



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA

**EVALUACIÓN DE SIEMBRA DIRECTA DE *Acacia caven*, *Schinus polygamus*,
Quillaja saponaria Y *Prosopis chilensis* COMO MÉTODO ALTERNATIVO DE
ESTABLECIMIENTO ASISTIDO PARA EL BOSQUE ESCLERÓFILO EN
SECTOR LAS TORTOLAS, COLINA, REGIÓN METROPOLITANA**

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

FERNANDA RAQUEL MUÑOZ MEDEL

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

2022

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA

**EVALUACIÓN DE SIEMBRA DIRECTA DE *Acacia caven*, *Schinus polygamus*,
Quillaja saponaria Y *Prosopis chilensis* COMO MÉTODO ALTERNATIVO DE
ESTABLECIMIENTO ASISTIDO PARA EL BOSQUE ESCLERÓFILO EN
SECTOR LAS TORTOLAS, COLINA, REGIÓN METROPOLITANA**

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

FERNANDA RAQUEL MUÑOZ MEDEL

| Calificaciones: | Nota | Firma |
|---|---------------|-------|
| Prof. Guía Sr. Eduardo Martínez Herrera |6,5..... | |
| Prof. Consejero Sr. Antonio Vita |5,8..... | |
| Prof. Consejero Sr. Carlos Magni Díaz |6,4..... | |

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su amor incondicional. A mis amigas, por darme alegrías y apoyo desde el primer día de clases. También agradecerle a Luffy por ser el mejor capitán y a BTS por existir y darme las ganas de vivir.

A mi profesor guía Eduardo Martínez, que me ha ayudado y enseñado de forma alegre y relajada durante todo este proceso, lo que ha sido fundamental para mantener la salud mental, junto con mis profesores consejeros Antonio Vita y Carlos Magni y profesor colaborador Sergio Espinoza, por sus correcciones y retroalimentación.

Finalmente, agradecer a Anglo American S.A. Operación Los Bronces, por financiar, apoyar y hacer posible este estudio, que forma parte del proyecto “Gestión de Recursos Fitogenéticos” de Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales de la Universidad de Chile.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 | Sucesión ecológica del bosque esclerófilo | 2 |
| 1.2 | Restauración ecológica | 3 |
| 1.3 | Siembra directa | 5 |
| 1.4 | Factores limitantes | 7 |
| 1.4.1 | Estrés hídrico | 7 |
| 1.4.2 | Sombra | 7 |
| 1.4.3 | Depredación | 8 |
| 1.5 | Objetivos | 9 |
| 1.5.1 | Objetivo general | 9 |
| 1.5.2 | Objetivos específicos | 9 |
| 2. | MATERIAL Y MÉTODO | 10 |
| 2.1 | Material | 10 |
| 2.1.1 | Área de estudio | 10 |
| 2.1.2 | Material vegetal utilizado en ensayos de siembra directa | 11 |
| 2.2 | Método | 12 |
| 2.2.1 | Descripción del ensayo A de siembra directa con cuatro procedencias de <i>Acacia caven</i> , tres porta-siembra y tres protectores contra herbivoría (2018) | 12 |
| 2.2.2 | Descripción del ensayo B de siembra directa (2019) | 15 |
| 2.3 | Base de datos | 15 |
| 2.4 | Análisis de los datos | 16 |
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 17 |
| 3.1 | Ensayo A. Siembra directa <i>Acacia caven</i> | 17 |
| 3.1.1 | Experimento N°1 | 17 |
| 3.1.2 | Análisis de crecimiento y biomasa (experimento N°1) | 27 |
| 3.1.3 | Experimento N°2 | 28 |
| 3.1.4 | Análisis de crecimiento y biomasa (experimento N°2) | 31 |
| 3.2 | Ensayo B. Siembra directa de cinco especies 2019 | 31 |
| 3.2.1 | Efecto de las especies | 31 |
| 3.2.2 | Efecto de micorriza <i>Glomus intraradices</i> sobre la sobrevivencia | 33 |
| 4. | CONCLUSIONES | 35 |
| 5. | BIBLIOGRAFÍA | 37 |
| 6. | APÉNDICES | 43 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Tratamiento de germinación y número de semillas de <i>Acacia caven</i> utilizadas en cada casilla por procedencia. | 12 |
| Cuadro 2. Análisis de varianza de los factores protector y porta siembra, y su interacción en respuesta a la emergencia de las plántulas de <i>Acacia caven</i> , primera fecha de medición. | 17 |
| Cuadro 3. Análisis de varianza de los factores protector y porta siembra, y su interacción en respuesta a la emergencia de las plántulas de <i>Acacia caven</i> , segunda fecha de medición. | 23 |
| Cuadro 4. Análisis de varianza de los factores protector y porta siembra, y su interacción en respuesta a la emergencia de las plántulas de <i>Acacia caven</i> , cuarta fecha de medición. | 25 |
| Cuadro 5. Promedio de las variables consideradas en el análisis de crecimiento y biomasa del experimento N°1 obtenidos a partir del tipo de protector y porta siembra en el sitio “Peldehue 2”. | 28 |
| Cuadro 6. Análisis de varianza del factor procedencia en respuesta a la emergencia de las plántulas de <i>Acacia caven</i> en distintas oportunidades de muestreo. | 29 |
| Cuadro 7. Promedio de las variables consideradas en el análisis de crecimiento y biomasa del experimento N°2, por procedencia en el sitio “Peldehue 2”. | 31 |
| Cuadro 8. P-valor obtenido a partir de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis del factor procedencia sobre la variable sobrevivencia en individuos de <i>Acacia caven</i> y <i>Schinus polygamus</i> en tres oportunidades de muestreo. | 33 |
| Cuadro 9. Análisis de varianza del factor micorriza sobre la sobrevivencia de las plántulas, con un nivel de significancia del 5%. | 33 |
| Cuadro 10. Porcentaje plántulas emergidas de <i>Acacia caven</i> , en función del protector y porta siembra en septiembre de 2018. | 44 |
| Cuadro 11. Porcentaje de sobrevivencia de individuos de <i>Acacia caven</i> , en función del protector y porta siembra en junio de 2019. | 44 |
| Cuadro 12. Porcentaje de sobrevivencia de individuos de <i>Acacia caven</i> , en función del protector y porta siembra en abril de 2021. | 45 |
| Cuadro 13. Número de plántulas de <i>Acacia caven</i> emergidas en noviembre de 2018 en función del sitio de siembra y procedencia de la semilla. | 45 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación de los sectores donde se instalaron los ensayos A y B de siembra directa (año 2018 y 2019 respectivamente), por Anglo American, Operación los Bronces. | 10 |
| Figura 2. Diseño del experimento N°1 y N°2. Donde P1, P2, P3 y P4 corresponden a cada una de las procedencias. | 14 |
| Figura 3. Porcentaje de plántulas de <i>Acacia cavен</i> emergidas en función del protector y barras de error estándar (+/-). | 18 |
| Figura 4. Porcentaje de plántulas de <i>Acacia cavен</i> emergidas en función del tipo de Porta siembra y barras de error estándar (+/-). | 20 |
| Figura 5. Porcentaje de la sobrevivencia de individuos de <i>Acacia cavен</i> en función del protector y barras de error estándar (+/-). | 23 |
| Figura 6. Porcentaje de la sobrevivencia de individuos de <i>Acacia cavен</i> emergidas en función del tipo de Porta siembra y barras de error estándar (+/-). | 24 |
| Figura 7. Porcentaje de la sobrevivencia de individuos de <i>Acacia cavен</i> en función del protector y barras de error estándar (+/-). | 25 |
| Figura 8. Porcentaje de la sobrevivencia de individuos de <i>Acacia cavен</i> en función del tipo de protector en tres oportunidades de muestreo. | 27 |
| Figura 9. Porcentaje de plántulas de <i>Acacia cavен</i> emergidas en función de la procedencia de la semilla y barras del error estándar (+/-) en distintas oportunidades de muestreo. | 29 |
| Figura 10. Sobrevivencia promedio de los individuos de <i>Acacia cavен</i> (AC), <i>Prosopis chilensis</i> (PC), <i>Quillaja saponaria</i> (QS), <i>Schinus polygamus</i> (SP), Mix 1 y Mix 2, en tres oportunidades de monitoreo. | 32 |
| Figura 11. a) Pantalla protectora convencional RFV (<i>Tree shelter</i>), b) Pantalla protectora alternativa 1, c) Pantalla protectora alternativa 2. | 43 |
| Figura 12. Siembra convencional (izquierda) y porta siembra (derecha). | 43 |

RESUMEN

La pérdida y degradación de áreas naturales es parte de la problemática ambiental por la que actualmente muchos ecosistemas atraviesan. Debido al nivel de degradación que han alcanzado dichos ecosistemas, la recuperación de estos se produce muy lentamente o ya no se recuperan naturalmente. Los bosques que se desarrollan en Chile central corresponden al tipo forestal esclerófilo, el cual es probablemente el con mayor alteración y degradación, tanto en su estructura como composición vegetal original. Bajo este contexto, los planes de restauración ecológica contemplan la incorporación de acciones que permitan la recuperación y aceleración de ciertos procesos. La siembra directa corresponde a una técnica de restauración activa, la cual ha sido desarrollada durante cientos de años y que, en la actualidad, es calificada como una metodología viable en muchos planes de conservación debido a aspectos económicos y técnicos. A esta práctica se han incorporado elementos que buscan garantizar un mayor nivel de éxito dentro de la planificación de los programas de restauración. Bajo este contexto, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto que posee la procedencia del material vegetal, incorporación de protección, porta siembra y micorriza, sobre la sobrevivencia de especies del bosque esclerófilo, en dos ensayos de siembra directa instalados en el año 2018 y 2019, en el sector Las Tórtolas, ubicado en la Comuna de Colina (Región Metropolitana). En el primer ensayo se evaluó tres tipos de protectores (Convencional RFV, Alternativo 1 y Alternativo 2) y tres tipos de porta siembra (Sin porta siembra, Fibra de coco y Fibra de coco e Hidrogel), además de la procedencia del material vegetal (semillas de *Acacia caven*), donde el mayor nivel de éxito sobre la sobrevivencia de los individuos de *Acacia caven* se obtuvo con el protector Alternativo 2, el porta siembra Fibra de coco e Hidrogel y Fibra de coco, y la procedencia local que corresponde a Colina. El segundo ensayo evaluó la incorporación de micorriza y la procedencia del material vegetal sobre la sobrevivencia de las especies *Acacia caven*, *Schinus polygamus*, *Quillaja saponaria* y *Prosopis chilensis*. La incorporación de micorriza comercial no resultó tener efecto sobre la variable en ninguna oportunidad de muestreo, mientras que la procedencia del material vegetal solo tuvo efecto sobre la especie *Schinus polygamus* en la primera fecha de muestreo. Por lo tanto, se recomienda realizar siembra directa con material vegetal proveniente del sector, protegido por malla galvanizada cubierta con malla sombreadora (Alternativo 2) y porta siembra compuesto por fibra de coco o fibra de coco e hidrogel.

