), 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.01.004>

Puértolas, J., Villar-Salvador, P., Andivia, E., Ahuja, I., Coccozza, C., Cvjetković, B., Devetaković, J., Diez, J. J., Fløistad, I. S., Ganatsas, P., Mariotti, B.,

Tsakaldimi, M., Vilagrosa, A., Witzell, J., & Ivetić, V. (2024). Die-hard seedlings. A global meta-analysis on the factors determining the effectiveness of drought hardening on growth and survival of forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 572, 122300. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122300>

Riedemann, M. P., Teillier, S., & Aldunate, G. (2014). *Guía de Campo: Arbustos Nativos Ornamentales del Centro Sur de Chile*. Corporación Chilena de la Madera.

Rivera-Hutinel, A., & Acevedo-Orellana, F. (2017). Biología floral y reproductiva de *Escallonia pulverulenta* (Ruiz et Pav.) Pers. (Escalloniaceae) y su relación con los visitantes florales. *Gayana. Botánica*, 74, 82-93.

Sack, L., Pasquet-Kok, J., & Bartlett, M. (2011). *Leaf Pressure-Volume Curve Parameters*. Prometheus. Protocols in ecological & environmental science. <https://prometheusprotocols.net/function/water-relations/pressure-volume-curves/leaf-pressure-volume-curve-parameters/>

Seremi del Medio Ambiente, R. del B. (with Azúa, P., Vasquez, E., & Irribarra, N.). (2020). *Restauración del Ecosistema del Ecosistema Cayumanque Cayumanque: Una experiencia de restauración a escala de paisaje desde la institucionalidad pública Una experiencia de restauración a escala*.

Shao, H.-B., Chu, L.-Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C.-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002>

Sim, C. C., Zaharah, A. R., Tan, M. S., & Goh, K. J. (2015). Rapid Determination of Leaf Chlorophyll Concentration, Photosynthetic Activity and NK Concentration of *Elaies guineensis* Via Correlated SPAD-502 Chlorophyll Index. *Asian Journal of Agricultural Research*, 9(3), 132-138.

Sung, S.-J. S., Dumroese, R. K., Pinto, J. R., & Sayer, M. A. S. (2019). The Persistence of Container Nursery Treatments on the Field Performance and Root System Morphology of Longleaf Pine Seedlings. *Forests*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/f10090807>

Sword Sayer, M. A., Haywood, J. D., & Sung, S.-J. S. (2009). Cavity Size and Copper Root Pruning Affect Production and Establishment of Container-Grown Longleaf Pine Seedlings. *Forest Science*, 55(5), 377-389. <https://doi.org/10.1093/forestscience/55.5.377>

Temminghoff, E. J. M., & Houba, V. J. G. (2004). *Plant analysis: Procedures*. Kluwer Academic Publisher.

Tewksbury, J. J., & Lloyd, J. D. (2001). Positive interactions under nurse-plants: Spatial scale, stress gradients and benefactor size. *Oecologia*, 127, 425-434.

Touchette, B. W., Marcus, S. E., & Adams, E. C. (2014). Bulk elastic moduli and solute potentials in leaves of freshwater, coastal and marine hydrophytes. Are marine plants more rigid? *AoB PLANTS*, 6, plu014. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu014>

Tsakalimi, M., & Ganatsas, P. (2006). Effect of chemical root pruning on stem growth, root morphology and field performance of the Mediterranean pine *Pinus halepensis* Mill. *Scientia Horticulturae*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.007>

Tyree, M. T., & Hammel, H. T. (1972). The Measurement of the Turgor Pressure and the Water Relations of Plants by the Pressure-bomb Technique. *Journal of Experimental Botany*, 23(1), 267-282. <https://doi.org/10.1093/jxb/23.1.267>

Vilagrosa, A., Cortina, J., Pelegrín, E., & Bellot, J. (2003). Suitability of Drought-Preconditioning Techniques in Mediterranean Climate. *Restoration Ecology*, 11, 208-216. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.00172.x>

Villalón-Mendoza, H. (2016). Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel.(encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), 46-52.

Villar-Salvador, P., Peñuelas, J. L., & Jacobs, D. F. (2013). Nitrogen nutrition and drought hardening exert opposite effects on the stress tolerance of *Pinus*

pinea L. seedlings. *Tree Physiology*, 33(2), 221-232.
<https://doi.org/10.1093/treephys/tps133>

Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Cuesta, B., Peñuelas, J., Uscola, M., Heredia, N., & Benayas, J. (2012). Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests*, 43, 755-770. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9328-6>

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *International journal of molecular sciences*, 14, 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>

Williams, K. J., Ford, A., Rosauer, D. F., De Silva, N., Mittermeier, C., Lamoreux, J., & Da Fonseca, G. (2011). *Biodiversity Hotspots* (1.^a ed.). Springer Publishers.

Yáñez-Segovia, S., Silvestre, L., & Chamorro-Warnken, I. (2023). Contenido de clorofila en hojas de papas de altura para estimar la calidad de los tubérculos. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 38(2), 46-58. Redalyc.