



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE LA  
NATURALEZA**

**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA  
NATURALEZA**

---

**EVALUACIÓN DE MICORRIZAS EN EL CRECIMIENTO Y  
SOBREVIVENCIA DE PLANTAS DE *Cryptocarya alba* (MOL.)  
LOOSER DE DIFERENTES PROCEDENCIAS FRENTE A LA  
TOLERANCIA AL ESTRÉS HÍDRICO**

**Memoria para optar a Título  
Profesional de Ingeniera Forestal**

**PAULA JAVIERA GONZÁLEZ VELA**

Profesor Guía: Sr. Eduardo Martínez Herrera. Ingeniero Forestal. Doctor en Ciencias  
Silvoagropecuarias y Veterinarias.

Colaborador: Sr. Sergio Espinoza M. Ingeniero Forestal. Doctor en Ciencias  
Silvoagropecuarias y Veterinarias.

---

**Santiago, Chile**

**2021**

# UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE LA  
NATURALEZA

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA  
NATURALEZA

## EVALUACIÓN DE MICORRIZAS EN EL CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE PLANTAS DE *Cryptocarya alba* (MOL.) LOOSER DE DIFERENTES PROCEDENCIAS FRENTE A LA TOLERANCIA AL ESTRÉS HÍDRICO

Memoria para optar a Título

Profesional de Ingeniera Forestal

PAULA JAVIERA GONZÁLEZ VELA

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Dr. Eduardo Martínez Herrera	7.0	.....
Prof. Consejero Dr. Sergio Donoso Calderón	5.5	.....
Prof. Consejero Dr. Carlos Magni Díaz	7.0	.....

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a mi profesor guía Eduardo Martínez, por su incondicional apoyo en todos mis años de Universidad, por su preocupación, las oportunidades brindadas, los conocimientos compartidos, su ayuda y sobre todo por la confianza depositada en mí para realizar este proyecto.

A mis profesores consejeros Sergio Donoso, por sus correcciones y Carlos Magni, por su disposición para completar el desarrollo de este estudio. Además, al profesor colaborador Sergio Espinoza, por la paciencia por enseñarme. A la profesora Rosemarie Garay, por su preocupación y contención en los últimos años de universidad.

Agradezco al Centro de Semillas y Árboles Forestales (CESAF) por hacerme sentir parte del equipo, por apoyarme y por compartir sus conocimientos conmigo. Especialmente, al profesor Iván Grez, por sus sabios consejos y su cariño; a Betsabé Abarca, por siempre aconsejarme; a Ángela Faúndez, por apoyarme incondicionalmente; a Nicole Toro, Suraj Vaswani y Nicole Rojas, que también formaron parte del desarrollo de este proyecto.

Agradezco a Valentina Navarro, por ser mi amiga desde el día uno de la universidad, por toda la paciencia y por todo el cariño entregado en estos años. A Damaris, por ser la mejor compañera de vivienda y de estudios; a Pipe por ser mi dupla en los peores trabajos de la u y logramos sobrevivir; a Gonzalo, por ser un excelente compañero de ayudantías; a Francisca y Álvaro, por el apoyo en los momentos de pandemia. A mis amigas del liceo, que siguen estando presente en mi vida, Cintia Trujillo y Tania Pardo. A Francisco por mostrarme que a veces es necesario cambiar los planes y emprender nuevos caminos. Espero que todos ustedes sigan en mi vida por muchos años más.

A los rezagados de la generación 2015, por el grupo que logramos formar en los últimos años y a los compañeros de la generación 2016, por todo el apoyo que nos dimos y a mi ahijado, Fredy, por confiar en mis consejos.

A todas las personas que me permitieron vivir en Santiago en todos estos años, a mi tía July, señora Feli y a mis abuelos de la vida don Tito y señora Adriana, por todo su cariño. Agradezco a mi familia de Paraguay y mis abuelos, porque en la distancia siguen preocupados de mí.

A mis padres, Jaime y Claudia, por siempre estar presentes, por esforzarse tanto, por permitirme perseguir mis metas y quererme tanto. A mis hermanos, Elias e Iván, por ser mis mayores dolores de cabeza, por ser los motores para convertirme en una mejor persona y deseando siempre que persigan sus sueños. Agradezco infinitamente por tenerlos como familia, por el apoyo y el amor que nos tenemos, a nuestra manera.

A Iván Acuña, por ser mi compañero de aventuras y desgracias, por tolerar todas las crisis universitarias, siempre encontrar las palabras de apoyo y motivarme a continuar cumpliendo

mis sueños. Además, por presentarme a Hugo, la persona que me incentivo a seguir esta bella carrera. ¡Solo puedo desearte lo mejor en tu camino!

Finalmente, a Anglo American S.A. Operación Los Bronces, por financiar, y apoyar el desarrollo de esta investigación, como parte del proyecto “Gestión de Recursos Fitogenéticos” y también a la Reserva Natural Altos de Cantillana, por facilitarme material para el desarrollo del ensayo.

A todos ustedes y a los que quedaron en el tintero, gracias por formar parte de este camino.

## INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Estrés hídrico.....	2
1.2. Procedencia .....	3
1.3. Antecedentes de <i>Cryptocarya alba</i> . .....	3
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
2. MATERIAL Y MÉTODO .....	6
2.1. Material .....	6
2.1.1. Área de estudio .....	6
2.1.2. Procedencia.....	6
2.2. Método .....	7
2.2.1. Preparación de sustrato .....	7
2.2.2. Consideraciones al trasplante .....	8
2.2.3. Mantenimiento y monitoreo.....	8
2.2.4. Aplicación condición hídrica.....	9
2.2.5. Levantamiento del ensayo .....	9
2.2.6. Índice de calidad de planta .....	10
2.2.7. Variables Fisiológica .....	10
2.2.8. Análisis estadístico .....	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
3.1. Contenido de humedad del sustrato .....	13
3.2. Supervivencia de individuos <i>Cryptocarya alba</i> .....	14
3.2.1. Supervivencia de los individuos según sustrato .....	14
3.2.2. Supervivencia de los individuos según procedencia .....	15
3.2.3. Supervivencia de los individuos según condición hídrica.....	16
3.3. Crecimiento de DAC y altura de individuos <i>Cryptocarya alba</i> .....	18
3.4. Crecimiento en biomasa de <i>Cryptocarya alba</i> .....	20
3.4.1. Respuestas en biomasa por sustrato.....	21
3.4.2. Respuestas en biomasa por procedencia.....	22

3.5.	Calidad de los individuos de <i>Cryptocarya alba</i> .....	23
3.6.	Variables del fisiológicas de la planta.....	24
4.	CONCLUSIONES.....	27
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	28

## INDICE DE CUADRO

<b>Cuadro 1:</b> Características de temperaturas y precipitaciones de las procedencias de semillas. .....	7
<b>Cuadro 2:</b> Supervivencia según condición hídrica, sustrato y procedencia (E.E. = 6,01)..	17
<b>Cuadro 3:</b> DAC y altura inicial e incremento.....	19
<b>Cuadro 4:</b> Biomasa aérea y raíz.....	21
<b>Cuadro 5:</b> Índices de calidad.....	24
<b>Cuadro 6:</b> Variables fisiológicas.....	25

## INDICE DE FIGURA

<b>Figura 1.</b> Localidades de procedencias de las semillas a ocupar. Elaboración: propia. ....	6
<b>Figura 2:</b> Distribución de individuos con diferentes procedencias (Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida) y con distinto tipo de sustrato con S0: 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana esterilizado, S1: 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana, con microorganismos naturales y S2: 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana esterilizado, 10 gr micorriza comercial, en el vivero antes de la aplicación de la condición hídrica. Elaboración: propia.....	9
<b>Figura 3.</b> Contenido de humedad promedio según condición hídrica, medido en diferentes periodos. ....	13
<b>Figura 4:</b> Porcentaje total de plantas sobrevivientes de individuos de <i>C. alba</i> con diferentes sustratos al momento de realizar el levantamiento del ensayo. ....	14
<b>Figura 5.</b> Fotografías de los tres sustratos evidenciando la presencia de Micorrizas.....	15
<b>Figura 6.</b> Porcentaje total de plantas sobrevivientes de individuos por procedencia (Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida) al momento de realizar el levantamiento del ensayo. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos. ....	16
<b>Figura 7.</b> Porcentaje total de plantas sobrevivientes de individuos de <i>Cryptocarya alba</i> con diferente condición hídrica (restricción y control) al momento de realizar el levantamiento del ensayo. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos. ....	17
<b>Figura 8.</b> Crecimiento inicial promedio del DAC (mm) y de altura (cm) de los individuos de <i>Cryptocarya alba</i> por procedencia (Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos...	20
<b>Figura 9:</b> Biomasa aérea.....	22
<b>Figura 10:</b> Biomasa aérea y raíz por procedencia. ....	22



## RESUMEN

*Cryptocarya alba*, cumple un rol importante como especie característica del bosque esclerófilo chileno y de fácil propagación, cuando hay semillas y condiciones óptimas. En la actualidad por el cambio climático que en la zona central de Chile se está manifestando en una reducción de las precipitaciones, la especie puede verse afectada, por lo cual, se debe contar con herramientas que permitan el establecimiento exitoso de plantaciones (por restauración, arbolado urbano), dejando de depender del riego como única herramienta de manejo. Este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de micorrizas con distintos sustratos en plantas de *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser de diferentes procedencias sometidas a estrés hídrico en condiciones de invernadero. Se realizó un ensayo de trasplante de contenedor donde se probó el efecto de tres sustratos: estéril (S0), sustrato estéril microorganismos naturales (S1) y sustrato estéril con micorrizas comerciales (S2). Las plantas de contenedor provienen de madres de las localidades de Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida, las cuales fueron sometidas a dos condiciones de riego (restricción hídrica y control). Se evaluó la sobrevivencia y crecimiento de los individuos de *C. alba* encontrándose que la sobrevivencia luego del trasplante no se afectó por el tipo de sustrato, procedencia o condición hídrica aplicada, siendo en promedio de 96,0%. En cuanto al crecimiento, se observaron mayores valores para el incremento de diámetro a la altura del pecho (DAC) y altura de las plantas cuando los sustratos y las procedencias fueron sometidas a una condición hídrica de control (2,81 mm y 27,6 cm, respectivamente) que para las plantas con restricción hídrica (2,05 mm y 13,85 cm). En el caso de la biomasa de la parte aérea y de raíz no hubo efecto del tipo de sustrato. Sin embargo, la procedencia y la condición hídrica tuvo efecto sobre la biomasa aérea y radical, destacando la procedencia Antumapu sin restricción hídrica (13,9 g /14,0 g tallo/raíz). Para los índices de calidad, hubo efecto de la condición hídrica sobre el Índice de Esbeltez (*IE*) siendo más robustas las plantas de sometidas a restricción hídrica (*IE*=4,57) que las plantas de control (*IE*=6,38). El índice Tallo/Raíz (*T/R*) no se vio afectado por los tratamientos implementados y alcanzó una media general de 1,10, mientras que el Índice de Dickson (*IC*) fue afectado por las procedencias, alcanzando un mayor valor las plantas Antumapu (*IC*=4,18). Las variables fisiológicas de transpiración (*E*), fotosíntesis (*An*), fueron afectadas por la procedencia, destacando las plantas de madres de La Dormida como las de mejor desempeño ( $E=0,0009$  (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y  $An=$  (umol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)). Tanto *E* como *An*, la conductancia estomática (*gs*) y la eficiencia en el uso del agua instantánea (*WUEi*), fueron afectadas por la condición hídrica del sustrato. El estudio permite inferir la importancia de las diferentes procedencias de la especie en el establecimiento, permitiendo decisiones de gestión más fiables y rentables en escenarios de cambio climático. En tanto que el enriquecimiento del sustrato por el uso de micorrizas o suelo natural no parecen afectar el desempeño de *C. alba* una vez que son transplantadas.