Palabras claves: Restauración ecológica, siembra directa, protección, porta siembra, micorriza, procedencia.

ABSTRACT

The loss and degradation of natural areas is part of the environmental problems that many ecosystems are currently experiencing. Due to the level of degradation that these ecosystems have reached, their recovery occurs very slowly or does not occur naturally. The forests that develop in central Chile correspond to the sclerophyllous forest type, which is probably the one with the greatest deterioration and degradation, both in its structure and original plant composition. In this context, the ecological restoration plans contemplate the incorporation of actions that allow the recovery and acceleration of certain processes. Direct seeding corresponds to an active restoration technique, which has been developed for hundreds of years and is currently a viable methodology in many conservation plans due to economic and technical aspects. Elements have been incorporated into this practice that seek to guarantee a higher level of success in the planning of restoration programs. In this context, the objective of the present study is to evaluate the effect of the origin of the seed, incorporation of protection, seed carrier and mycorrhiza, on the survival of species of the sclerophyllous forest, in two trials installed in the year 2018 and 2019, in the Las Tórtolas sector, located in Colina (Region Metropolitana). In the first trial, three types of protectors (Conventional RFV, Alternative 1 and Alternative 2) and three types of seed carrier (Conventional, Coconut fiber and Coconut fiber and Hydrogel) were evaluated, in addition to the origin of the plant material, where the highest level of success on the survival of the individuals of *Acacia caven* was obtained with the Alternative 2 protector, the fiber coconut and hydrogel planting holder and coconut fiber, and the local provenance that corresponds to Colina. The second trial evaluated the incorporation of mycorrhizae and the origin of plant material on the survival of the species *Acacia caven*, *Schinus polygamus*, *Quillaja Saponaria* and *Prosopis chilensis*. The incorporation of commercial mycorrhizae had no effect on the variable in any test opportunity, while the origin of the plant material only influenced the *Schinus polygamus* on the first test date. Therefore, it is recommended to carry out direct sowing with plant material from the sector, protected by galvanized mesh covered with shading mesh (Alternative 2) and planting tray made of coconut fiber or coconut fiber and hydrogel.

Keywords: Ecological restoration, direct seeding, protection, planting holder, mycorrhiza, provenance (origin).

1. INTRODUCCIÓN

Chile central es una de las cinco eco-regiones en el mundo que presentan un clima mediterráneo, junto con el Suroeste de Australia, California (Estados Unidos), Cuenca del Mediterráneo y Región del Cabo (Sudáfrica). Estas regiones en conjunto cubren menos del 5% de la superficie mundial, pero se caracterizan por poseer grandes niveles de endemismo y una gran riqueza de especies considerando que 48.250 especies de plantas vasculares se desarrollan en este tipo de región climática (alrededor del 20% a nivel mundial), las cuales sobreviven en pequeñas poblaciones y muchas se encuentran actualmente amenazadas por transformaciones del hábitat y disturbios (Cowling *et al.*, 1996).

El clima Mediterráneo se caracteriza por presentar una estación de verano seca, donde las temperaturas son altas y las precipitaciones suelen ser mínimas, siendo una característica única de este tipo de clima (Benítez *et al.*, 2012). En Chile, la región denominada Llano Central se encuentra influenciada por un clima mediterráneo, la cual se despliega en la depresión producida entre extensos cordones montañosos (Cordillera de la Costa y Cordillera de los Andes), y donde la vegetación más representativa corresponde a matorrales y bosques esclerófilos (Quintanilla, 2012), los cuales se distribuyen en la zona centro del país, aproximadamente entre los 31°S y 37°S (Becerra *et al.*, 2018), lo que permite el desarrollo de especies que van desde árboles esclerófilos y laurifolios, hasta arbustos espinosos (Rundel, 1998).

Los regímenes de disturbios naturales como incendios, sequías de verano, actividad tectónica y ciclos de erosión presentan ciertas similitudes en las cinco regiones de clima mediterráneo debido a las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidos. En cambio, características de estos como la intensidad y la frecuencia varían dependiendo de la región. En el caso de los regímenes de disturbios antropogénicos, estos dependen del impacto que el humano ha generado en estas zonas a través de la historia (Rundel, 1998).

Las grandes transformaciones de estos ecosistemas en Chile comienzan con la colonización de los españoles en el año 1.542 al desarrollar actividades como la agricultura y el pastoreo que, en conjunto con el desarrollo urbano, la tala y quema del bosque esclerófilo presente en la zona, provocaron una enorme reducción de la cobertura de los bosques (Rundel, 1998). Hoy en día los principales problemas por los que los bosques remanentes de este tipo de vegetación atraviesan se deben al poco valor social y económico de los productos y servicios que estos entregan. A lo anterior se le suma un bajo resguardo por parte del sector público e iniciativas del sector privado (Becerra *et al.*, 2018). Permitiendo que, de la vegetación que se desarrolla en Chile central, el tipo forestal esclerófilo sea el con mayor alteración y degradación tanto en su estructura como composición vegetal original (Donoso, 1993). Por lo tanto, de los distintos ecosistemas que se encuentran degradados en el país, el bosque esclerófilo probablemente sea el que más necesite la implementación de acciones de para su restauración (Becerra *et al.*, 2018).

La restauración ecológica corresponde al conjunto de medidas que son implementadas en un ecosistema alterado y que debido a su nivel de degradación no pueden recuperarse naturalmente o esta se produce de forma muy lenta (Hobbs y Harris 2001). La recuperación de un ecosistema puede realizarse mediante estrategias de tipo activa o pasivas, las cuales son aplicadas en base a la ecología del sistema (Van Andel y Aronson 2012). Respecto a técnicas de tipo activas existen antecedentes de buenos resultados obtenidos en la aplicación de siembra directa como método alternativo al establecimiento asistido de especies nativas del bosque esclerófilo considerando un tipo de clima mediterráneo. Sin embargo, no se han desarrollado suficientes ensayos y evaluaciones que contrasten este tipo de reforestación con otras metodologías como la plantación convencional en Chile (Becerra *et al.*, 2018).

Dado al contexto en el que se desarrolla el bosque esclerófilo se tiene como antecedente que la regeneración de especies en regiones mediterráneas se ve limitada principalmente por factores bióticos como la herbivoría y depredación de semillas y por factores abióticos como la sequía que se produce en el periodo estival (Marañón *et al.*, 2004).

1.1 Sucesión ecológica del bosque esclerófilo

A partir de las brechas que se producen por la acción de incendios ya sean artificiales o naturales, y la facilitación entre especies, se origina la dinámica sucesional del bosque esclerófilo. Dentro de las especies arbóreas pioneras en la sucesión de este tipo de vegetación se encuentra *Acacia caven*, entre otras, las cuales actúan como facilitadoras de otras especies, otorgando protección y enriqueciendo con nitrógeno el sustrato en el que se desarrollan. Este proceso de sucesión ecológica se ve afectado y modificado por la artificialización de los terrenos originado por el accionar humano (Donoso, 1993). El ganado ha influido en el desarrollo de rodales monoespecíficos de *Acacia caven*, al ser su principal diseminador y disminuir la regeneración de otras especies, por lo que el no excluir el ganado propicia la formación de espinales, en desmedro del establecimiento de otras especies (Holmgren, 2002). Si en el área no se produce pastoreo, se favorece el establecimiento de especies dispersadas por viento, resistentes a la herbivoría y ambientes secos como *Baccharis sp.* En áreas que se encuentran deforestadas, la colonización de especies ocurre mediante la dispersión por aves y difusión lenta desde zonas aledañas. Mientras que el establecimiento y sobrevivencia de especies tardías como *Quillaja saponaria* se ve facilitada en el momento en que las especies pioneras e intermedias se desarrollan. La velocidad con la que se produce la sucesión dependerá de aspectos como si el ambiente es más húmedo o seco (Altamirano, 2008).

Schlegel (1963), plantea las principales etapas sucesionales del bosque esclerófilo en la región mediterránea semiárida del país, que en su estado pionero se origina con la etapa de terófitas de *Chaetanthera vulpia* sp. Seguido por la etapa arbustiva de *Proustia pungens*,

Colliguaja odorifera, *Solanum tomatillo* y *Baccharis paniculata*, etapa de matorral alto de *Acacia caven*, matorral alto de *Trevoa trinervis*, *Phodantus mitiqui* y *Colliguaja odorifera*, bosque mixto de *Lithraea caustica* y *Quillaja saponaria* hasta su estado de clímax que resulta en un bosque puro de *Cryptocarya alba*.

Hipótesis respecto a la sistemogénesis en este tipo de ecosistemas postulan diversos estados climáticos, que en condiciones de menor a mayor humedad presentan las siguientes especies y/o asociaciones: *Cryptocarya alba*, *Cryptocarya alba-Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica-Quillaja saponaria* y *Peumus boldus*, *Flourensia thurifera-Nassella chilensis*, *Colliguaja odorifera-Nassella chilensis*, *Nassella chilensis*, *Puya berteroniana-Trichocereus chilensis* y *Porlieria chilensis-Proustia pungens* (Gallardo y Gastó, 1987; Vita, 1993)

Si bien, este tipo forestal es el que presenta mayores niveles de degradación en su estructura original, la falta de conocimiento sobre la implementación de estrategias o técnicas para el manejo de estos ecosistemas ha influido para que hoy en día las iniciativas para su restauración sean prácticamente inexistentes (Becerra *et al.*, 2018). De igual forma, el conocimiento sobre la biología reproductiva de las especies es un elemento necesario si se quiere tomar algún tipo de medida para detener el daño o recuperar la biodiversidad que es vulnerable a ciertas perturbaciones. Ya que si no se dispone de información como; los mecanismos de propagación de las especies, dependencia de animales polinizadores o dispersores, y factores que limitan el desarrollo de sus comunidades (herbivoría de plántulas, depredación de semillas o falta de recursos y espacio), difícilmente se podrán establecer buenos planes de gestión de hábitats y conservación de especies. Bajo este contexto, los estudios de genética de poblaciones resultan ser cruciales para determinar la viabilidad de poblaciones muy reducidas (Traveset, 2002).

1.2 Restauración ecológica

La pérdida y degradación de áreas naturales es parte de la problemática ambiental que actualmente muchos ecosistemas atraviesan, por lo que es frecuente observar sistemas naturales que han sido alterados afectando su funcionamiento, estructura y composición, debido a la explotación y falta de manejo de los recursos sin considerar los procesos ecológicos que se producen en los ecosistemas. Frente a esta problemática se hace evidente la necesidad de realizar acciones que, además de evitar efectos como la desaparición de los ecosistemas, consideren la eventual conservación y recuperación ya sea de forma total o parcial de las áreas afectadas y su posible uso sostenido (Martínez, 1996).

Debido al nivel de degradación que han alcanzado muchos ecosistemas, la recuperación de estos se produce muy lentamente o ya no pueden recuperarse naturalmente, es por esto que se recurre y establecen acciones que permitan la recuperación y aceleración de ciertos procesos. Este tipo de intervención se denomina restauración ecológica (Van Andel y

Aronson, 2006). La restauración ecológica es definida por La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) como “*El proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido*” (SER, 2004). Esta ciencia natural ha sido desarrollada con el propósito de restaurar los ecosistemas de forma completa y no solo las partes integrales o especies vegetales que los conforman, además de poder determinar de qué manera se debe intervenir para que estos lleguen a un punto en el que conserven su dinámica y puedan auto sustentarse (Holl y Aide, 2011). En la restauración se desarrolla la investigación y estudio científico de los métodos que son aplicados para proceder con dichas restauraciones, centrándose en el estudio de las poblaciones, comunidades y ecosistemas, siendo más experimental que otras disciplinas, como la biología de la conservación (Young, 2000).

Al elaborar un proyecto de restauración se plantean metas y objetivos, los cuales se desarrollarán a través del tiempo y requieren de la disponibilidad de recursos ya sean financieros, de mano de obra o material vegetal, los cuales son fundamentales para alcanzar tanto los objetivos del proyecto como la resiliencia del ecosistema. Gran parte de los proyectos de restauración ecológica tienen objetivos como la recuperación de los procesos naturales o composición de especies que se encontraban presentes en el área previo a la perturbación (Holl y Aide, 2011).

Existen varias fases dentro de un programa de restauración ecológica, en la fase inicial de recuperación de un proyecto de restauración se deben identificar los elementos que pueden provocar una ralentización de esta y que influirán en la tasa de recuperación anual, la cual puede ser evaluada a través de la ecología del sistema, los procesos de recuperación natural del área y antecedentes de otros casos similares (Van Andel y Aronson, 2012). Por ejemplo, si se produce sobrepastoreo en un ecosistema, la limitación del ganado al lugar resultaría ser la primera acción que conduciría a la restauración ecológica, (Hobbs y Norton, 1996). Con esto se pretende llegar al ecosistema deseado o de referencia mediante la aplicación de estrategias y técnicas que se basen principalmente en el conocimiento ecológico del área, donde se involucren factores bióticos y abióticos que intervengan con el proceso de sucesión natural (Clewell y Rieger, 1997). Para la recuperación de un ecosistema se aplican dos tipos de estrategia ya sea de forma separada o conjunta, las cuales se denominan estrategias activas y pasivas de restauración (Van Andel y Aronson, 2006).

La restauración pasiva corresponde a la aplicación de acciones que permitan que el funcionamiento y la biodiversidad del ecosistema puedan recuperarse a través del proceso sucesional natural de este, mediante la prevención, control o modificación de factores que ocasionen degradación como, la ganadería, tala o incendios (Van Andel y Aronson, 2006). Si el nivel de degradación es tal, que algún proceso o componente ecológico no puede recuperarse por sí solo, aun habiendo controlado el factor de degradación, se recurre a técnicas de restauración activas, lo que implica un mayor nivel de intervención, como la realización de siembras o plantaciones y la aplicación de tratamientos para que se establezca un aumento en la probabilidad de sobrevivencia, ya sea aplicación de sombra, riego, etc. (Van Andel y Aronson, 2006).

La aplicación de cada tipo de estrategias de restauración en el bosque esclerófilo está condicionada por la disponibilidad de propágulos de las especies que se desarrollan en el lugar y son de interés, ya que en zonas mediterráneas se suele observar una baja producción de semillas si no se dan buenas condiciones ambientales, junto con la influencia de los factores bióticos y abióticos (herbívora, pastoreo y el periodo de sequía estival) (Marañón *et al.*, 2004). En Chile los procesos y estudios de restauración han sido escasamente evaluados en términos del éxito que estos han tenido. Pese a este contexto, el bosque esclerófilo posee gran potencial para aplicar planes de restauración ya sea por medio de estrategias activas o pasivas. Si de estrategias activas se trata, tanto en Chile como en el mundo, la mayor parte de los procesos de restauración se realizan mediante el establecimiento de plantaciones, por lo que el éxito que posee la siembra directa en Chile central como método de reintroducción no ha sido extensamente estudiado (Becerra *et al.*, 2018).

1.3 Siembra directa

En casos donde hay suficiente disponibilidad de propágulos, pero igualmente la recuperación natural se da de forma más lenta, se evalúa la existencia de posibles barreras que limiten la resiliencia y el establecimiento de regeneración en el sitio con el propósito de ser eliminados y así facilitar la recuperación del ecosistema, lo cual es denominado como regeneración natural asistida (Dugan *et al.*, 2003). Por lo tanto, si dentro del sitio la dispersión de semillas y fuentes de estas son suficientes para que se establezca la regeneración, la reintroducción de plántulas o semillas resultaría ser la opción más costosa en comparación con la eliminación de obstáculos que limitan la regeneración natural (Lamb *et al.*, 2005). En cambio, si la falta de propágulos, escasez de regeneración o bajos niveles de dispersión de semillas son la razón por la que no se produce colonización de especies leñosas dentro del sitio, se interviene activamente mediante la introducción de dichas especies, lo que normalmente se realiza a través de la plantación de las especies de interés o por siembra directa.

La siembra directa corresponde a una técnica activa de restauración que ha sido desarrollada por cientos de años en el mundo, pero su aplicación durante el último medio siglo ha ido disminuyendo en países con mayor nivel de desarrollo, debido a la creación de programas que contemplan metodologías de reforestación, a través, de la plantación de individuos de alta calidad, que logran establecerse de forma exitosa en el lugar. Sin embargo, la aplicación de siembra directa como técnica de restauración ha vuelto a ser considerada, ya que las dimensiones que contemplan los nuevos planes de conservación son cada vez más grandes, como consecuencia de la gran deforestación que se ha producido en países del tercer mundo, lo que aumenta su potencial en la integración de programas de restauración (Grossnickle y Ivetić, 2017). La aplicación de opciones de bajo costo son necesarias para implementar una restauración a escala global, como lo es la siembra directa (Fischer *et al.*, 2016).

Al método de siembra directa de especies nativas se le suelen asociar una serie de beneficios comparado a otras metodologías que, por ejemplo, utilizan plántulas, debido a la reducción o eliminación de ciertos costos. En primer lugar, la siembra directa no requiere de la producción de plantas en vivero, por lo tanto, tampoco necesita el transporte de estas. Además, al ser un proceso más sencillo se requiere de menos tiempo en la implementación, insumos y mano de obra. Asimismo, las plantas se desarrollan en el lugar definitivo y no deben ser aclimatadas y sometidas a fuertes cambios ambientales como ocurre al transportar las plántulas desde el vivero al lugar de plantación (Vilagrosa *et al.*, 2006). Sin embargo, se contraponen aspectos claves como las bajas tasas de establecimiento, por lo que se requiere de mayor cantidad de semillas por ejemplar establecido y que se produce debido a factores como la depredación de semillas, condiciones de sitio pobres o competencia con otras especies, además, de crecer más lentamente en comparación con la plantación de individuos producidos en vivero, ya que en este último se otorgan cuidados iniciales que permiten un desarrollo más acelerado. Por lo tanto, se hace necesaria la incorporación de nuevas prácticas para asegurar un mayor éxito y eficiencia en los programas de siembra directa (Grossnickle y Ivetić, 2017).

Mediante distintos ensayos Becerra *et al.* (2018) registran un mayor éxito de la reforestación en el bosque esclerófilo, a través, del establecimiento de plantaciones por sobre la implementación de siembra directa. Por lo que, si la determinación de aplicación de una estrategia dependiera solo del nivel de éxito, probablemente la mejor opción sería la plantación, pero los autores señalan que aspectos como no aplicar tratamientos pregerminativos al material vegetal podría haber influido en los resultados, aumentando la proporción de germinación y reclutamiento a partir de siembra directa. Además, es importante señalar que en dicho estudio no se aplicó ningún tipo de tratamiento paralelo, ya sea mejora del sustrato, aplicación de riego u otro.

Vita (1966), estableció ensayos de siembra directa con especies del bosque esclerófilo en la Quebrada la Plata. En este ensayo se evaluó el efecto de la especie, la profundidad del suelo y la presencia de vegetación del lugar en contraposición a sectores sin vegetación, sobre la sobrevivencia de los individuos. En general, la especie con mejor desempeño fue *Cryptocarya alba*, lo cual se asocia principalmente a que dicha especie es de semilla grande. Paralelamente, a partir de estos ensayos se pudo determinar que el establecimiento de la siembra directa a principios de primavera (como suele realizarse en vivero) no evidenció porcentajes significativos de germinación, debido a que para la fecha de siembra los individuos no cuentan con un sistema radicular desarrollado que pueda aprovechar la disponibilidad del recurso que se da a partir de las lluvias producidas en invierno. Al realizar la siembra durante el mes de mayo se produjeron mejores resultados, ya que así las plántulas tienen oportunidad de desarrollar su sistema radicular durante el periodo húmedo. Además, en el ensayo se pudo observar que los individuos de *Cryptocarya alba* que se dispusieron en casillas próximas a ejemplares de la vegetación presente en el lugar, mostraron mejores niveles de desarrollo en comparación con los individuos que se

posicionaron en lugares más desprotegidos. Considerando lo antes mencionado, se puede reafirmar lo determinante que es el recurso hídrico y las condiciones del sitio en la sobrevivencia y desarrollo de los individuos.

Actualmente no se evidencia una recuperación natural en la vegetación de la zona centro de Chile. Es por esto, que se necesita la aplicación de medidas para la restauración de este tipo de vegetación, ya sea a través de estrategias pasivas o activas, pero con mayor énfasis en estas últimas, más aún, si se trata de áreas que se encuentren desprovistas de cobertura vegetal. Dichas acciones deben incluir una regeneración a partir de reproducción sexual si se busca una recuperación de la cubierta leñosa (Becerra *et al.*, 2018).

1.4 Factores limitantes

1.4.1 Estrés hídrico

La sobrevivencia de plantas en terreno está fuertemente condicionada por el estrés hídrico, donde se observa que un aumento en las precipitaciones influye en el aumento de la sobrevivencia de los individuos, lo que depende en medida de factores como la especie evaluada (Fuentes *et al.*, 1983). En regiones con climas de tipo Mediterráneo, se considera que la mayor limitante para el establecimiento de procesos de restauración y regeneración natural corresponde a el estrés hídrico que suele producirse en estas zonas (Rey-Benayas *et al.*, 2012). De esta forma, las condiciones presentes en el sitio que propician la disponibilidad de agua en las fases de germinación y establecimiento de los individuos se relacionan directamente con el éxito en la siembra directa (Laman, 1995). No obstante, el establecer sistemas de riego implica un mayor costo agregado y aspectos de logística (Becerra *et al.*, 2018).