**Palabras clave:** Peumo, DAC, altura, sustrato, biomasa, índice de calidad.

## ABSTRACT

*Cryptocarya alba*, plays an important role as a characteristic species of the Chilean sclerophyllous forest and when there are optimal conditions is easy to propagate by seeds. Nowadays, due to climate change there is a reduction of rainfall in the central zone of Chile, and the species may be affected. For this reason, it is necessary to get tools to permit a successful establishment of plantations (by restoration, urban trees), ceasing the dependence of irrigation as the only management tool. This study aims to evaluate the effect of mycorrhizae using different substrates in *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser plants from different provenances and subjected to water stress under greenhouse conditions. A container transplant test was performed, where the effect of the substrates was tested: sterile (S0), sterile substrate plus natural microorganisms (S1) and sterile substrate plus commercial mycorrhizae (S2). The container plants come from mothers from localities of Antumapu, Cantillana, Cayumanque and La Dormida, subjected to two irrigation conditions (water restriction and control). Survival and growth of *C. alba* individuals were evaluated, finding that survival after transplantation was not affected by the type of substrate, provenances or water condition applied, reaching an average of 96.0% of alive plants. Regarding growth, higher values were observed for the increase Diameter at Root Collar (DRC) and plant height when the substrates and provenances were subjected to a control water condition (2.81 mm and 27.6 cm) than for plants under hydric restriction (2.05 mm and 13.85 cm). In the case of aerial and root biomass, there was no effect of the type of substrate. However, the provenances and the hydric condition affected the aerial and root biomass, highlighting the Antumapu's provenances without hydric restriction (13.9 g / 14.0 g stem / root). For the quality indices, there was an effect of the water condition on the Slenderness Index (IE), the plants subjected to water restriction (IE = 4.57) being more robust than the control plants (IE = 6.38). The Stem / Root index (T / R) was not affected by the treatments implemented and reached a general mean of 1.10, while the Dickson Index (IC) was affected by provenances, reaching a higher value for Antumapu's plants (CI = 4.18). The physiological variables of transpiration (E), photosynthesis (An), were affected by the provenances, highlighting the plants of La Dormida as the ones with the best performance ( $E=0,0009$  (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y  $An=$  (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)). Both E and An, stomatal conductance (gs) and instantaneous water use efficiency (WUEi), were affected by the hydric condition of the substrate. The study permits inferring the importance of the different provenances of the species over the establishment, allowing more reliable and profitable management decisions in a climate change scenario. While the substrate mixed with mycorrhizae or natural soil does not seem to affect the performance of *C. alba* once they are transplanted.

**Key words:** Peumo, DRC, height substrate, biomass, quality indices

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años en Chile, la restauración ambiental ha aumentado su importancia debido a la promulgación de la Ley de Bases del Medio Ambiente (1994) y su Reglamento (1997). Los proyectos de inversión que generan externalidades negativas al medio ambiente deben restaurar los ecosistemas dañados. El éxito o fracaso de la restauración, cuando ésta involucra acciones de revegetación, en su etapa inicial, depende significativamente de las especies vegetales a utilizar, las cuales son producidas por diversos viveros con diferentes calidades y tamaños, además de no realizar adecuadas aclimataciones, lo cual afecta al éxito del establecimiento de la planta en terreno (Quiroz *et al.*, 2011). Existen variados factores que afectan en la calidad de la planta, como el tipo de sustrato utilizado, las procedencias de las semillas, época de siembra y trasplante.

En ambientes desfavorables, por ejemplo, con escasez de hídrica, son los factores abióticos los que más influyen, en cambio, en ambientes favorables es la competencia con otros individuos los que inciden en la supervivencia (Padilla, 2008). Las zonas con climas mediterráneas se enfrentan a diversas amenazas como: el cambio climático, la expansión de tierras agrícolas y ciudades que alteran su dinámica natural, generando pérdida de ecosistemas a nivel mundial (Vitousek *et al.*, 1997); siendo, el factor limitante principal del establecimiento es la sequía estival (Padilla, 2008). El estrés hídrico generado en aquel periodo es uno de los factores más significativo para las especies, ya que limita el crecimiento, la composición y la distribución de las especies vegetales (Chaves *et al.*, 2002, Otieno *et al.*, 2005). El déficit hídrico en el territorio chileno se ha incrementado reduciendo las precipitaciones en aproximadamente 30% desde el año 2010. Esta disminución de precipitaciones ha permanecido en forma ininterrumpida y ocurre en la década más cálida de los últimos 100 años (CR2, 2015). Se prevé, que esto impacte de manera progresiva la aridificación de la zona centro y sur de Chile (CR2, 2015), damnificando fuertemente a la vegetación de estas zonas.

El agua es un recurso que posee múltiples funciones en los ecosistemas, entre ellas, es utilizado por las plantas para cubrir la demanda atmosférica (Biro y Vallejo 2011). El cambio climático, es actualmente el mayor causante de deterioro de los bosques en zonas mediterráneas y climas semiáridos, disminuyendo circunstancialmente la disponibilidad de este recurso. El agua tiene un papel crucial en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos generados por los ecosistemas mediterráneos.

Se conoce el efecto de las micorrizas en la habilidad de plantas cultivadas para soportar condiciones de déficit hídrico. La micorriza es una asociación mutualista que se genera entre algunos grupos de hongos del suelo y raíces de la mayoría de las plantas, su función principal es el intercambio de compuestos químicos entre la planta y el hongo (Smith y Read, 2008). Las micorrizas incrementan la tolerancia al estrés hídrico de las plantas al modificar las tasas fotosintética y de transpiración, el potencial hídrico de hojas y suelo, la concentración de osmolitos, la eficiencia en el uso de agua y la asimilación de nutrimentos en el hospedero (Harris-Valle *et al.*, 2009). En aproximadamente 80% de estudios de plantas micorrizadas durante la sequía, crecen y mejoran su estado hídrico en comparación con plantas no micorrizadas, lo que sugiere un papel importante de la asociación en relación con la resistencia de la sequía en sus hospedadores (Augé, 2001). Las plantas cítricas inoculadas

con micorrizas y sometidas a estrés hídrico, presentaron mejoramiento en las relaciones hídricas y también en el crecimiento, como el peso seco de los brotes, el peso seco de la raíz y el peso seco de la parte aérea (Wu *et al.*, 2007).

Algunas especies dominante del bosque esclerófilo, como son *Peumus boldus*, *Quillaja saponaria*, *Cryptocarya alba*, *Kageneckia oblonga* y *Escallonia pulverulenta*, tienen estructuras de hongos micorrícicos arbusculares en sus raíces (Silva, 2018). Esta asociación favorece a las plantas a sobrellevar el estrés abiótico y biótico que pueda generar el ambiente (Pozo *et al.*, 2015). Según Bernaza y Acosta (2006) los efectos benéficos de las micorrizas arbusculares en el suelo están muy relacionados con sus efectos sobre las plantas, estas prolongan el sistema radical de las plantas, y ello facilita una mayor retención física de partículas del suelo, limitando los efectos dañinos de la erosión causada por el agua, mejorando de la estructura de este. Además, mejora las propiedades de retención de humedad, aireación y descomposición de la materia orgánica. También, informan que la presencia de micorrizas en los suelos, en zonas áridas y semiáridas, pueden ayudar a las plantas simbiotes a captar agua para tolerar el estrés hídrico. Existe una diversidad y composición comunitaria de micorriza arbuscular diferenciada por especies de plantas, se indica la importancia de estos organismos como simbiotes de las plantas, destacando su necesidad de ser considerados en planes de restauración futuros para mejorar el desempeño de las plantas y preservar la diversidad de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en los suelos del matorral chileno (Silva, 2018).

En el estudio realizado por Solórzano (2019), donde se aplicaron micorrizas comerciales a plantas de la especie *Oryza sativa L.* en suelos con estrés hídrico, no evidencia efectos significativos para la altura, longitud y ancho de hoja, longitud de raíz, biomasa fresca y seca de raíz y de la parte aérea, siendo las plantas sin productos las que presentan mejores resultados en esos parámetros. Solo se obtuvieron efectos positivos en el vigor y días de floración de las plantas. En otro estudio realizado en España, las plantas de matorral *Olea europaea*, *Retama sphaerocarpa* y *Rhamnus lycioides*, inoculadas con una mezcla de hongos nativos endófitos tuvieron un mejor desempeño aquellas inoculadas con un hongo alóctono (*Glomus claroideum*), mientras que para *Pistacia lentiscus* el peso seco que de las plantas fue , en promedio, 220% mayor que las no inoculadas (Caravaca *et al.*, 2005).

En un estudio realizado en Australia por Gehring (2003) en condiciones de invernadero se inocularon con micorrizas dos especies del género *Cryptocarya* (*C. mackinnoniana* y *C. angulata*) encontrándose que para la especie *C. mackinnoniana* no hubo ningún efecto en la biomasa o proporción de área foliar, pero si una reducción en la longitud de raíces. Respecto a la inoculación, en el caso de *C. mackinnoniana* fue extensamente colonizada por las micorrizas, independiente de la intensidad de la luz controlada, mientras que *C. angulata* presentó una variación de colonización según la intensidad de la luz (Gehring, 2003).

### **1.1. Estrés hídrico**

El déficit hídrico se define como cualquier contenido hídrico de los tejidos o células que está bajo el contenido hídrico exhibido en el estado de plena hidratación (Taiz y Zeiger, 2002). Según Azcón-Bieto y Talón (2000), el estrés hídrico se puede inducir cuando el déficit

hídrico es prolongado, esto afecta prácticamente todos los aspectos del desarrollo de la planta, tiene efectos químicos e hidráulicos (reducción del potencial hídrico, disminución del potencial de turgencia, entre otros). Se plantea que el estrés hídrico afecta a los procesos fisiológicos y metabólicos, su efecto más importante es la reducción del crecimiento (Azcón-Bieto y Talón, 2000), pero además alteran el desarrollo y la morfología del vegetal, pudiendo provocar una disminución en la relación parte aérea/parte radicular, y provocar la abscisión de hojas y frutos (Peña-Rojas *et al.*, 2018).

Para el caso de bosques que crecen en ambientes áridos y semiáridos se sabe que algunas especies tienen resistencia al estrés hídrico, como es el caso del *Porlieria chilensis* soportando valores promedios inferiores a 4% de contenido hídrico del sustrato (Quintanilla, 2019). Según Petit-Breuilh (2016), *Q. saponaria* como *L. caustica* frente a la restricción hídrica, pueden superar períodos de limitación de agua, sin presentar reducción significativa del crecimiento en diámetro altura del cuello (DAC) y altura a causa de las limitaciones hídricas.

Las especies siempreverdes, manifiestan una variación estacional menor que las deciduas al finalizar el período de sequía manteniendo altas tasas de transpiración gracias al agua disponible en los perfiles profundos del suelo (Cabrera, 2002). La importancia de esto es que permite un balance de carbono positivo, principalmente en la época seca. En las especies *Q. saponaria* y *L. caustica* se describe ese comportamiento, pero contrasta con el que presenta *C. alba*, con un balance negativo debido a que la fotosíntesis es muy baja en el nivel de estrés hídrico encontrado en esta especie (Martínez y Armesto, 1983).

## 1.2. Procedencia

La procedencia (origen genético) hace referencia a una localidad geográfica en particular de donde se obtienen las semillas o propágulos (Callahan, 1964). En esta localidad se encuentran individuos genéticamente similares, que están relacionados por un ancestro común, ocupando una superficie en particular donde se han adaptado mediante selección natural (Zobel y Talbert, 1988).

Para *C. alba*, de acuerdo con Saavedra (2019) se sembraron semillas procedentes de cuatro localidades en la Reserva Natural Altos de Cantillana, en tres condiciones de cobertura de bosque, encontrándose que las semillas locales tuvieron un mayor porcentaje de establecimiento que las otras tres procedencias y la semilla con procedencia más austral un mayor porcentaje de germinación.

## 1.3. Antecedentes de *Cryptocarya alba*.

*Cryptocarya alba* (peumo) pertenece a la Familia *Lauraceae*, la cual se encuentra distribuida en regiones tropicales, con su centro de dispersión ubicado en el sureste de Asia y en Sudamérica. *Lauraceae* habita primordialmente en bosques lluviosos montañosos y es escasa en las zonas templadas (Serra, 1991). El género *Cryptocarya* tiene entre 200 y 300 especies,

que cuenta en el neotrópico con aproximadamente de 10 especies, distribuidos en Brasil, Chile, Guayana Francesa, Venezuela, Ecuador y Perú (Tressens, 1997).