1.4.2 Sombra

La presencia de sombra producida por plantas o elementos artificiales reduciría el estrés hídrico en plantaciones debido a un mejoramiento en la disponibilidad de agua que produce la presencia de este factor (Holmgren, 2002). Esto se debe principalmente a que la sombra disminuye la temperatura, transpiración de las plantas y evaporación del agua, lo que mejora la sobrevivencia y crecimiento a través de la reducción en el estrés hídrico (Hastwell y Facelli, 2003). A partir de un ensayo de plantación en núcleo con especies nativas realizado en la Comuna de Colina, se pudo evidenciar que tanto el crecimiento inicial como la sobrevivencia sobre las especies, presentaban un aumento al utilizar sombra artificial con malla raschel con un 70% de cobertura (Bravo, 2021). Esta respuesta positiva de los individuos frente a la aplicación de malla raschel en los ensayos realizados se debe a una disminución de la fotoinhibición que se produce por la carga de energía lumínica en

horas donde la incidencia de la radiación solar es mayor, favoreciendo el incremento en la longitud de la parte aérea del individuo (Queupil, 2021).

1.4.3 Depredación

Estudios que han evaluado la influencia de la herbivoría producida por conejos y ganado sobre especies esclerófilas en Chile central indican que este factor es determinante en la sobrevivencia de plantas al momento de realizar estrategias de tipo activas (Fuentes *et al.*, 1983). En programas de siembra directa, se observa que la depredación es una de las razones más influyentes en pérdidas y bajos rangos de establecimiento, debido a lo expuesto que se encuentra el material, lo que facilita la acción de vertebrados (Caccia y Ballaré, 1998). Por lo tanto, al desarrollar cualquier plan de reforestación en la zona se debiera considerar la aplicación de protección contra conejos y ganado principalmente (Becerra *et al.*, 2018).

Considerando la escasez de antecedentes obtenidos a partir de ensayos de siembra directa, principalmente de la zona semiárida del país, y los factores limitantes mencionados anteriormente; que influyen de forma negativa en la regeneración de las especies nativas, se propone en este estudio, realizar la evaluación y procesamiento de datos que forman parte del proyecto “Gestión de Recursos Fitogenéticos” desarrollado entre la Universidad de Chile y Anglo American Operación Los Bronces, el cual se llevó a cabo entre los años 2018 y 2019, que consta de dos ensayos de siembra directa desarrollados en el área Las Tórtolas, Comuna de Colina. El primero de estos fue instalado el año 2018, donde se incluyó material vegetal de distintas procedencias y la utilización de tres métodos de protección (Convencional RFV, Alternativo 1, Alternativo 2) con tres tipos de porta siembra (Bolsa de papel con fibra de coco e hidrogel, bolsa de papel fibra de coco y sin porta siembra). Mientras que el segundo ensayo se instaló durante el año 2019, en el cual se evaluó la influencia de factores como la aplicación de micorriza comercial, procedencia del material vegetal y la especie sembrada. Esta metodología tiene el propósito de evaluar el efecto que tiene la incorporación de estos elementos en el éxito de supervivencia y reclutamiento de los individuos de distintas especies, mediante una mejora en el micrositio. A partir de los resultados se espera contribuir con nuevos antecedentes en la materia, a través del desarrollo de la investigación aplicada, junto con estrategias de reforestación del bosque esclerófilo.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar dos ensayos de siembra directa de especies nativas como método alternativo al establecimiento asistido de especies nativas del bosque esclerófilo en Las Tórtolas, Comuna de Colina, Región Metropolitana.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar el efecto combinado del origen geográfico, el tipo de protección contra herbivoría, y el tipo de porta siembra, sobre el establecimiento de *Acacia caven*, en el sector de Las Tórtolas, Región Metropolitana.
- Evaluar el efecto del origen geográfico y la aplicación de micorrizas comerciales a base del hongo arbuscular *Glomus intraradices* sobre el establecimiento de las especies *Acacia caven*, *Schinus polygamus*, *Quillaja saponaria* y *Prosopis chilensis* en el sector de Las Tórtolas, Región Metropolitana.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Material

2.1.1 Área de estudio

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo entre los años 2018 y 2019, en el área Las Tórtolas perteneciente a Anglo American S.A., que se encuentra en la Comuna de Colina, Provincia de Chacabuco, ubicado en el Valle Central de la Región Metropolitana a 30 km de distancia del norte de la ciudad de Santiago, de coordenadas $-33,127922$, $-70,729728$ aproximadamente.

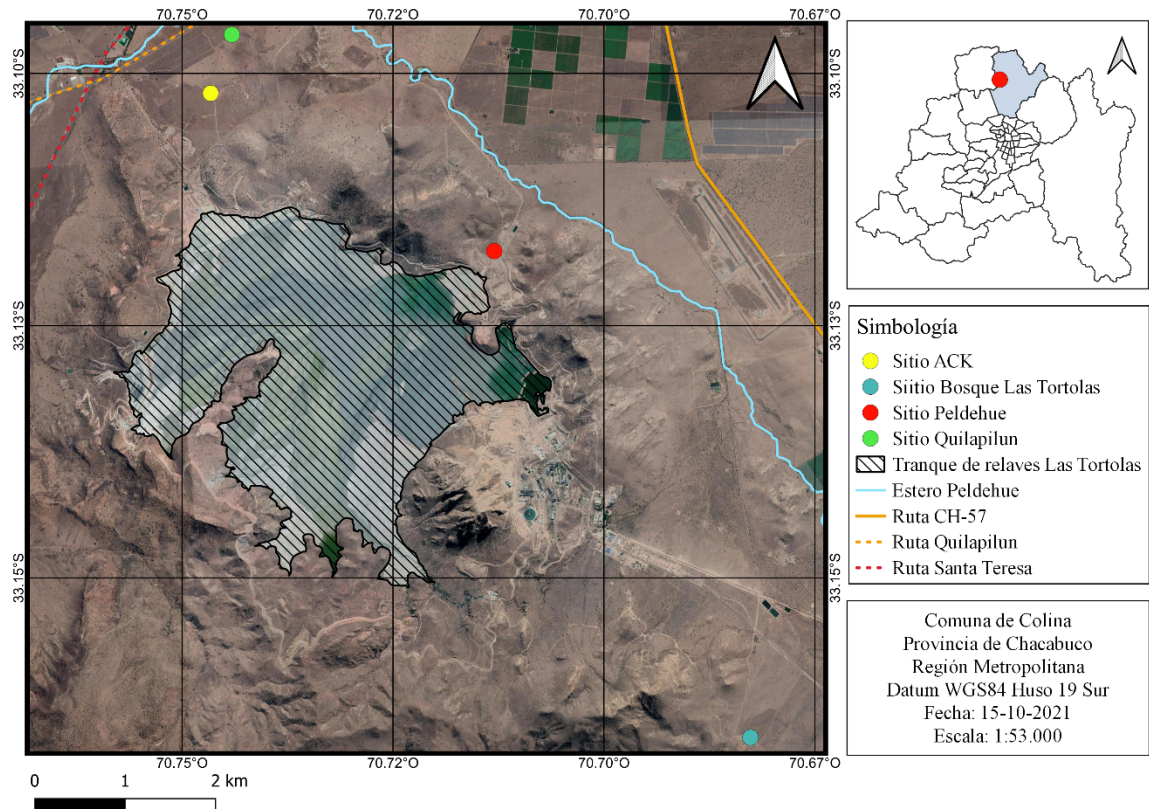


figura 1

Figura 1. Ubicación de los sectores donde se instalaron los ensayos A y B de siembra directa (año 2018 y 2019 respectivamente), por Anglo American, Operación los Bronces.

2.1.1.1 Clima

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito agroclimático 13-2 (Santiago) de la clasificación de Santibáñez (2017), donde predomina la influencia del tipo de clima

Templado cálido supreatermal con régimen de humedad semiárido (Csb2Sa). En este distrito la precipitación media anual es de 371 mm, mientras que el déficit hídrico es de 1.150 mm/año. El periodo seco durante el año es de ocho meses y el periodo húmedo es de dos meses, en dichos meses el excedente hídrico es de 48 mm (Santibáñez, 2017). Respecto al régimen térmico, en Las Tórtolas se presentan temperaturas que oscilan entre 31,3°C como máxima en el mes de enero y 4,4°C como mínima en el mes de julio, y una temperatura media anual de 14,8°C (Arcadis, 2006).

2.1.1.2 Vegetación

Según la clasificación de la vegetación natural de Chile establecida por Gajardo (1994) en la Comuna de Colina se desarrollan formaciones vegetales de, Matorral Espinoso de las Serranías, Bosque Espinoso Abierto, Bosque Esclerófilo de la Pre-Cordillera Andina y Estepa Altoandina de la Cordillera de Santiago, las cuales fueron determinadas a través de fotointerpretación satelital en el año 1996 (Ilustre Municipalidad de Colina, 2015).

2.1.1.3 Suelo

Debido a la posición geomorfológica y los materiales de formación, en la Comuna de Colina predominan los suelos franco-arcillosos y finos arcillosos. Los tipos de suelo en el lugar son descritos como homogéneos y con texturas superficiales predominantemente arcillosas en el piedmont. Hacia el oriente de la Comuna se presentan los mejores suelos del área ubicados en las terrazas del Río Colina, que ha originado suelos de drenaje relativamente bueno y con aptitud agrícola. Mientras que hacia el sur oeste de la zona se dan condiciones limitantes, donde el nivel freático superficial origina suelos salinos con mal drenaje (Castro, 2005).

2.1.2 Material vegetal utilizado en ensayos de siembra directa

Para simplificar el planteamiento de la metodología aplicada en el proyecto, en adelante se referirá al “Ensayo A” y “Ensayo B” para señalar los ensayos realizados durante el año 2018 y 2019, respectivamente.

El desarrollo del ensayo A y B, consideró la procedencia del material vegetal como variable en el análisis de los datos recopilados. Respecto a esto, el ensayo A contempló material vegetal de *Acacia caven* (espino) de cuatro procedencias: Altos de Cantillana (Región Metropolitana), Colina (Región Metropolitana), Illapel (Región de Coquimbo) y Navidad (Región de O’Higgins). Las semillas sembradas por procedencia en cada casilla (ver Figura 2) se determinó a través de un análisis de germinación que consistió en la escarificación al material vegetal mediante su inmersión en ácido sulfúrico (H₂SO₄). Donde semillas de las cuatro procedencias (Cantillana, Colina, Illapel y Navidad) fueron sumergidas en H₂SO₄ por distintos periodos de tiempo. A partir de este procedimiento se pudo evaluar la proporción de germinación en las semillas de espino según localidad.