*C. alba* es una especie arbórea que puede llegar a los hasta los 30 m. de altura, con diámetros cercanos al metro; sus hojas son perennes, simples, alternas a opuestas, coriáceas (Zeballos y Matthei, 1992). Los frutos son drupas ovaladas y carnosas, de color rojo, rosadas o blanco, dependiendo de su grado de madurez con un pericarpio altamente apetezido por distintos animales (Rodríguez *et al.*, 1983). Las flores se encuentran agrupadas en racimos densos axilares, son hermafroditas, de colores verdosos a amarillo - verdoso, glabros o pubescentes; con seis tépalos carnosos (Rodríguez *et al.*, 1983). La especie florece entre noviembre y enero (Navas, 1976), aunque dependiendo de las condiciones ambientales de cada año, la floración se produce entre agosto y diciembre (Alfaro y Sierra, 1973).

*C. alba* es una especie característica del bosque esclerófilo chileno, se distribuye en las Cordilleras de la Costa y de los Andes, desde el sur de la Provincia de Choapa (comunicación personal con A. Vita<sup>1</sup>) hasta la Provincia de Cautín (Rodríguez *et al.*, 1983). Frecuentemente encontrada con *L. caustica*, *Luma chequen*, *Persea lingue* y *Peumus boldus* (Bustamante y Vásquez, 1995). Se desarrolla preferentemente en quebradas, y en valles húmedos y sombríos; excepcionalmente se encuentra en terrenos expuestos a una fuerte insolación, pero con cierto grado de humedad (Rodríguez *et al.*, 1983); tolera la sombra, y sus tasas fotosintéticas se encuentran muy relacionadas con la disponibilidad de agua en el suelo, disminuyendo su crecimiento en la estación seca temperado (Del Fierro *et al.*, 1998). Las precipitaciones en la distribución de la especie están en un rango de 104 a 2.555 mm anuales y las temperaturas en que se desarrolla oscilan entre los -3,2° y 9,4°C para la temperatura mínima y entre los 16,5° y 31,3°C para la temperatura máxima (Del Fierro *et al.*, 1998).

*C. alba*, cumple un rol importante como especie protectora del suelo, debido a su adaptación a los periodos de sequía, incendios y cortas reiteradas (Matte, 1960); es una especie bastante conocida y de fácil propagación, cuando hay semillas y condiciones óptimas. En la actualidad por el cambio climático que en la zona central de Chile se está manifestando en una reducción de las precipitaciones, la especie puede verse afectada, por lo cual, se debe contar con herramientas que permitan el establecimiento exitoso de plantaciones (por restauración, arbolado urbano), dejando de depender del riego como única herramienta de manejo.

Existen pocos estudios del verdadero efecto de las micorrizas en las especies nativas bajo estrés hídrico. Por otro lado, son escasos los trabajos que revelan el efecto de la procedencia de semillas de *C. alba* sobre el desempeño de plantas de reclutamiento (Saavedra, 2019). Es por esto, necesario evaluar los efectos de las micorrizas naturales y comerciales en la sobrevivencia como en crecimiento de plantas de distintas procedencias de *C. alba* (Molina) Looser sometidas a estrés hídrico en condiciones de vivero.

---

<sup>1</sup> Antonio Vita, Profesor Titular del Departamento Silvicultura y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar el efecto de micorrizas con distintos sustratos en plantas de *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser de diferentes procedencias sometidas a estrés hídrico en invernadero.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

Analizar el efecto de los sustratos sobre la sobrevivencia y crecimiento de plantas de *Cryptocarya alba* sometidas a estrés hídrico.

Analizar el efecto de la procedencia de semillas sobre la sobrevivencia y crecimiento de plantas de *Cryptocarya alba* sometidas a estrés hídrico

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1. Material

#### 2.1.1. Área de estudio

El ensayo se realizó desde diciembre 2019 y se extendió hasta septiembre 2020 en las dependencias del vivero del Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile. Debido a la Pandemia, provocada por el COVID-19, el ensayo fue trasladado a las dependencias del vivero “Espinal” (33°04'19,5” S 70°43'52,1” W), ubicado en la comuna de Colina.

#### 2.1.2. Procedencia

Las procedencias utilizadas en el vivero fueron La Dormida, Antumapu, Cantillana (Región Metropolitana) y Cayumanque (Región de Ñuble) (Figura 1).



**Figura 1.** Localidades de procedencias de las semillas a ocupar. Elaboración: propia.



En cuanto a las características ambientales de las procedencias las temperaturas promedio están en un rango similar, en cambio en las precipitaciones acumuladas existen fluctuaciones más amplias, como se detalla en el cuadro 1.

**Cuadro 1:** Características de temperaturas y precipitaciones de las procedencias de semillas.

Procedencia	Provincia	Temperatura promedio (°C)	Precipitación acumulada (mm)
La Dormida	Chacabuco	14,8**	51,8**
Antumapu	Santiago	14,7	174,2
Cantillana	Maipo	14,6**	114,4**
Cayumanque	Ñuble	14,6	552,8

\* Temperaturas y precipitaciones promedio de los últimos 8 años. \*\*Los datos de Temperatura y pp. de Cantillana y Cuesta La Dormida corresponden a los últimos 2 años. Fuente: Red Agrometeorológica de INIA; Saavedra, 2019.

## 2.2.Método

### 2.2.1. Preparación de sustrato

Para probar el efecto de los sustratos y las procedencias, sobre la sobrevivencia y crecimiento de plantas de *Cryptocarya alba* sometidas a estrés hídrico, se prepararon tres tipos de sustratos destino. Estos estaban formados por el sustrato de origen de la Reserva Cantillana y sustrato de Antumapu, combinados con mezcladora tipo betonera de volteo lateral por 10 minutos para asegurar la homogeneidad de cada mezcla estas son las siguientes:

- 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana esterilizado (S0)
- 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana, con microorganismos naturales (S1)
- 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana esterilizado, 10 g micorriza comercial (S2).

El suelo de la reserva Altos de Cantillana es franco arenoso, con una densidad aparente de 1,27 g cm<sup>3</sup> y materia orgánica al 6,1% (Magni *et al.*, 2015; Saavedra, 2019). Por otra parte, el sustrato del vivero Antumapu, que corresponde a una mezcla operacional empleado en la producción de plantas, presentó textura franco arenosa, con una densidad aparente de 1,2 a 1,4 g cm<sup>3</sup> y materia orgánica de 2,8% (CIREN, 1996; Faúndez, 2018).

El sustrato de Antumapu se esterilizó en su totalidad (280 kg). Una parte del suelo natural usado como sustrato (81 kg) proveniente de la Reserva se esterilizó en estufa de aire forzado durante dos horas a 105°C. La diferencia del suelo (92kg) de la Reserva quedó sin esterilizar, con el propósito de mantener los microorganismos naturales (ejemplo: hongos, bacterias).

La mezcla de sustrato estuvo compuesta por un 40% de sustrato de la Reserva Altos de Cantillana y 60% de sustrato del vivero de Antumapu (el sustrato de Antumapu tiene proporciones 2 fibra de coco: 2 arena: 1 suelo).

La micorriza comercial utilizada fue MYCOSYM TRI-TON®, que corresponde a una micorriza natural Bio-Activadora de las plantas, cuyo componente activo es *Glomus intraradices* (hongo micorrízico arbuscular). Para plantas en maceta el fabricante recomienda 3 g por contenedor; sin embargo, para asegurar una inoculación se aplicó 10g por maceta (Biosim, 2018).

### **2.2.2. Consideraciones al trasplante**

Las plantas utilizadas en el ensayo fueron sembradas en la primavera del 2017. El contenedor original de las procedencias Cantillana, Cayumanque y La Dormida fueron tubetes de 4,5x 11 cm (100 cm<sup>3</sup>) mientras que el contenedor de la procedencia Antumapu fue bolsa plástica de 6x11cm (396 cm<sup>3</sup>). El contenedor de destino del trasplante fueron bolsas de plásticos de 15x20 cm (4500 cm<sup>3</sup>). El trasplante se realizó durante el mes de diciembre de 2019 durante las mañanas para evitar altas temperaturas, disminuyendo el estrés de las plantas.

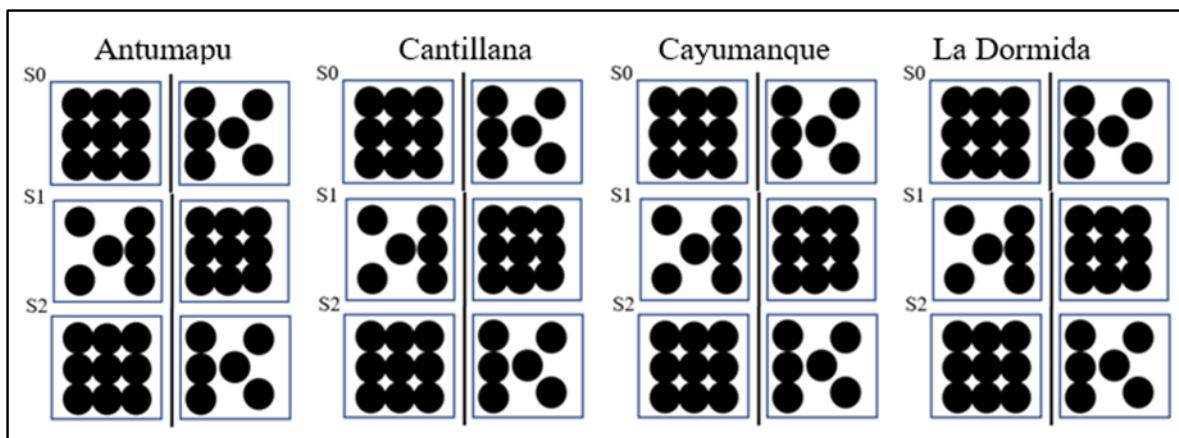
Los contenedores empleados en el estudio sumaron la totalidad de 60 para cada mezcla de sustrato (180 en total), siendo rellenos hasta una altura de 16 cm con el tipo de mezcla correspondiente a cada tratamiento.

Las micorrizas comerciales se situaron en la mitad del contenedor para asegurar que tuviesen contacto con el pan de raíces del contenedor original.

### **2.2.3. Mantenimiento y monitoreo**

Posterior al trasplante las plantas se ubicaron en una platabanda con riego estándar de vivero (2-3 días a la semana), para evitar efecto borde y desequilibrio en el riego, las plantas se rotaron con semanalmente. Las plantas continuaron con igual condición de riego y en el vivero Antumapu hasta septiembre 2020, luego debido a las condiciones de pandemia fueron trasladadas a un vivero en la Comuna de Colina, donde nuevamente estuvieron en condiciones de riego homogéneo por un mes.

En un inicio fueron 15 individuos con un sustrato y de una procedencia, quedando 12 combinaciones diferentes. Posteriormente, con la aplicación de la condición hídrica se generaron 24 combinaciones (figura 2).



**Figura 2:** Distribución de individuos con diferentes procedencias (Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida) y con distinto tipo de sustrato con S0: 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana esterilizado, S1: 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana, con microrganismos naturales y S2: 60% de Antumapu estéril, 40% Cantillana esterilizado, 10 gr micorriza comercial, en el vivero antes de la aplicación de la condición hídrica. Elaboración: propia.

El monitoreo de contenido de humedad se realizó al ejecutar el trasplante inicial y luego durante la aplicación del estrés hídrico, en donde estos datos se controlaron periódicamente. Para el caso de altura y diámetro altura de cuello (DAC), se midió al inicio del ensayo, antes de la aplicación de estrés hídrico y al finalizar el ensayo.

Para realizar la evaluación de la biomasa de la parte aérea y radicular, se seleccionaron al azar tres individuos al final del ensayo. Los individuos se separaron por componente y se secó en una estufa de aire forzado a 65°C hasta obtener su peso constante. Para obtener el peso seco de las muestras vegetales se utilizó una balanza de tres decimales.

#### 2.2.4. Aplicación condición hídrica

El 7 de octubre del 2020, tras 42 semanas de condiciones de riego homogéneas, las plantas se sometieron a dos tratamientos de riego: control y restricción hídrica. Se seleccionaron cinco plantas vivas aleatoriamente por tratamiento para la restricción hídrica, la otra mitad sin restricción. El riego para las plantas sin restricción hídrica (control) fue de aproximadamente 400 cm<sup>3</sup>, asegurando que los contenedores mantuvieran un contenido de agua cercano a capacidad de campo, de agua dos veces a la semana. Las plantas con restricción hídrica fueron hidratadas con aproximadamente 150 cm<sup>3</sup> de agua una vez a la semana, de tal manera de mantener un contenido de agua cercano a punto de marchitez permanente.

#### 2.2.5. Levantamiento del ensayo

Tras un año en vivero, en enero del 2021, se levantó el ensayo. Se realizaron las mediciones de altura y DAC en los individuos y se realizaron mediciones de variables fisiológicas.

Además, se seleccionaron tres individuos por tratamientos para biomasa y se determinó biomasa por componente (ramas, hojas, raíces). A los mismos tres individuos por tratamiento, se limpiaron las raíces de sustratos y se observaron mediante microscopio la presencia de micorrizas.

### 2.2.6. Índice de calidad de planta

Según lo señalado por Quiroz *et al.* (2009) la calidad de plantas se evalúa con el índice de Esbeltez (ecuación 1), índice tallo/raíz (ecuación 2) y el índice de Dickson (ecuación 3).

- Índice de Esbeltez (IE): este índice se calcula a partir del cociente de la longitud de tallo y el DAC. Los parámetros que se recomiendan como óptimos son aquellos que se encuentran entre los dígitos cinco (5) y diez (10), considerando que menor a cinco, indicaría una planta muy baja para su DAC y si es mayor a diez, la planta sería muy alta con respecto a su DAC (Quiroz *et al.*, 2009).

$$IE = \frac{\text{Longitud de tallo}}{DAC}$$

- Índice tallo/raíz (T/R): es el resultado de la división entre la masa seca de la parte aérea y la masa seca de la parte radical. Lo idóneo es que la masa aérea y radical sean similares, siendo expresado en un índice cercano a uno (1)(Quiroz *et al.*, 2009).

$$T/R = \frac{\text{Masa seca aérea}}{\text{Masa seca radicular}}$$

- Índice de Dickson (IC): este índice integra los dos índices anteriores, expresándose como la masa seca total de la planta, dividida en la suma de longitud de tallo y DAC más la relación masa seca aérea y radical (Quiroz *et al.*, 2009). Este índice permite expresar el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, evitando descartar plantas de menor altura, pero con mayor vigor y previniendo plantas desproporcionadas.

$$IC = \frac{\text{Masa seca total de la planta}}{(IE + (T/R))}$$

### 2.2.7. Variables Fisiológica

A mediados del mes de enero del 2021, tras tres meses de riego diferenciado se tomó una muestra de 5 plantas por tratamiento (sustrato/procedencia/condición hídrica) para el análisis

de intercambio gaseoso. En cada planta se midieron los parámetros fotosíntesis saturada ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiración ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y conductancia estomática ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Las mediciones fueron tomadas entre las 11:00-14:00 (hora local) con un sistema de fotosíntesis portátil marca LI-COR (modelo LI-6800), bajo una radiación fotosintéticamente activa (PAR) de  $1.800 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Las mediciones fueron corregidas por área foliar de cada hoja muestreada. Los datos de intercambio gaseoso se utilizaron para estimar la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O}$ ) mediante el cociente entre fotosíntesis y conductancia estomática.

### 2.2.8. Análisis estadístico

Para analizar los datos se un análisis de varianza (ANDEVA). En este caso, se utilizó un ANDEVA de tres factores, que se condice con el diseño experimental de vivero (Ec. 1). El primer factor corresponde a la procedencia de semillas (con 4 niveles, Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida), el segundo fue la mezcla de sustrato (con tres niveles sustrato estéril, sustrato inoculado con suelo de bosque y sustrato estéril inoculado con micorrizas comerciales) y el tercer factor fue la condición hídrica (con dos niveles: con restricción y control). La probabilidad de error ( $p$ ) utilizada para declarar diferencias fue de un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + M_j + R_k + P_i * M_j + P_i * R_k + M_j * R_k + P * M * R + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  es el valor observado del carácter de la planta,

$\mu$  es la media del carácter

$P_i$ : es el efecto fijo de la  $i$ -ésima procedencia ( $i$ = Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida),

$M_j$ : es el efecto fijo de la mezcla del  $j$ -ésimo sustrato ( $j$ = sustrato estéril, sustrato inoculado con suelo de bosque y sustrato estéril inoculado con micorrizas comerciales),

$R_k$ : es el efecto fijo de la  $k$ -ésima condición hídrica ( $k$ =normal y restricción hídrica)  $k$ -ésima,

$P_i * M_j$ : es el efecto aleatorio de la mezcla del  $j$ -ésimo sustrato anidado en la procedencia  $i$ -ésima

$P_i * R_k$ : es el efecto aleatorio de la  $k$ -ésima condición hídrica anidada en la procedencia  $i$ -ésima

$M_j * R_k$ : es el efecto aleatorio de la condición hídrica  $k$ -ésima anidada en la mezcla del sustrato  $j$ -ésimo

$P_i * M_j * R_k$ : es el efecto de la procedencia  $i$ -ésima por efecto de la mezcla del sustrato  $j$ -ésimo por el efecto de la condición hídrica  $k$ -ésima

$\varepsilon_{ijk}$ : es el error experimental.

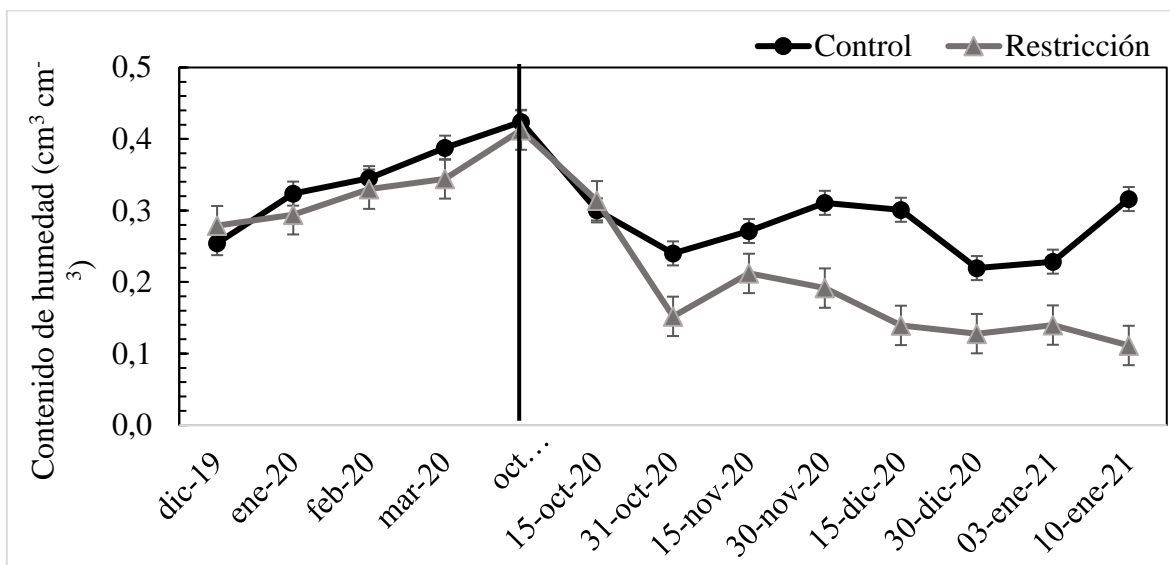
Se probaron los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de las varianzas prueba de Shapiro Wilks y Levene, respectivamente. Cuando no se cumplieron los supuestos del ANDEVA, se realizaron transformaciones para así obtener datos paramétricos y en el caso de no lograr cumplir con los supuestos se procedió a utilizar la prueba no paramétrica

de Kruskal Wallis. En el caso que existan diferencias significativas entre los niveles de los factores se realizaron pruebas de comparación múltiple (Diferencia mínima de Fischer).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Contenido de humedad del sustrato

El contenido de humedad de los contenedores fue monitoreado de manera periódica durante el tiempo de duración del experimento. Durante el transcurso del ensayo las plántulas fueron sometidos a una condición hídrica diferenciada, los contenidos de humedad promedio para el control fue de  $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  y para restricción  $0,17 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , valores superiores a  $0,1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , que fue observados en campo por Saavedra (2019) con valores menores a estos se produce el cese de la regeneración (germinación), como el límite de cese de regeneración (Figura 3).



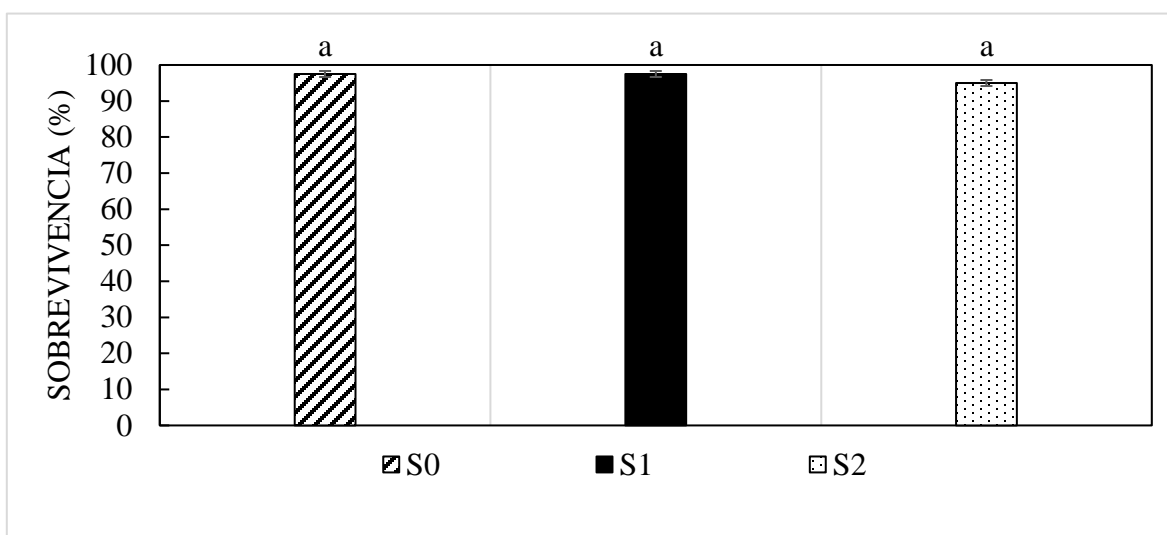
**Figura 3.** Contenido de humedad promedio según condición hídrica, medido en diferentes periodos.

Desde el momento de aplicación del riego diferenciado en octubre del 2020, se puede observar que las contenedores control presentan en todas las mediciones un mayor contenido de humedad. Además, al comparar los diferentes sustratos, no hay diferencia significativa entre ellos y la misma condición hídrica, por lo cual la diferencia solo se ve reflejada por la condición de riego, esto quiere decir que ningún sustrato tuvo una característica diferente para poder retener mayor humedad, por lo cual las micorrizas comerciales tampoco reflejan una ventaja en este ensayo, ya que no afectó ni modificó la capacidad del sustrato para almacenar agua (Martínez-García, 2011).

### 3.2. Supervivencia de individuos *Cryptocarya alba*

#### 3.2.1. Supervivencia de los individuos según sustrato

Al momento de levantar el ensayo, se pudo observar que, el sustrato estéril sin micorrizas comerciales ni microorganismos naturales (S0) alcanzó 98% de individuos vivos, el sustrato estéril microorganismos naturales (S1) obtuvo un 98% de individuos vivos y el sustrato estéril con micorrizas comerciales (S2) alcanzó 95% de individuos vivos (Figura 4); estas diferencias no fueron estadísticamente significativas entre sí. El promedio total de supervivencia fue de un 96,0%.