Cuadro 1. Tratamiento de germinación y número de semillas de *Acacia caven* utilizadas en cada casilla por procedencia.

| Procedencia | Tratamiento | % Germinación | Semillas utilizadas |
|-------------|-------------------|---------------|---------------------|
| Cantillana | H2SO2 por 120 min | 96% | 11 |
| Colina | H2SO2 por 120 min | 91% | 11 |
| Illapel | H2SO2 por 90 min | 44% | 23 |
| Navidad | H2SO2 por 60 min | 75% | 13 |

Fuente: Universidad de Chile y Anglo American, Operación Los Bronces (2018).

El ensayo A se instaló el mes de septiembre del año 2018, en el cual solo se utilizaron semillas de *Acacia caven*. Este ensayo se dividió en dos experimentos (experimento N°1 y experimento N°2), en los cuales se evalúan distintos factores. Para el desarrollo del experimento N°1 solo se utiliza material vegetal proveniente de Colina, mientras que para el segundo experimento se utilizó material vegetal de todas las procedencias indicadas anteriormente (Cuadro 1).

El ensayo B se instaló el mes de agosto del año 2019, donde se utilizó material vegetal de distintas procedencias, al igual que en el ensayo A. Además, se evaluó el desempeño de cuatro especies nativas distintas: *Acacia caven* (espino), *Quillaja saponaria* (quillay), *Schinus polygamus* (huingán) y *Prosopis chilensis* (algarrobo).

2.2 Método

2.2.1 Descripción del ensayo A de siembra directa con cuatro procedencias de *Acacia caven*, tres porta-siembra y tres protectores contra herbivoría (2018)

El ensayo A consistió en dos experimentos. En el experimento N°1 se evaluaron tres tipos de protección contra la herbivoría (*Tree shelter*) y tres tipos de porta siembra. Mientras que en el experimento N°2 solo se evaluó la procedencia del material vegetal .

2.2.1.1 Factores evaluados en el experimento N°1, Ensayo A

Tipos de protector contra la herbivoría (*Tree shelter*), con los siguientes niveles (Figura 11):

- Convencional RFV: Protector plástico color verde de 20 cm de sección triangular y 80 cm de largo.
- Alternativo 1: Protector plástico pardo de 13 cm de sección cuadrada de lado y 60 cm de largo.

- Alternativo 2: Malla galvanizada cubierta de malla sombreadora de 70% de 30 cm diámetro y 60 cm de largo.

Tipos de porta siembra, con los siguientes niveles(Figura 12):

- Bolsa de papel con fibra de coco e hidrogel 50 g por 5 litros de agua.
- Bolsa de papel con fibra de coco.
- Convencional (semillas enterradas en el suelo entre uno y dos centímetros de profundidad, sin porta siembra).

2.2.1.2 Factor evaluado en el experimento N°2, Ensayo A

El segundo experimento tiene un diseño en que se contempla sólo un factor:

- Procedencias (cuatro niveles): Illapel, Colina, Cantillana, Navidad
- Para tal efecto se optó por el uso de un protector individual tipo Alternativo 2 (Factor fijo no sometido a prueba) y las semillas contenidas en porta siembra de bolsa papel con fibra de coco humectada e hidrogel.

Para optimizar recursos, el diseño final del ensayo A, que considera ambos experimentos que conforman dicho ensayo, queda como se observa a continuación (Figura 3).

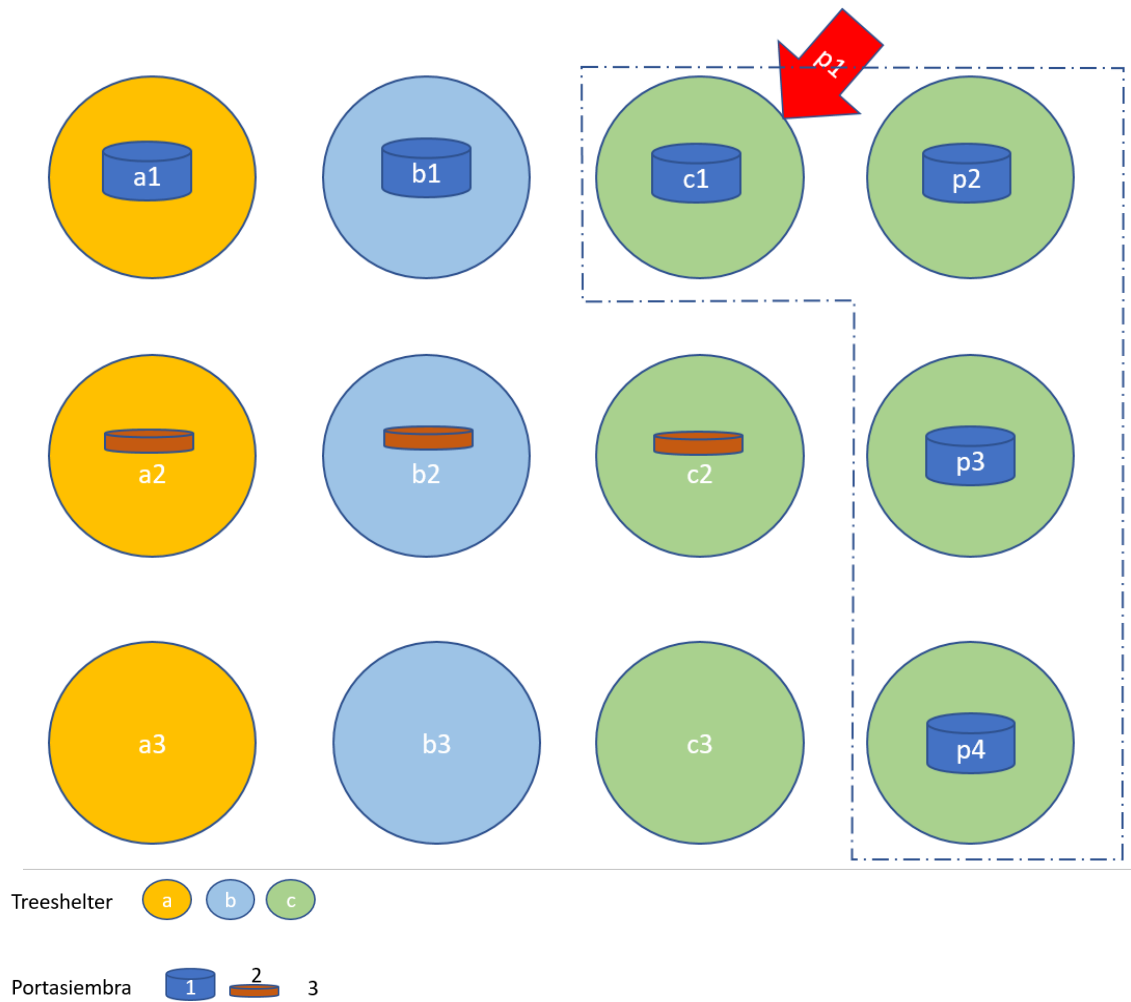


Figura 2. Diseño del experimento N°1 y N°2. Donde P1, P2, P3 y P4 corresponden a cada una de las procedencias.

El ensayo A se realizó en cinco sectores distribuidos en tres sitios distintos dentro del área que comprende Las Tórtolas. Dichos sectores corresponden a réplicas del ensayo, que se instalaron en: Bosque las Tórtolas, Quilapilún (Sector E2 y ACK), y Peldehue (2 sitios). Individualmente, cada casilla donde se procedió con la siembra tenía 30 cm de diámetro y 30 cm de profundidad de suelo mullido. Mientras que las enmiendas de cada casilla se componen de 200g de hidrogel y compost provisto por la empresa RFV. La instalación del sistema de protección se ubicó dentro de la casilla a 5 cm bajo la superficie del suelo para evitar el ingreso de conejos por la parte inferior de la protección. Posteriormente, se aplicó 10 gramos de compost a cada tratamiento y riego de establecimiento (2 litros de agua por tratamiento).

2.2.2 Descripción del ensayo B de siembra directa (2019)

En el segundo ensayo de siembra directa realizado el año 2019, al igual que en el primer experimento, se utilizó material vegetal de distintas procedencias. Esta variable, sumada a la experiencia del año anterior permitió la formulación del actual ensayo donde, además, se evaluó la siembra directa de cuatro especies nativas distintas: *Acacia caven* (espino), *Quillaja saponaria* (quillay), *Schinus polygamus* (huingán) y *Prosopis chilensis* (algarrobo). Para *Acacia caven* se dispuso de material vegetal procedente de Colina, Cantillana e Illapel. En el caso de *Schinus polygamus* las localidades de procedencia fueron Colina, Lagunillas y Punilla. Finalmente, para *Quillaja saponaria* material vegetal provenía de la localidad de Punilla.

El ensayo fue instalado en agosto (invierno) del año 2019 y no en otoño debido a que las actuales condiciones de sequía hacen que en dicha estación el suelo aun se encuentre muy seco para realizar la siembra. En esta instancia se evaluó la respuesta de cuatro especies bajo contextos de competencia individual e interacción con otras especies. A lo anterior se le integró la evaluación del efecto de micorriza comercial *Glomus intraradices* (MYCOSYM TRI-TON®)

Por lo tanto, los factores evaluados en el segundo ensayo son:

- Especie: *Acacia caven* (espino), *Schinus polygamus* (huingán), *Quillaja saponaria* (quillay), *Prosopis chilensis* (algarrobo) y dos mezclas de especies: Mix 1 (espino-quillay) y Mix 2 (espino -quillay-algarrobo).
- Incorporación de micorrizas: Con y sin micorriza comercial (*Glomus intraradices*)

En este ensayo se replicó la metodología implementada para cada casilla que se desarrolló en el primer ensayo, manteniendo las dimensiones de esta, con la aplicación de 1 L de compost y 150 g de hidrogel. El sistema de porta siembra utilizado en esta oportunidad es papel degradable, donde se mezcló 500 ml de fibra de coco y 50 ml de hidrogel, mientras que el protector usado es del tipo “Alternativo 2”. Para los casos donde se aplicó micorriza, se introdujo 2 g de esta en la porta siembra. La cantidad de semillas introducidas en cada porta siembra se hizo estimando que al menos 10 de estas germinaran en relación con el porcentaje de germinación calculado a partir del tratamiento de germinación. Finalmente, la distribución de este ensayo se realizó en tres sectores: ACK, Quilapilún y Peldehue.