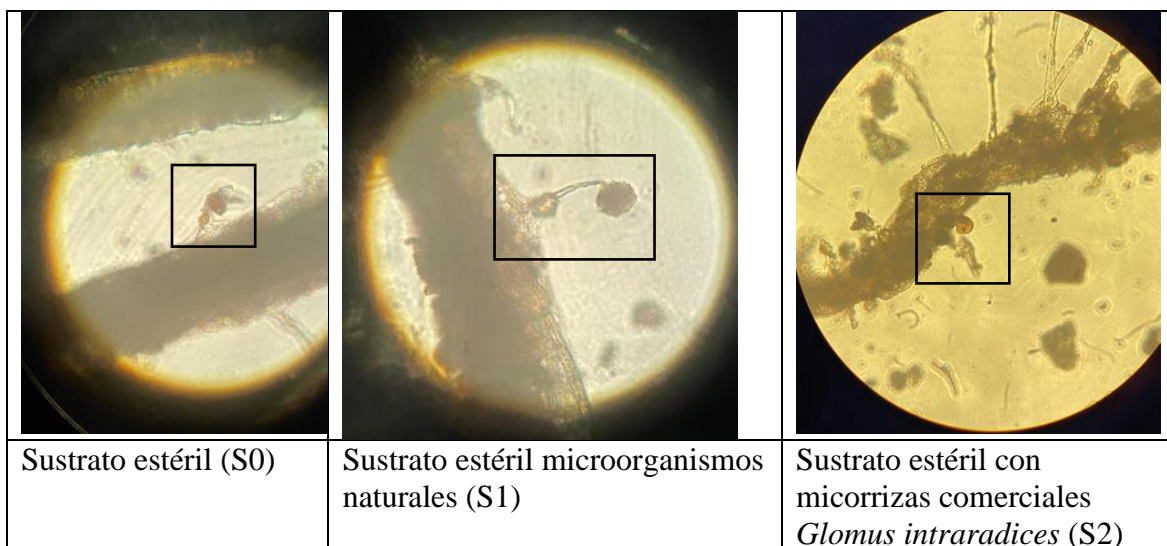
**Figura 4:** Porcentaje total de plantas sobrevivientes de individuos de *C. alba* con diferentes sustratos al momento de realizar el levantamiento del ensayo.

S0: sustrato estéril sin micorrizas comerciales ni microorganismos naturales; S1: sustrato estéril microorganismos naturales y S2: sustrato estéril con micorrizas comerciales. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos.

Mediante la observación directa de raíces se pudo identificar (comunicación personal con B. Acevedo<sup>2</sup>) que en los tres sustratos de destino existían micorrizas (Figura 5), esto significa que *C. alba* es capaz de establecer la relación con micorrizas de manera natural, en este caso provenientes de los contenedores de origen. Este resultado puede responder al hecho que, para el caso del trasplante en sustrato inerte, las micorrizas debieron estar presentes previamente en el sustrato inicial, el cual corresponde a un sustrato operacional de vivero que podría contener esporas en sus materiales constituyentes (2 fibra de coco: 2 arena: 1 suelo). Lo anterior se complementa con lo observado por Silva (2018) en la misma especie en muestras de suelo en bosque.

<sup>2</sup> Brandon Acevedo, Encargado de Laboratorio, Laboratorio de Biodeterioro y preservación, Universidad de Chile



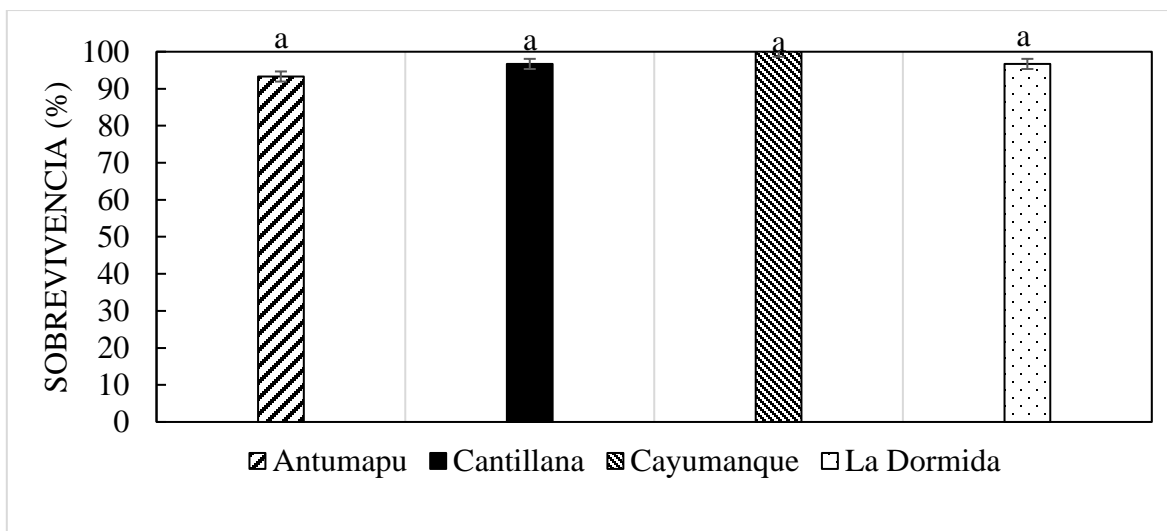


**Figura 5.** Fotografías de los tres sustratos evidenciando la presencia de Micorrizas.

El género de micorrizas comercial utilizado es del mismo género que existe en formaciones naturales de *Peumus boldus* (Benedetti *et al.*, 2018), especie que frecuentemente cohabita con *C. alba*; este género de micorrizas es resistente a cambios en el ecosistema (Zangaro y Moreira, 2010). Por lo cual se esperaba una mejor respuesta de las plantas inoculadas con la micorriza comercial frente a las otras plantas, pero debido a que los otros tratamientos también fueron inoculados por micorrizas del género *glomus* no se pudieron apreciar los verdaderos efectos de las micorrizas comerciales y tampoco de los inóculos naturales provenientes de suelo de la Reserva Natural Altos de Cantillana.

### 3.2.2. Supervivencia de los individuos según procedencia

En el caso de la supervivencia según procedencia, al término del ensayo no hubo diferencias significativas de acuerdo con el origen de semillas (Figura 6). La supervivencia que alcanzaron las sobrevivencias fue del 100% para Cayumanque, Cantillana y La Dormida 97%, y para Antumapu 93%.

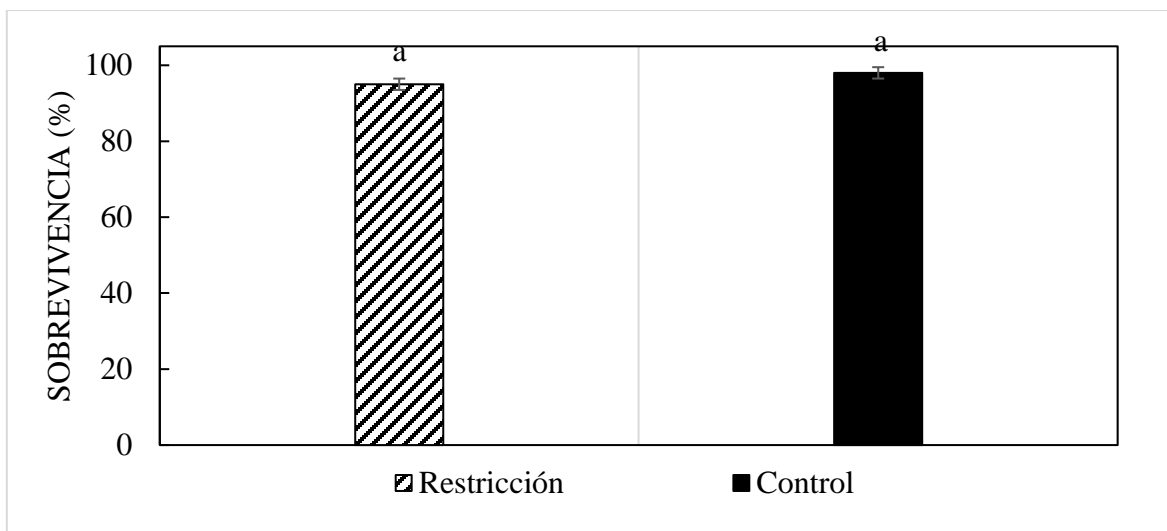


**Figura 6.** Porcentaje total de plantas sobrevivientes de individuos por procedencia (Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida) al momento de realizar el levantamiento del ensayo. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos.

Probablemente, el periodo de aplicación de riego diferenciado y la cantidad de riego aplicado, no fueron suficientemente fuertes para alcanzar el límite letal de establecimiento de peumo, de  $0,1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  observado por Saavedra (2019), por lo que se puede observar comportamientos similares en sobrevivencia de las distintas procedencias. De acuerdo a lo informado por Saavedra (2019), se esperaba un mejor desempeño de la procedencia Antumapu, por las condiciones climáticas del sitio de recolección de semillas y las condiciones de viveros (Magni *et al.*, 2019), además según la teoría de especialización explicada por Lortie y Aarssen (1996) que señala: “los genotipos adaptados a condiciones desfavorables pueden tener un rendimiento superior en entornos restrictivos, pero son incapaces de aprovechar condiciones favorables”, lo cual tampoco se pudo observar en este ensayo.

### 3.2.3. Sobrevivencia de los individuos según condición hídrica.

La condición hídrica no afectó significativamente a la sobrevivencia de las plantas de control y restricción de riego (Figura 7), siendo alta para ambos casos, con valores cercanos al 100%. Las plantas con restricción de riego (95%) y plantas control (98%), lo que indica que la especie puede sobrevivir cuando el sustrato se encuentra por sobre un contenido de agua de  $0,17 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  durante tiempo de evaluación. Lo anterior concuerda a lo obtenido para la especie *Q. saponaria*, donde la sobrevivencia en campo sin riego era superior al 90% (Valenzuela, 2007).



**Figura 7.** Porcentaje total de plantas sobrevivientes de individuos de *Cryptocarya alba* con diferente condición hídrica (restricción y control) al momento de realizar el levantamiento del ensayo. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos.

El cuadro 2, muestra la sobrevivencia media obtenidas en todas las combinaciones del ensayo. Aun cuando no hubo interacción triple, se puede observar el efecto de la condición hídrica, las plantas de restricción en algunas combinaciones tienden a presentar menos sobrevivencia. En cualquier caso, la sobrevivencia media del ensayo es muy alta (96,0%).

**Cuadro 2:** Sobrevivencia según condición hídrica, sustrato y procedencia (E.E. = 6,01). S0: sustrato estéril sin micorrizas comerciales ni microorganismos naturales; S1: sustrato estéril microorganismos naturales y S2 sustrato estéril con micorrizas comerciales.

Condición hídrica	Sustrato	Procedencias (%)			
		Antumapu	Cantillana	Cayumanque	La Dormida
Control	S0	88,33	100	100	100
	S1	98,33	95	100	100
	S2	95,33	95	100	91,67
Restricción	S0	100	90	100	93,33
	S1	90	100	100	93,33
	S2	85	95	95	98,33

### 3.3. Crecimiento de DAC y altura de individuos *Cryptocarya alba*

Como se observa en el cuadro 3, la condición hídrica resultó significativa para este rasgo, ya que según Pozo (2005), el aumento del recurso agua, incrementa las tasas de crecimiento e indirectamente aumenta el uso de la luz y el nitrógeno, esto debido al incremento del índice de área foliar y la eficiencia en la absorción de nitrógeno.

En un estudio realizado por Donoso *et al.* (2011), las plantas de *C. alba* sometidas a restricción hídrica durante un mes el DAC tuvo incremento casi nulo, y en las plantas control 1,7 mm y en el caso de las alturas existió una disminución de 0,3 cm, debido a la muerte de tejidos juveniles en los ápices principales, mientras que las plantas control crecieron 8 cm. Para este ensayo, el incremento del DAC en las plantas con restricción hídrica alcanzaron 2,0 mm y las plantas control fue más alto, 2,8 mm. DAC grandes tienden a desarrollar sistemas radicales mayores, siendo plantas con mejor soporte y resistencia contra temperaturas extremas (Cleary *et al.*, 1978). Para el caso de las alturas, las plantas control crecieron el doble que las plantas con restricción hídrica; la altura es un buen predictor de las dimensiones futuras en campo de la planta, por si solo es insuficiente, pero relacionado con otros criterios refleja su utilidad real (Muñoz, 2015).

En el caso de los sustratos se esperaba un comportamiento diferente para el sustrato con micorrizas comerciales, pero esto no ocurrió debido a que en los tres sustratos se evidenció la presencia de micorrizas, por lo cual hubo un comportamiento similar entre los sustratos. Al igual que los resultados de Pereira *et al.*, 2001, quienes identificaron que la presencia de micorrizas genera un aumento del crecimiento para plantas de eucalipto, que también ocurre con plantas de *C. alba*.

**Cuadro 3:** DAC y altura inicial e incremento.

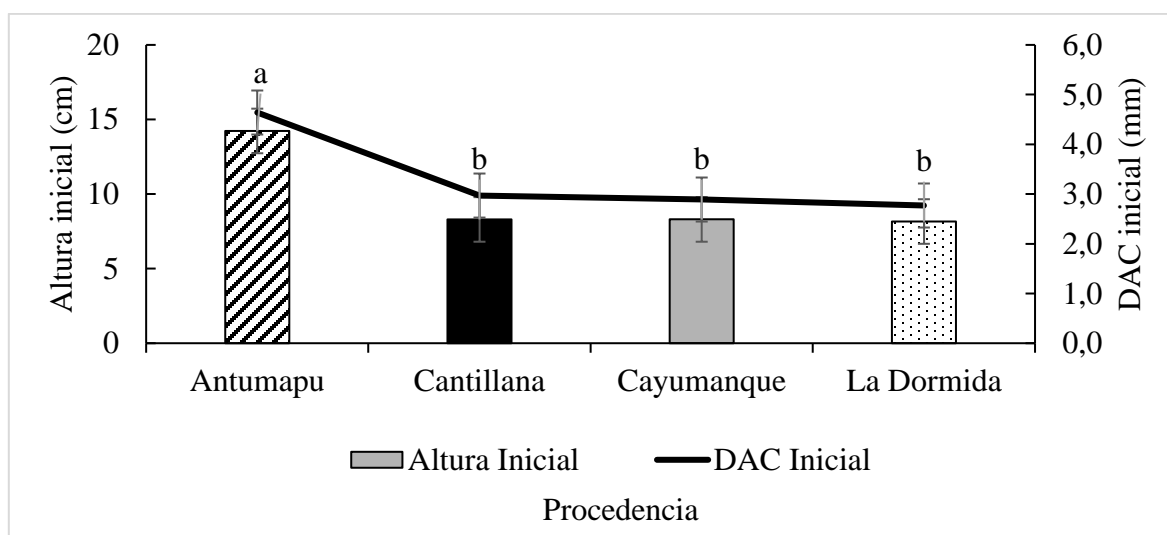
C: control, R: restricción hídrica, S0: sustrato estéril sin micorrizas comerciales ni microorganismos naturales; S1: sustrato estéril microorganismos naturales y S2 sustrato estéril con micorrizas comerciales.

Letras distintas indican diferencias significativas. (\*):  $p < 0.05$ ; (ns): no significativo.

Factor	Variable			
	DAC inicial (mm)	Altura inicial (cm)	Incremento DAC (mm)	Incremento Altura (cm)
Procedencia				
Antumapu	4,64a	14,23a	2,58	19,27
Cantillana	2,97b	8,30b	2,41	21,89
Cayumanque	2,89b	8,30b	2,65	21,00
La Dormida	2,77b	8,16b	2,09	22,10
Condición hídrica				
R	3,19	9,74	2,05b	14,06b
C	3,44	9,76	2,81a	28,07a
Sustrato				
S0	3,40	9,84	2,63	22,60
S1	3,42	9,83	2,26	20,66
S2	3,12	9,57	2,40	19,94
Condición hídrica (CH)				
Condición hídrica (CH)	0,06ns	0,97ns	0,0012*	0,0001*
Procedencia (P)	0,0001*	0,0001*	0,29ns	0,74ns
Sustrato (S)	0,13ns	0,80ns	0,40ns	0,51ns
CH × P	0,40ns	0,94ns	0,02*	0,93ns
CH × S	0,90ns	0,20ns	0,07ns	0,67ns
P × S	0,74ns	0,09ns	0,08ns	0,24ns
CH × P × S	0,76ns	0,63ns	0,65ns	0,36ns

### 3.3.1 Crecimiento inicial de DAC y altura por procedencia

Para el inicio del ensayo, la altura y DAC de los individuos de Antumapu, presentan una diferencia significativa con las otras procedencias; esto se relaciona al tamaño del contenedor inicial de las procedencias, ya que todos los individuos fueron sembrados en la misma temporada (Figura 8). Cantillana, Cayumanque y La Dormida provenían de tubetes de 100 cm<sup>3</sup> con una altura promedio de 8,3 cm de los individuos y un DAC de 2,9 mm, en cambio, Antumapu provenía de bolsas de 396 cm<sup>3</sup> con altura de 14,2 cm de los individuos y DAC de 4,6 mm. Según Bernaola-Paucar *et al.* (2015), para la especie de *Pinus hartwegii* un contenedor con mayor volumen influye positivamente en la altura y diámetro de cuello. Así mismo, en un estudio con quillay, Quiroz *et al.* (2011) observaron que las plantas que crecieron con un mayor volumen por cavidad mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en altura y diámetro comparadas con aquellas producidas en contenedores con menor volumen.



**Figura 8.** Crecimiento inicial promedio del DAC (mm) y de altura (cm) de los individuos de *Cryptocarya alba* por procedencia (Antumapu, Cantillana, Cayumanque y La Dormida). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos.

### 3.4. Crecimiento en biomasa de *Cryptocarya alba*

La biomasa tiene alta correlación con la supervivencia en campo, y con el diámetro del tallo, por lo cual, un bajo peso significa una baja sobrevivencia en campo (Mexal y Landis, 1990). En el cuadro 4, se puede observar las interacciones que tuvieron significancia para la biomasa.

**Cuadro 4:** Biomasa aérea y raíz.

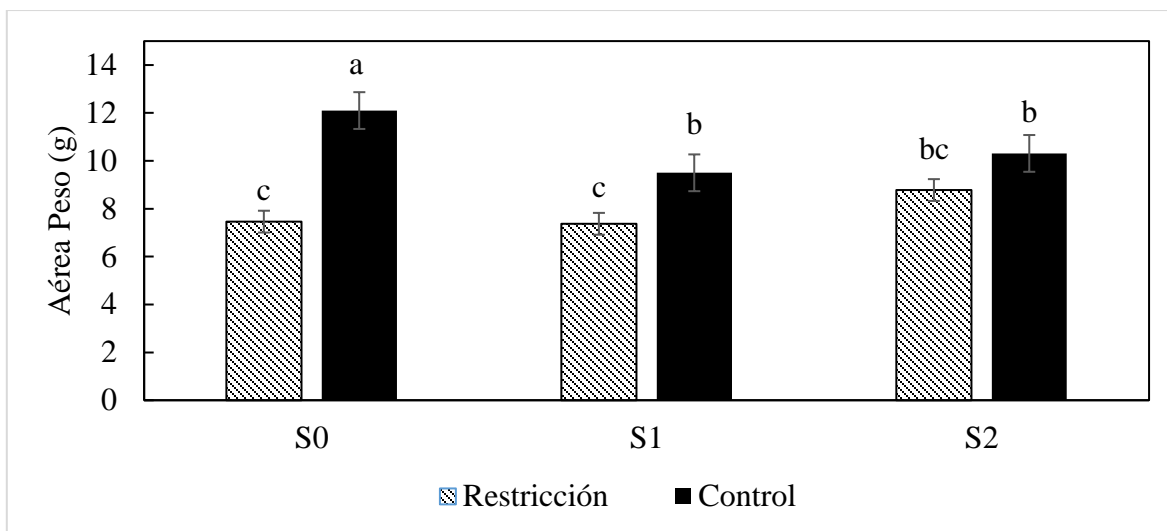
C: control, R: restricción hídrica, S0: sustrato estéril sin micorrizas comerciales ni microorganismos naturales; S1: sustrato estéril microorganismos naturales y S2 sustrato estéril con micorrizas comerciales.

Letras distintas indican diferencias significativas. (\*):  $p < 0.05$ ; (ns): no significativo.

Factor	Biomasa (g)	
	Aérea	Raíz
Procedencia		
Antumapu	11,75a	12,22a
Cantillana	9,06b	8,17c
Cayumanque	8,29b	8,29bc
La Dormida	7,91b	11,15ab
Condición hídrica		
R	7,87b	9,07
C	10,64a	10,85
Sustrato		
S0	9,78a	10,87
S1	8,44b	9,05
S2	9,54ab	9,95
Condición hídrica (CH)	0,0001*	0,08ns
Procedencia (P)	0,0001*	0,01*
Sustrato (S)	0,07ns	0,35ns
CH × P	0,08ns	0,54ns
CH × S	0,03*	0,32ns
P × S	0,45ns	0,90ns
CH × P × S	0,34ns	0,33ns

**3.4.1. Respuestas en biomasa por sustrato**

La biomasa parte aérea (figura 9) tiene una diferencia significativa las plantas control tuvieron mayor masa seca (10,6 g) que las plantas de restricción (7,9 g) debido a que las plantas en función de la disponibilidad de agua ajustan el tamaño y la cantidad de hojas, ya que más hojas hay, mayor es el porte y más abierta la copa, mayor es el gasto de agua (Medrano *et al.*,2007) y absorben más agua.



**Figura 9:** Biomasa aérea.

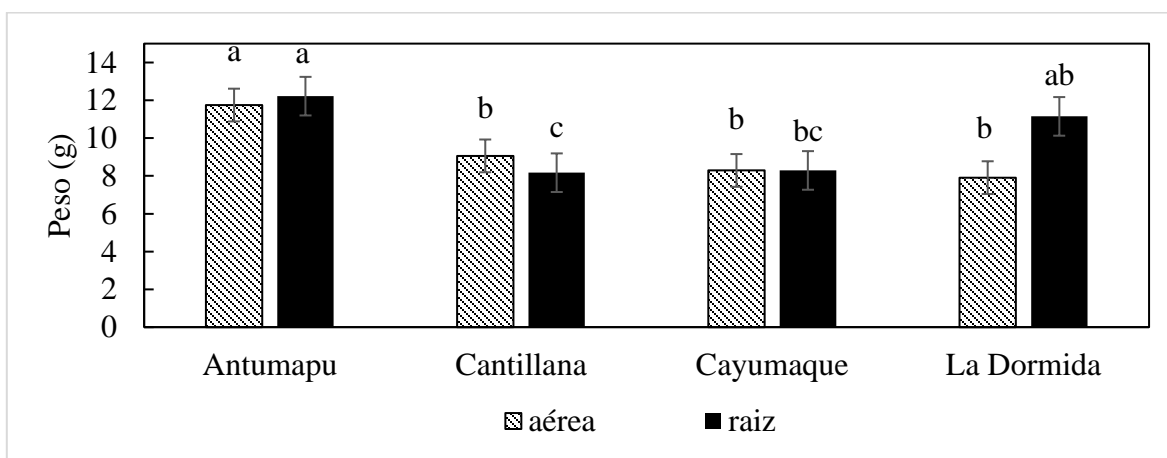
S0: sustrato estéril sin micorrizas comerciales ni microorganismos naturales; S1: sustrato estéril microorganismos naturales y S2 sustrato estéril con micorrizas comerciales.

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos.

### 3.4.2. Respuestas en biomasa por procedencia

En general se requiere que el peso de la parte aérea no llegue a doblar al de la raíz (Montoya y Cámara, 1996), para que exista equilibrio entre la superficie transpirante y la superficie absorbente de la planta (Quiroz *et al.*, 2011).