2.3 Base de datos

Los datos utilizados para efectos del presente estudio contemplan la información de los ensayos desarrollados durante el año 2018 y 2019, los cuales fueron proporcionados por el

Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales (CESAF). Dichos datos son parte del proyecto “Gestión de Recursos Fitogenéticos” desarrollado entre la Universidad de Chile y AngloAmerican Operación Los Bronces, los cuales especifican el número de plántulas emergidas, porcentaje de germinación de las semillas y posterior sobrevivencia de los individuos obtenidos en el ensayo A (año 2018) y ensayo B (año 2019).

2.4 Análisis de los datos

A partir de la base de datos proporcionada, se procedió a establecer estadígrafos para detectar datos anómalos, los cuales fueron posteriormente analizados. El ensayo A (año 2018) se conformó por dos experimentos (experimento N°1 y N°2), el experimento N°1 corresponde a un diseño factorial de dos factores: protector contra la herbivoría (Treeshelter) x porta siembra, ambos factores tienen tres niveles (3x3), los cuales fueron especificados anteriormente (punto 2.2.1.1), por lo que a partir del ensayo se obtuvieron nueve combinaciones entre los factores analizados, lo que fue replicado en cinco sectores dentro del área de estudio. El diseño factorial es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \{i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, n\}$$

Donde Y corresponde a la variable respuesta, mientras que μ es la media global, la cual se encuentra influida por el factor α (Treeshelter), el factor β (porta siembra) y por la interacción producida entre ambos factores.

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para evaluar el efecto de los dos factores y su interacción con un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$. Si el modelo no cumplía con los supuestos de ANDEVA, se realizan pruebas no paramétricas. En caso de que se detectaran diferencias significativas se realizó el test de rango múltiple de la diferencia mínima significativa de Fischer. El experimento N°2, corresponde a un ANDEVA de una vía donde se probó el efecto de la procedencia de semillas (4 procedencias).

En el ensayo B (2019) se probó el efecto de especies sembradas individualmente y en mezcla: *Acacia caven* (espino), *Schinus polygamus* (huingán), *Quillaja saponaria* (quillay), mezcla 1 y mezcla 2. Lo anterior como un mismo factor con seis niveles. Además, se probó el efecto de la incorporación de micorrizas: Con y sin micorriza comercial (*Glomus intraradices*). El ensayo se repitió en tres sectores dentro del área de estudio de las Tórtolas. Para analizar los datos y debido al bajo número de repeticiones en relación con el número de tratamientos, se utilizó dos ANDEVA de una vía, uno para probar el efecto de las especies y otro para determinar el efecto de la aplicación de micorriza al momento de la siembra.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ensayo A. Siembra directa *Acacia caven*

El levantamiento de los datos correspondientes al experimento N°1 y N°2 del ensayo A se realizó en cuatro oportunidades de forma simultánea para ambos experimentos. En noviembre de 2018, junio y diciembre de 2019 y finalmente en abril de 2021. A partir de la información obtenida se procedió con la evaluación de los factores “Protector” y “Porta siembra” correspondiente al experimento N°1 y el factor “Procedencia” correspondiente al experimento N°2.

3.1.1 Experimento N°1

El constante monitoreo de los experimentos permitió evaluar el efecto de los factores de interés sobre la emergencia y sobrevivencia de los individuos en el establecimiento de estos y a través del tiempo.

La información de la primera (noviembre de 2018), segunda (junio de 2019) y cuarta (abril de 2021) medición del experimento fue sometida a un análisis de varianza (ANDEVA) el cual posee una estructura factorial de dos factores. Donde los factores protector y porta siembra corresponden a los objetos de comparación dentro del análisis, mientras que la emergencia de las plántulas es la variable respuesta o dependiente a la influencia de dichos tratamientos. Los sitios donde se realizó el experimento corresponden a repeticiones.

En la primera medición del experimento N°1 (noviembre de 2018) se registró que, de las 495 semillas sembradas, 281 plántulas habían emergido desde el mes de septiembre del mismo año en que se realizó la siembra (ver Cuadro 10 en apéndices), las cuales se desarrollaron bajo distintos protectores y porta siembra, en cinco sitios dentro del área de estudio.

Cuadro 2. Análisis de varianza de los factores protector y porta siembra, y su interacción en respuesta a la emergencia de las plántulas de *Acacia caven*, primera fecha de medición.

| Fuentes de variación | p-valor |
|---------------------------|---------|
| Protector | 0,0241 |
| Porta siembra | 0,0083 |
| Repeticiones | 0,0541 |
| Protector x Porta siembra | 0,4832 |

El p-valor de cada fuente de variación entregado por el ANDEVA sugiere que para aquellos que posean un valor menor al nivel de significancia asignado ($p=0,05$), se rechaza la hipótesis nula que indica una igualdad entre las medias de cada nivel en los factores, ya que estadísticamente existen diferencias significativas entre estos sobre la variable emergencia de las plántulas. Por lo tanto, los factores con un efecto significativo sobre la emergencia de las plántulas corresponden al protector y porta siembra, mientras que la interacción entre estos no posee un efecto significativo sobre dicha variable.

Posterior al análisis de varianza se realizó el test de rango múltiple de la diferencia mínima significativa de Fischer (LSD Fischer) como método de comparación sobre los factores protector y porta siembra.

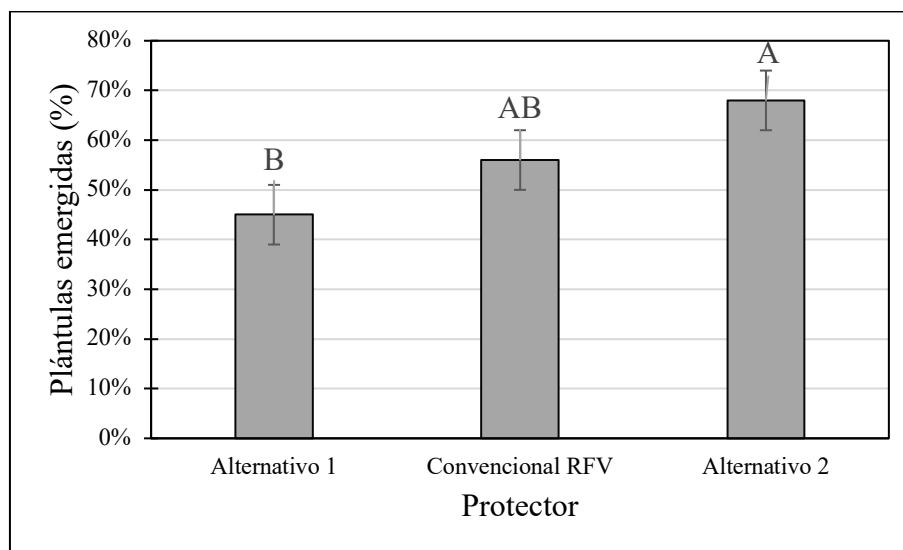


Figura 3. Porcentaje de plántulas de *Acacia caven* emergidas en función del protector y barras de error estándar (+/-).

El factor protector es significativo sobre la emergencia de las plántulas de espinos. De los tres métodos utilizados los que presentaron mayor éxito sobre esta variable fueron el protector “Alternativo 2” (malla galvanizada cubierta de malla sombreadora) y el protector “Convencional RFV” (protector plástico color verde). Por otro lado, el protector “Alternativo 1” (protector plástico pardo) obtuvo el menor éxito sobre la emergencia de las plántulas de los tres métodos de protección considerados en el análisis. Estadísticamente el protector “Convencional RFV” no presentó diferencias significativas en relación con los otros dos, ubicándose en un punto intermedio de rendimiento respecto a los dos extremos resultantes del resto de los métodos. De esta forma la elección del mejor tratamiento podría estar influenciada por aspectos externos al análisis, como aspectos operacionales o financieros, ya que en campo el protector “Alternativo 2” y “Convencional RFV” presentan rendimientos estadísticamente similares.

Considerando que las principales limitantes en el establecimiento de especies del bosque esclerófilo están dadas por las condiciones climáticas y sequía producida en el periodo estival, y la herbivoría. El hecho de que los protectores aminoren algunos factores producidos por el clima y brinden protección a la semilla o plántula, puede corroborar que la protección si incide en la germinación de las especies.

Una serie de aspectos deben ser considerados en un programa de siembra directa para que este alcance un nivel de éxito, 1) calidad de la semilla y la especie; 2) época de la siembra; 3) condiciones del suelo y micrositio ;4) profundidad de la cubierta; 5) cubierta vegetal y 6) depredación de semillas. Dependiendo del caso, una combinación de estos factores resultaría determinante para superar con éxito las etapas principales en establecimiento del material sembrado, las cuales corresponden a la germinación, establecimiento durante la primera temporada y la supervivencia (Grossnickle y Ivetić, 2017). Bajo este contexto, la incorporación de porta siembra y protección en la siembra directa podría significar una mejora en las condiciones del suelo y micrositio, y una disminución en la depredación de las semillas.

Los métodos de protección han sido desarrollados con el objetivo de superar las dificultades que presentan aspectos como el establecimiento, supervivencia y crecimiento en la reforestación de especies y así facilitar el logro de los objetivos propuestos (Navarro y Martínez, 1997). Tanto protectores plásticos como mallas han sido utilizadas bajo distintas condiciones climáticas para aminorar el efecto de factores como la herbivoría y condiciones micro climáticas que influyen en la sobrevivencia (Valenzuela *et al.*, 2018). Respecto al factor herbivoría, las semillas que son sembradas en el campo se encuentran expuestas a roedores, insectos y enfermedades, lo que puede afectar las tasas de establecimiento, ya que la actividad de los depredadores es una de las razones principales de pérdidas en los programas de siembra directa (Caccia y Ballaré, 1998). Tratándose de condiciones micro climáticas, el interior de los protectores o tubos protectores se caracteriza por presentar mayor temperatura y humedad relativa, disminución en la incidencia de la luz y una reducción en la desecación por movimiento del aire (Navarro y Martínez, 1997). Aminorando el efecto extremo de algunos sitios utilizados en la restauración que suelen presentar un alto nivel de exposición, amplio rango de temperaturas y una mayor demanda evaporativa, lo que eventualmente podría generar un estrés sobre la planta (Grossnickle, 2000). Aunque, actualmente las respuestas ecofisiológicas relacionadas a las condiciones de sitio dadas bajo la protección no han sido lo suficientemente estudiadas (Valenzuela *et al.*, 2018).

Los tipos de porta siembra evaluados en el ensayo, aparte de la siembra convencional (sustrato natural), están compuestos por fibra de coco y fibra de coco con hidrogel. Respecto al efecto que poseen estos materiales sobre el desarrollo de los individuos se pueden mencionar los siguientes aspectos.