En un estudio de Espinoza *et al.* (2021), para la misma especie sometida a riego diferenciado se evidenció una variación significativa para las características de la biomasa, con adaptaciones tanto aéreas como subterráneas que revelaron un efecto de procedencia significativo, los mismos resultados observados en este estudio donde procedencia para biomasa aérea y raíz tuvo significancia (figura 10).



**Figura 10:** Biomasa aérea y raíz por procedencia.

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas dentro de los tratamientos.



### 3.5. Calidad de los individuos de *Cryptocarya alba*

El índice de esbeltez permite estimar la resistencia física de las plantas durante las operaciones de plantación y su resistencia al efecto mecánico del viento (Gómez y Leyva 2005), el óptimo para una planta de buena calidad debe encontrarse en un rango de 5-10 (Quiroz *et al.*, 2009); por otro lado, Hunt (1990) señala que la esbeltez debe ser menor o igual a 8 para que la planta esté equilibrada. Para el Índice de Esbeltez (*IE*), cuadro 5, hubo efecto de la condición hídrica siendo más robustas las plantas de sometidas a restricción hídrica ( $IE=4,57$ ) que las plantas de control ( $IE=6,38$ ).

La relación estrecha de tallo/raíz, cercano 1, generalmente aumenta la posibilidad de supervivencia en sitios secos (Quiroz *et al.*, 2009), indica el balance hídrico de la planta debido que una superficie foliar que transpira requiere de una cantidad de raíz que pueda absorber el agua que se elimina, según lo afirmado por Stewart y Bernier (1995), es por esto de suma importancia que no exista gran diferencia entre la biomasa de la raíz y la biomasa del tallo (Quiroz *et al.*, 2009). El índice Tallo/Raíz (cuadro 5) no se vio afectado por los tratamientos implementados y alcanzó una media general de 1,10.

El índice de Dickson evita seleccionar plantas desproporcionadas y descartar plantas de menor altura, pero con mayor vigor, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez; para latifoliadas se recomiendan valores superiores a 0,2, ya que menor a ese valor podría significar problemas en el establecimiento de una plantación (García, 2007). El Índice de Dickson (cuadro 5) fue afectado por las procedencias, alcanzando un mayor valor las plantas Antumapu ( $IC=4,18$ ).

**Cuadro 5:** Índices de calidad

C: control, R: restricción hídrica, S0: sustrato estéril sin micorrizas comerciales ni microorganismos naturales; S1: sustrato estéril microorganismos naturales y S2 sustrato estéril con micorrizas comerciales. Letras distintas indican diferencias significativas. (\*):  $p < 0.05$ ; (ns): no significativo

Factor	Índice		
	Esbeltez	Tallo/raíz	Dickson
Procedencia			
Antumapu	5,36	1,06ab	4,18a
Cantillana	5,76	1,28a	2,67b
Cayumanque	4,85	1,18ab	2,82b
La Dormida	5,92	0,87b	3,21ab
Condición hídrica			
R	4,57b	1,06	3,25
C	6,38a	1,13	3,18
Sustrato			
S0	5,56	1,21	3,36ab
S1	5,83	1,10	2,68b
S2	5,03	0,98	3,61a
Condición hídrica (CH)			
Procedencia (P)	0,0002ns	0,65ns	0,84ns
Sustrato (S)	0,36ns	0,20ns	0,01*
CH × P	0,35ns	0,40ns	0,24ns
CH × S	0,41ns	0,31ns	0,02ns
P × S	0,92ns	0,64ns	0,29ns
CH × P × S	0,12ns	0,88ns	0,89ns
CH × P × S	0,28ns	0,06ns	0,32ns

**3.6. Variables del fisiológicas de la planta**

Uno de los primeros procesos afectado por el déficit hídrico en la planta es el cierre estomático, disminuyendo de esta forma la conductancia estomática (gS) primeramente, lo cual restringe el agua transpirada a través de estos conductos (E), y además genera una reducción en la asimilación neta de CO<sub>2</sub> (AN), debido a una menor disponibilidad de carbono interno en las cavidades subestomáticas (Ci). Por otra parte, la eficiencia del uso del agua en

las hojas (Wuei), tiende a ser más alto a medida que se intensifica el déficit hídrico (Reyes, 2016). La falta de agua en las plantas puede provocar alteración en el área foliar, la tasa de fotosíntesis, la distribución de biomasa y, en consecuencia, en la productividad de la planta, y tras prolongados periodos de falta de agua puede llegar a causar la muerte (Barría, 2011).

**Cuadro 6:** Variables fisiológicas.

E: transpiración, An: fotosíntesis, gs: conductancia estomática, WUEi: eficiencia en el uso del agua. C: control, R: restricción hídrica, S0: sustrato estéril sin micorrizas comerciales ni microorganismos naturales; S1: sustrato estéril microorganismos naturales y S2 sustrato estéril con micorrizas comerciales. Letras distintas indican diferencias significativas. (\*):  $p < 0.05$ ; (ns): no significativo.

Factor	Variable			
	E (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	An (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	gs (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	WUEi (μmol CO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )
Procedencia				
Antumapu	0,0008	4,86b	0,0423	129
Cantillana	0,0007	4,35b	0,0347	137
Cayumanque	0,0007	4,28ab	0,0383	136
La Dormida	0,0009	5,64a	0,0484	135
Condición hídrica				
R	0,0004B	2,81B	0,0196B	151A
C	0,0012A	6,69A	0,0617A	118B
Sustrato				
S0	0,0007	4,59	0,0372	139
S1	0,0009	5,15	0,0461	129
S2	0,0008	4,62	0,0397	134
Condición hídrica	0,0001*	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Procedencia (P)	0,46*	0,28*	0,08ns	0,84ns
Substrato (S)	0,16ns	0,46ns	0,25ns	0,49ns
CH × P	0,45ns	0,65ns	0,58ns	0,53ns
CH × S	0,64ns	0,72ns	0,69ns	0,68ns
P × S	0,60ns	0,88ns	0,68ns	0,30ns
CH × P × S	0,32ns	0,60ns	0,47ns	0,77ns

Como se observa en el cuadro 6, con relación a la procedencia La Dormida posee una mayor transpiración, fotosíntesis, conductancia estomática y eficiencia del uso del agua en comparación con las demás procedencias, esta zona es la zona con menos precipitaciones y más alta temperatura entre las cuatro procedencias (Saavedra,2019), por lo cual los individuos aprovecharon las condiciones más benignas del vivero, al igual que en el estudio de Espinoza *et al.* (2021), para *C. alba* en donde se evidenció que la procedencia más septentrional tendría una capacidad superior a las otras procedencias para mantener la fotosíntesis bajo déficit hídrico. Por otra parte, en dicho estudio, resultó que la fisiología a nivel de hoja difiere significativamente entre las poblaciones, en este caso también se observa esta significancia entre las procedencias

También se observa en el cuadro 6 que, para el sustrato, no existen mayores diferencias, esto debido a que los tres sustratos fueron inoculados por micorrizas del género *glomus*, sin lograr apreciar alguna ventaja de las micorrizas comerciales.

Para la condición hídrica, como era de esperar en condiciones de estrés de agua, la transpiración y fotosíntesis en significativamente menor en comparación para las plantas control, al igual que lo observado por Reyes (2016) en la especie *Vitis vinífera*. No obstante, los mecanismos de las plantas en condiciones de estrés son más eficientes al utilizar el agua que poseen, siendo más eficiente el uso del agua en plantas con restricción hídrica. Medrano *et al.* (2007), evidencia que el déficit hídrico altera diversos procesos fotosintéticos, por una parte, la reducción del gasto de agua y el incremento de la eficiencia en su uso, y por otra la disminución de la asimilación de CO<sub>2</sub>, y por tanto del crecimiento y la producción.

#### 4. CONCLUSIONES

Las mezclas de sustratos utilizados en este estudio no permitieron demostrar los efectos potenciales de las micorrizas comerciales o de la adición de suelo natural, ya que a pesar de lo inerte de los sustratos destinados, en el sustrato original existían micorrizas, lo que explicaría la inoculación del género *glomus* en las tres mezclas destinadas, obteniendo resultados similares en la sobrevivencia y crecimiento de *C. alba*. Debido a los diversos estudios existentes de la importancia de las micorrizas en condiciones de déficit hídrico en variadas especies y de su presencia en los bosques nativos, se recomienda seguir investigando en este tipo de materias.

Bajo las condiciones de este estudio, la procedencia desempeñó un papel importante en el crecimiento y sobrevivencia de los individuos, marcando una diferencia en el riego diferenciado. Para las variables morfológicas (desempeño acumulativo) la mejor procedencia fue la de Cayumanque y para las variables fisiológicas (desempeño instantáneo) la mejor procedencia fue la Dormida, la más septentrional.

La condición hídrica de las plantas tiene un efecto importante en el crecimiento demostrando mejor desempeño las plantas control en comparación con las plantas restricción. En el caso de la sobrevivencia los resultados fueron similares para las plantas control y restricción, lo que indica que la especie puede sobrevivir en condiciones de riego limitado, al menos durante el tiempo de evaluación de este ensayo. Para las variables fisiológicas también tuvo un efecto alterando los diversos procesos fotosintéticos, además se observó que las plantas sometidas a restricción hídrica poseen una mayor eficiencia del uso del agua, lo cual es lógico ya que cerrando los estomas con menos agua igual realizan fotosíntesis.

El estudio permite inferir la importancia de las diferentes procedencias de la especie en el establecimiento, permitiendo decisiones de gestión más fiables y rentables en escenarios de cambio climático.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- AGRIOS, G. 2002. Fitopatología. Academic Press Inc. México, D.F. 838p.
- ALFARO, R. y SIERRA, V. 1973. Absorción foliar de humedad atmosférica y relaciones hídricas en *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser, *Quillaja saponaria* Mol., *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz y *Acacia caven* Mol. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago, Chile. 69p.
- AUGÉ, R. .2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza. Mycorrhiza 11:3–42
- AZCÓN-BIETO, J. y TALÓN, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill-Interamericana. Madrid, España. 522 p.
- BARRÍA, X. 2011. Respuestas fisiológicas y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* Mol. (quillay), sometidas a distintos niveles de restricción hídrica. Memoria de Ingeniero Forestal. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 37 p.
- BENEDETTI, S. 2012. Monografía de peumo *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser. Programa de Investigación de Productos Forestales no Madereros. Santiago, Chile. 80p.
- BENEDETTI, S.; BALOCCHI, F. Y HORMAZÁBAL, M. 2018. Hongos micorrícicos arbusculares (HMA) asociados a poblaciones naturales de *Peumus boldus* en Chile Central. Gayana. Botánica 75 (1): 431-437.
- BERNAOLA-PAUCAR, R.; PIMIENTA, E.; GUTIÉRREZ, P.; ORDAZ, V.; ALEJIO, G. Y SALCEDO, E. 2015. Efecto del volumen del contenedor en la calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl. en sistema doble-trasplante. Revista mexicana de ciencias forestales, 6(28): 174-187.
- BERNAZA, G. y ACOSTA, M. 2006. Las Micorrizas: Alternativa Ecológica para una Agricultura Sostenible. [en línea] < <http://www.monografias.com/trabajos72/micorrizas-alternativa-ecologicaagricultura-sostenible/micorrizas-alternativa-ecologicaagriculturasostenible2.shtml#ixzz4XDQWfXwp> > [consulta: 07 mayo 2020]
- BIOSIM. 2018. Beneficios: Ficha de cultivos. [en línea] < <http://biosim.cl/beneficios.html> > [consulta: 07 mayo 2020]
- BIROT, Y. y VALLEJO, R. 2011. El agua verde para mantener los procesos de los ecosistemas forestales y sus funciones. En: Birot Y, Gracia C y Palahi M (eds.) Agua para los Bosques y la Sociedad en el Mediterráneo - Un difícil equilibrio. European Forest Institute. What Science can tell us. Edición Española ISBN 978-952-5453-87-4. Pp. 69-73.
- BUSTAMANTE, R. y VASQUEZ, R. 1995. Granivoría en *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Lauraceae): Los efectos del tipo de hábitat y la densidad de semillas. Revista Chilena de Historia Natural. Santiago. Vol 68:117-122.

- CABRERA, H. 2002. Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de altamontaña. *Revista chilena de historia natural*. Santiago. Vol 75(3): 625-637
- CALLAHAM, R. .1964. *Revista de silvicultura y productos forestales*. Investigación de procedencias: estudio diversidad genética asociada a la geografía. Vol. 18: 2-3
- CARAVACA, F.; ALGUACIL, M; BAREA, J.M. y ROLDÁN, A. 2005. Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded Mediterranean ecosystem. *Soil Biol. Biochem*. Vol 37: 227-233
- CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR2). 2015. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Chile. 27p
- CHAVES, M.; PEREIRA, J.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M.; RICARDO, C.; OSORIO, M.; CARVALHO, I.; FARIA, T. y PINHEIRO, C. 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*89: 907-916.
- CIREN, Centro de información de recursos naturales. 1996, Estudio agrológico Región Metropolitana. Publicaciones Misceláneas N°115. Santiago. 425 p.
- CLEARY, B.; GREAVES, R. y HERMANN, R. 1978. Regeneration of Oregon's Forest. A guide for regeneration forest. Oregon State University. School of Forestry. Corvallis, OR, USA, 242 p.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). S. a. La economía del cambio climático en Chile. Chile. 363p
- DEL FIERRO, P.; PANCEL, L.; RIVERA, H. y CASTILLO, J. 1998. Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. CONAF- GTZ, Santiago, Chile. 420 p.
- DICKSON, A.; LEAF, A. Y HOSNER, F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36: 10-13.
- DONOSO, S.; PEÑA, K.; PACHECO, C.; LUNA, G. y AGUIRRE, A. 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Bosque* (Valdivia). Vol 32(2): 187-195.
- ESPINOZA, S.; YÁÑEZ, M.; MAGNI, C.; MARTÍNEZ, E.; OVALLE, J. Y VASWANI, S. 2021. Growth of provenances of *Cryptocarya alba* during water stress and after re-watering in the nursery. *Scientia Agricola*. Vol. 78, suppl.1
- EZQUERRA, M. 2003. Evaluación de técnicas de establecimiento de plantación con Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) en el secano interior de la Región Metropolitana. Proyecto para optar al Título de Ingeniero Forestal. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. Escuela de Ingeniería Forestal. Santiago, Chile. 73 p.
- FAÚNDEZ, Á. 2018. Dinámica de las propiedades hidráulicas de un Mollisol bajo dos sistemas de labranza y la influencia del tránsito de la maquinaria. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 99p

- GARCÍA, M. 2007. Importancia de la calidad del plantín forestal. XXII Jornadas Forestales de Entre Rios. Concordia, octubre de 2007.
- GEHRING, C. 2003. Growth responses to arbuscular mycorrhizae by rain forest seedlings vary with light intensity and tree species. *Plant Ecology* (167), 127–139
- GÓMEZ, Y. Y LEYVA, I. 2005. Producción de plantas de *Eucalyptus grandis* en viveros, mediante la obtención de un sustrato utilizando como elemento principal la cachaza. *Revista Electrónica Hombre Ciencia y Tecnología*, Guantánamo, Cuba. Volumen 33: 10p.
- HARRIS-VALLE, C.; ESQUEDA, M.; VALENZUELA-SOTO, E. y CASTELLANOS, A. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *32(4)*, 265-271.
- HOFFMANN, A. 1982. Flora silvestre de Chile, Zona Araucana. Edición 4. Fundación Claudio Gay, Santiago. 258p
- HUNT, G..1990. Effect of styrobloc design and copper on morphology of conifer seedlings. En: Rose, R., S. J. Campbell y T. D. Landis (eds.). *Proceedings, Western Forest Nursery Association; 1990 August 13-17; Roseburg, OR. General Technical Report RM-200. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station: 218-222.*
- IVERSON, RD. 1984. Planting stock selection: Meeting biological needs and operational realities. In Duryea ML, TD Landis eds. *Forest nursery manual. Oregon State University. Corvallis, USA. p. 261-266.*
- LORTIE, C. y AARSSSEN, L. 1996. The specialization hypothesis for phenotypic plasticity in plants. *International Journal of Plant Sciences* 157: 484-487.
- MAGNI, C.; ESPINOZA, S.; POCH, P.; ABARCA, B.; GREZ, I.; MARTÍNEZ, E.; YÁÑEZ, M.; SANTELICES, R. Y CABRERA, A. 2019. Growth and biomass partitioning of nine provenances of *Quillaja Saponaria* seedlings to water stress. [En línea] <<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171355>> [consulta: 02 marzo 2021]
- MAGNI, C.; SCHERSON R, ROMERO F, MARTÍNEZ E. 2015. Propuesta de protocolo para la definición de créditos por ganancias en biodiversidad en ecosistemas mediterráneos de Chile Central. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. Informe Técnico PNUD. 38 p.
- MARTÍNEZ, J. Y ARMESTO, J. 1983. Ecophysiological plasticity and habitat distribution in three evergreen sclerophyllous shrubs of the Chilean matorral. *Oecologia Plantarum* 4: 211-219.
- MARTÍNEZ-GARCÍA, L. 2011. Micorrizas arbusculares en ecosistemas semiáridos. Respuesta a factores de estrés ambiental. *Ecosistemas* 20(2-3):117-120.
- MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXA, J.; RIBAS-CARBÓ, M. y GULÍAS, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84 pp.



- MATTE, V. 1960. Estudio, informe y proyecto de explotación de un bosque de peumo (*Cryptocarya alba* (Mol.) Losser) en la Provincia de Santiago. Tesis de Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Agronomía. 41p.
- MEXAL, J. Y LANDIS, T. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Rose, R. S., J. Campbell y T. D. Landis (eds.). Target seedling symposium Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. General Technical Report R. M-200. USDA Forest Service. Roseburg, OR, USA. pp. 17-36.
- MONTAYA, J. y CÁMARA, M. 1996. La planta y el vivero forestal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 127p
- MUÑOZ, H.; SÁENZ, J.; CORIA, V.; GARCÍA, J.; HERNÁNDEZ, J y MANZANILLA, G. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. Revista mexicana de ciencias forestales, 6(27), 72-89.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.; MITTERMEIER, C.; FONSECA, G. y KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403(6772): 853–858.
- NAVAS, L. 1976. Flora de la Cuenca de Santiago de Chile Tomo II. Dicotyledoneae Archichlamydeae. Santiago, Ediciones de la Universidad de Chile. 559p.
- OTIENO, D.; SCHMIDT, M.; ADIKU, S. y TENHUNEN, J. 2005. Physiological and morphological responses to water stress in two Acacia species from contrasting habitats. Tree Physiology 25: 361-371.
- PADILLA, F. 2008. Factores limitantes y estrategias de establecimiento de plantas leñosas en ambientes semiáridos. Implicaciones para la restauración. España. Ecosistemas XVII (1): pp 155-159.
- PEÑA-ROJAS, K.; DONOSO, S.; GANGAS, R.; DURÁN, S.; ILABACA, D. 2018. Efectos de la sequía en las relaciones hídricas, crecimiento y distribución de biomasa en plantas de *Peumus boldus* Molina (Monimiaceae) cultivadas en vivero. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. Interciencia 41 (1). 36-42.
- PEREIRA, G.; SANCHEZ, M.; RIOS, D. y HERRERA, M. 2001. Micorrizas vesículo arbusculares y su incidencia en el crecimiento de plántulas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Bosque 22(2): 39-44
- PETIT-BREUILH, A. 2016. Respuestas morfofisiológicas de *Quillaja saponaria* Mol. Y *Lithraea caustica* (Mol.) et Arn. a la eliminación paulatina del riego en una plantación, en cerro el roble, Región metropolitana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago. 26p
- POZO, M.; LÓPEZ-RÁEZ, J.; AZCÓN-AGUILAR, C. y GARCÍA-GARRIDO, J. .2015. Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. New Phytologist 205(4): 1431–1436.
- QUINTANILLA, M. 2019. Respuestas morfofisiológicas desarrolladas por *Porlieria chilensis* I. M. Johnston (Guayacán) bajo restricción hídrica en vivero. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago. 28p

- QUIROZ, I.; GARCÍA, E.; GONZÁLEZ, M.; CHUNG, P. y SOTO, H. 2009. Vivero Forestal: Producción de plantas nativas a raíz descubierta. Concepción, INFOR. 128p
- QUIROZ, I.; HERNÁNDEZ, A.; GARCÍA, E.; GONZALEZ, M. Y SOTO, H. 2011. Comportamiento en terreno de plantas de quillay (*Quillaja saponaria* Mol.), producidas en diferentes volúmenes de contenedor. [En línea] <<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/19050/26766-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [consulta: 02 marzo 2021]
- REYES, F. 2016. Efecto de distintos niveles de déficit hídrico sobre la fotoinhibición y fotosíntesis en *vitis vinifera* l. cv. carménère. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de magíster en Enología y Vitivinicultura. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 65p
- RODRÍGUEZ, R.; MATTHEI, S. y QUEZADA, M. 1983. Flora arbórea de Chile. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 408 p.
- SAAVEDRA, N. 2019. Germinación y establecimiento inicial de *Cryptocarya alba* (Molina) Looser. según procedencia-progenie en tres ambientes en la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. 50p.
- SERRA, M. 1991. Organización morfológica de semilla, plántula y estados juveniles. Ciencias Forestales Vol. 7 N (1-2): 21-27
- SILVA, P. 2018. Factores que determinan la comunidad de hongos micorrícicos arbusculares del bosque esclerófilo en Chile central mediterráneo. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas, Área Botánica. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 165p
- SMITH, S. y READ, D. 2008. Mycorrhizal symbiosis, 3rd ed. Elsevier Ltd., London.
- Tedersoo, L., Sánchez-Ramírez, S., Kõljalg, U., Bahram, M., Döring, M., Schigel, D., May, T., Ryberg, M., Abarenkov, K., 2018. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Divers.* 90, 135–159.
- SOLÓRZANO, J. 2019. Utilización de micorrizas arbusculares en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), para tolerancia al estrés hídrico, en condiciones de invernadero. Trabajo Experimental para obtener el título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo, Ecuador. 20-29 p
- Stewart, J. y Bernier, P. 1995. Gas exchange and water relations of three sizes of containerized *Picea mariana* seedlings subjected to atmospheric and edaphic water stress under controlled conditions. *Annales des Sciences Forestières* 52: 1-9
- TAIZ, L. y ZEIGER, E. 2002. Plant Physiology Third edition. University of California. Sinauer associates, Inc., publishers. United States. 690 p
- TRESSENS, S. 1997. El género *Cryptocarya* (Lauraceae) en Argentina. *Bonplandia* Vol. 9, No. (3-4): 209-212
- VALENZUELA, L. 2007. Evaluación de un ensayo de riego y fertilización de Quillay (*quillaja saponaria* mol.), en la comuna de San Pedro, Provincia de Melipilla, Región

Metropolitana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. 66p.

VITOUSEK, P. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75: 1861-1876.

VITOUSEK, P.; MOONEY, H.; LUBCHENCO, J. y MELILLO, J. 1997. Human domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277: 494-499.

WU, Q.; XIA, R. y ZOU, Y. 2007. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European journal of soil biology*. Vol 44: 122-128

ZANGARO, W., y MOREIRA, M. 2010. Micorrizas arbusculares nos biomas floresta atlântica e floresta de araucária. En: Siqueira, J.O., Souza, F.A., Cardoso, E.J.B.N., Tsai, S.M. (eds.), *Micorrizas: trinta anos de pesquisa no Brasil*, pp. 279-310. Editora UFLA, Brasília, Brasil.

ZEBALLOS, P. Y MATTHEI, O. 1992. Caracterización dendrológica de las especies leñosas del Fundo Escuadrón Concepción, Chile. *Revista Ciencia e Investigación Forestal (CIFOR)*. 6: 195 - 257.

ZOBEL, B. y TALBERT, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, Ed. Limusa. 545 p.