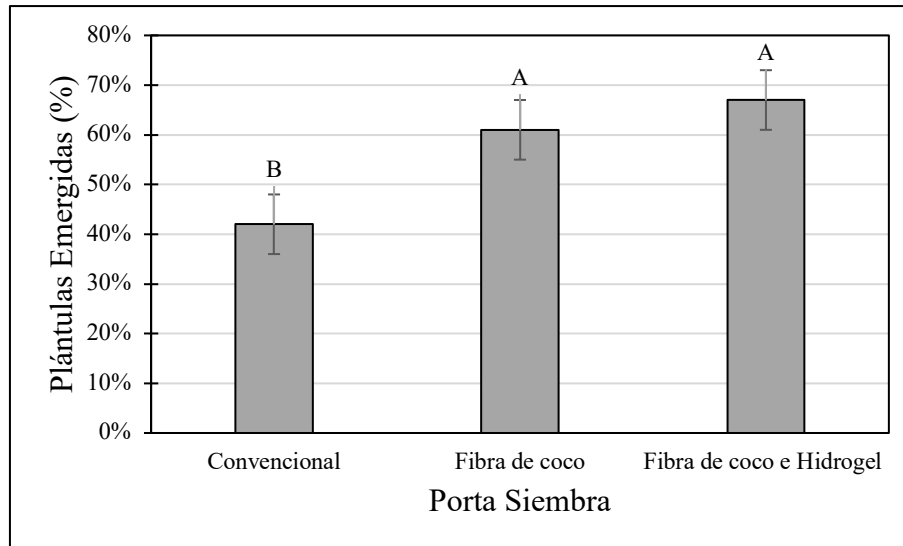


Figura 4. Porcentaje de plántulas de *Acacia caven* emergidas en función del tipo de Porta siembra y barras de error estándar (+/-).

El sistema de porta siembra, al igual que el protector resultó ser significativo sobre la emergencia de las plántulas de la especie, donde el porta siembra compuesto por fibra de coco e hidrogel contribuyó en mayor medida sobre esta variable, mientras que el porta siembra compuesto únicamente de fibra de coco presentó una proporción menor, por lo tanto, la siembra convencional fue la con menor influencia sobre el éxito en la emergencia de las plántulas. Estadísticamente la fibra de coco e hidrogel y fibra de coco no presentaron diferencias significativas entre ellos, por lo que, en términos de rendimiento, ambos son recomendables para su aplicación.

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de los datos del primer muestreo, se puede señalar que tanto la fibra de coco como el hidrogel poseen características particulares que hacen que la incorporación de ambos elementos en el porta siembra sea beneficiosa para la germinación de la semilla. A partir de esta afirmación se pueden señalar resultados obtenidos por distintos autores, los cuales indican que en experimentos realizados con especies mediterráneas la incorporación de hidrogeles en distintos tipos de sustrato tiende a aumentar la sobrevivencia y la proporción de biomasa. Luego de 13 meses la sobrevivencia de individuos de la especie *Quercus suber* plantados en sustrato mezclado con un 1,5% de hidrogel resultó ser un 20% mayor respecto a las plántulas desarrolladas en el sustrato control (Chirino *et al.* 2009). Sarvas *et al.* (2007), luego de la incorporación de hidrogel evidenciaron un 19% más de sobrevivencia a lo largo de dos periodos vegetativos en individuos de *Pinus sylvestris* L. plantados en sitios degradados y de condiciones ambientales extremas. Ya que la disponibilidad de agua en el suelo es esencial en la germinación de las semillas, la utilización de hidrogeles y porta siembra que mejoren las condiciones del suelo y aumenten la disponibilidad de agua, podría crear condiciones del micrositio favorables para la germinación de las semillas, lo que coincide con el hecho de que el tipo de porta siembra que contiene hidrogel haya tenido un efecto significativo sobre esta variable en el análisis.

Al referirse particularmente sobre el efecto que posee la aplicación de hidrogel en el ensayo, se puede mencionar que el éxito en la siembra directa está dado en primer lugar por las condiciones del sitio que aseguran la disponibilidad de agua durante las fases de germinación de la semilla y establecimiento (Laman, 1995). Mientras que la disponibilidad de agua en el suelo se ve influenciado por el tipo de suelo donde se realizó la siembra (Riley, 1973). Para obtener un aumento en la germinación se deben considerar ciertas condiciones dadas en la siembra y el tipo de semilla. Las semillas presentan diferentes tasas de germinación dependiendo de la especie, dicho porcentaje puede aumentar con el uso de hidrogeles, más aún en ambientes áridos y semiáridos (Woodhouse y Johnson, 1991), ya que estos son polímeros sintéticos que tienen la propiedad de retener agua en importantes cantidades aumentando su volumen, los cuales poseen una forma elástica y blanda que no se disuelve. Estas características permiten una optimización en la disponibilidad del agua, reduciendo las pérdidas provocadas por procesos como la infiltración y lixiviación de nutrientes, además, mejora la aireación y drenaje de los suelos, lo que permite un óptimo desarrollo del sistema radicular y parte aérea de los individuos (González, 2007). Los geles en suelos saturados permanecen sin modificaciones, mientras que en suelos secos estos ceden el agua que contienen pasando a ser parte en el contenido de agua del suelo (Darío y Mesías, 2016). Esta propiedad puede mejorar la capacidad que posee el suelo para retener agua, de esta forma el agua ya sea proveniente del riego o lluvia puede ser mejor aprovechada, ya que esta no se perderá tan fácilmente por evaporación o filtración, permitiendo que el suelo sea más productivo, influyendo directamente sobre el desarrollo de las plantas. Un buen empleo del hidrogel en campo puede ser muy beneficioso, ya que la retención del agua en el suelo se prolonga, por lo que la planta dispone de la humedad que requiere para su desarrollo, siendo liberada del estrés hídrico que se produce en periodos de sequía y evitando pérdidas económicas (González, 2007).

El uso de hidrogeles se ha implementado en procesos de recuperación de terrenos que han sido abandonados o son poco fértiles, de forma que aporten una reserva de agua en las primeras fases del establecimiento en la reforestación (González, 2007). La aplicación de polímeros sintéticos al momento de siembra es de utilidad para proteger las raíces de los individuos debido a su gran capacidad de retención de agua (Johnson y Leah, 1990). Lo que propicia una disminución en la frecuencia de riegos (González, 2007). A la estructura del hidrogel se le suele incorporar fertilizantes. Estos productos químicos son liberados paulatinamente sin ser lixiviados o lavados, generando un ahorro y una disminución en la contaminación (Rojas *et al.*, 2006).

Respecto al tipo de sustrato utilizado en el portasiembra se pueden mencionar los resultados obtenidos a partir de un ensayo de plantaciones en núcleo, donde se utilizaron especies del bosque esclerófilo. En este experimento la mayor proporción en la sobrevivencia de los individuos se presentó en las plantaciones donde se utilizó un mantillo de fibra de coco junto con malla sombreadora. Particularmente, el uso de fibra de coco en el sustrato tuvo efectos significativos sobre las variables DAC y altura de los individuos plantados (Bravo, 2021). Esta respuesta positiva frente a la incorporación de fibra de coco en el sustrato se debe a que cuando hay baja capacidad de retención de humedad o pobre aireación, se

suelen utilizar enmiendas que tengan la capacidad de crear mejores condiciones físicas para los individuos. Estos compuestos son denominados sustratos, que pueden ser de origen orgánico o inorgánico y que poseen la capacidad de aislar y crear ambientes favorables para las plantas. Se recomienda que la aplicación de estos se realice en las primeras etapas de desarrollo de las plantas. Además, las enmiendas proporcionan beneficios mayores en relación con el suelo natural, debido a que otorgan protección al sistema radicular, un correcto anclaje y aumento en la hidratación del individuo debido a una mayor retención de agua (Simfruit, 2019). De esta forma, la fibra de coco utilizada en el experimento corresponde a un residuo obtenido a partir de la cáscara del fruto y que destaca por propiciar una mayor retención de humedad y aireación como sustrato para el crecimiento de plantas.

La velocidad en la germinación y la latencia de las semillas es un factor que también afecta sobre la tasa de establecimiento de plántulas en la siembra (Grossnickle y Ivetić, 2017). Donde influyen aspectos como la biología de la semilla (Löf *et al.*, 2004) o las condiciones del ambiente (Petursson y Sigurgeirsson, 2004). Dependiendo del tipo de latencia, se puede esperar que semillas con una latencia débil y que hayan sido sembradas en primavera puedan emerger luego de un par de meses, mientras que las especies con una latencia profunda podrían tardar hasta un año luego de haber estado expuestas a las condiciones del sitio por un largo periodo (Frochot *et al.*, 2009). Una latencia profunda implicaría la aplicación de pretratamientos en las semillas antes de ser sembradas (Schmidt, 2008), debido a que una demora en la germinación implica el control extendido de factores como la depredación en sitios de restauración, por lo que es necesario tener conocimiento sobre la biología de la semilla en la planificación de los programas de siembra directa (Grossnickle y Ivetić, 2017).

En su mayoría, las semillas de especies del género *Acacia* poseen una cubierta impermeable al agua, lo cual provoca que la germinación de la semilla pueda ser prolongada por meses o años, por lo que la aplicación de algún tratamiento previo, como el usado en este experimento, aseguraría una alta proporción de germinación además de hacer que esta se efectúe de forma rápida y uniforme luego de haberse realizado la siembra (Doran *et al.*, 1983). *Acacia caven* es una especie que presenta una latencia física y se requiere de escarificación ácida para poder desactivarla (Cabello y Alvear, 1991), y con la cual se puede realizar siembra directa, si se consideran aspectos como la época de siembra y el tratamiento pregerminativo, esto aseguraría la germinación de la semilla y el establecimiento inicial de la plántula. Respecto a esto, los autores indican que un pretratamiento del material vegetal con ácido sulfúrico mantiene la semilla inactiva hasta que las condiciones de humedad del suelo sean las apropiadas para la germinación (Serra, 1997; Benedetti, 2012). Dependiendo de las condiciones del sitio, se puede evaluar la incorporación de polímeros como gel en polvo (2-3gr) y riego de establecimiento (5Lts) en cada casilla (Valdebenito *et al.*, 1999; Benedetti, 2012). A estas consideraciones se suma la incorporación de cercas o de protección individual que evite el ingreso de animales o el ataque de conejos y liebres (Serra, 1997; Benedetti 2012).

Lo señalado por los autores concuerda con la metodología aplicada en el establecimiento del ensayo de siembra directa para espino, ya que se busca obtener el mayor éxito de en la germinación como primera etapa dentro del desarrollo de los individuos en el ensayo de siembra directa.

La segunda medición del experimento (junio de 2019), realizada siete meses después de la primera medición proporcionó información respecto a la sobrevivencia de los individuos de espino (ver Cuadro 11 en apéndices), la cual considera la influencia de los mismos factores y sitios para efectos del análisis de varianza.

Cuadro 3. Análisis de varianza de los factores protector y porta siembra, y su interacción en respuesta a la emergencia de las plántulas de *Acacia caven*, segunda fecha de medición.

| Factores | p-valor |
|---------------------------|---------|
| Protector | 0,0001 |
| Porta siembra | 0,0063 |
| Repeticiones | 0,1750 |
| Protector x Porta Siembra | 0,0886 |

Al igual que en el primer análisis, el factor protector y porta siembra poseen un efecto significativo ($p \leq 0,05$) en la sobrevivencia de los individuos sembrados, no así la interacción entre estos. Por lo que ambos factores presentan diferencias significativas entre las medias de cada nivel que los componen.

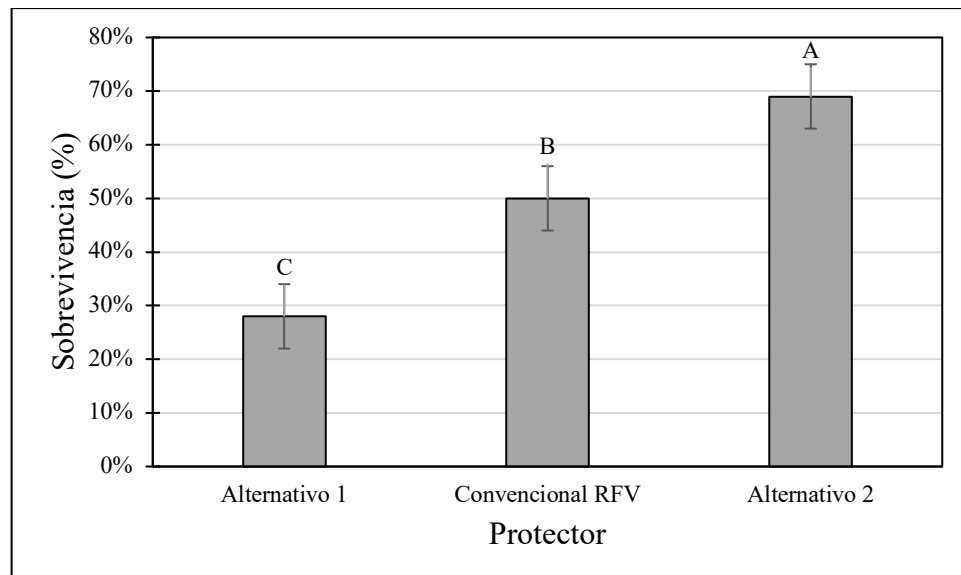


Figura 5. Porcentaje de la sobrevivencia de individuos de *Acacia caven* en función del protector y barras de error estándar (+/-).

Si bien, la distribución que presentan los distintos protectores sobre la variable sobrevivencia es similar a la evaluada para la emergencia de las plántulas, en esta oportunidad se presentan diferencias en la interpretación de los resultados. El protector que presenta mayor éxito sobre la variable sigue siendo el “Alternativo 2”, mientras que el “Convencional RFV” y “Alternativo 1” le siguen en orden de importancia. Estadísticamente el protector “Convencional RFV” deja de presentar una significancia similar a la de “Alternativo 2”, lo que demuestra que durante el transcurso del tiempo este método presenta una disminución en la influencia de la sobrevivencia de los individuos, y a su vez se diferencia al rendimiento entregado por el protector “Alternativo 1”, de menor desempeño. Lo anterior se puede explicar debido a que el protector Alternativo 2 se compone de una malla sombreadora lo que permite una protección de la radiación solar directa en todas las horas del día, además de la constante ventilación que se produce debido a la permeabilidad del material, lo que favorece una estabilidad en el rango de variación de las temperaturas dentro del protector. Esto se asemeja a lo observado por Bellot *et al.* (2002), donde la aplicación de protectores en áreas mediterráneas semiáridas demostró reducir entre un 70 y 80% de la radiación total tanto en verano como en otoño. También se observó una reducción en las temperaturas de hasta 5°C, lo que genera un efecto positivo sobre la planta. Este tipo de efecto se produjo con la implementación de un sistema de protección con ventilación a lo largo de toda la longitud del protector.

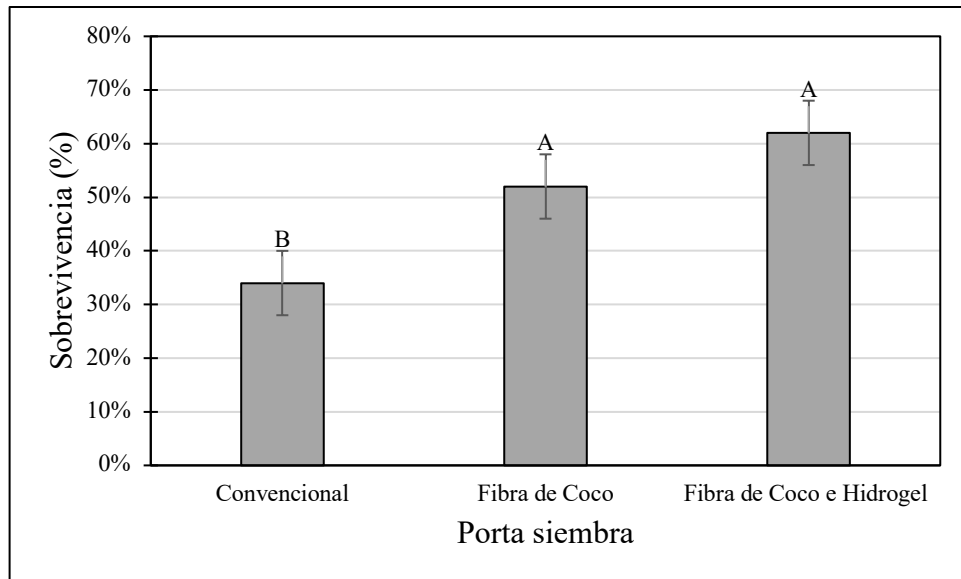


Figura 6. Porcentaje de la sobrevivencia de individuos de *Acacia caven* emergidas en función del tipo de Porta siembra y barras de error estándar (+/-).

De acuerdo al tipo de porta siembra, en la segunda medición realizada se puede observar que estadísticamente el rendimiento de los distintos métodos presenta una distribución y significancia similar a la obtenida a partir del primer análisis, ya que tanto la fibra de coco con hidrogel como la fibra de coco por si sola son evaluadas con un mismo nivel de influencia sobre la variable (A), mientras que la siembra directa sin porta siembra, continúa presentando el menor nivel de éxito sobre la sobrevivencia de los individuos.

Los datos recopilados en la última medición del ensayo (abril 2021) (ver Cuadro 12 en apéndices) son los últimos en ser sometidos a un análisis de varianza.

Cuadro 4. Análisis de varianza de los factores protector y porta siembra, y su interacción en respuesta a la emergencia de las plántulas de *Acacia caven*, cuarta fecha de medición.

| Factores | p-valor |
|--------------------------|---------|
| Protector | <0,0001 |
| Porta siembra | 0,1200 |
| Repeticiones | 0,0185 |
| Protector: Porta Siembra | 0,1183 |

Para la cuarta fecha de medición del experimento, se puede determinar que el protector mantiene un efecto significativo sobre la sobrevivencia, mientras que el porta siembra deja de tener efecto sobre la variable. El efecto combinado de ambos factores tampoco presenta un nivel de significancia aceptable.

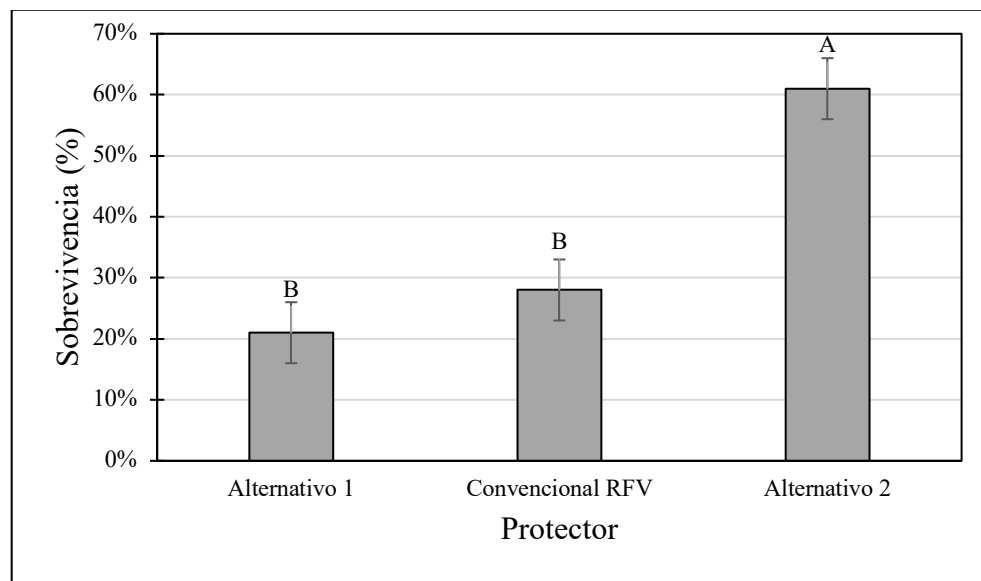


Figura 7. Porcentaje de la sobrevivencia de individuos de *Acacia caven* en función del protector y barras de error estándar (+/-).

Luego de dos años aproximadamente, el protector sigue siendo un factor significativo sobre la sobrevivencia de los individuos. El efecto entre los distintos tipos de protectores indica que a la fecha “Alternativo 2” continua presentando el mejor desempeño sobre esta variable, diferenciándose de “Convencional RFV”, con el cual presentaba igualdad de significancia hasta la segunda fecha analizada. En esta oportunidad el protector “Alternativo 1” y “Convencional RFV” poseen el mismo nivel de significancia, posicionándose como menos influyentes sobre la sobrevivencia de los individuos.

En la zona central de Chile el principal factor limitante en los procesos de restauración es el estrés hídrico. Bajo este contexto Becerra *et al.* (2018) han desarrollado estudios que evalúan el efecto de tratamientos de sombra con protectores sobre el estrés hídrico y la sobrevivencia de individuos de especies leñosas del bosque esclerófilo, donde los tratamientos con malla y de policarbonato produjeron un efecto positivo de forma independiente sobre la sobrevivencia en todas las especies estudiadas incluyendo a aquellas que son típicamente pioneras. Lo que coincide con el hecho de que para *Acacia caven*, la protección haya sido un factor significativo sobre la sobrevivencia en todos los monitoreos analizados del presente ensayo. Aunque algunas de las condiciones microclimáticas que se producen en el interior de los protectores durante el verano en zonas de clima mediterráneo alcanzan valores extremos como la temperatura, lo que puede afectar negativamente sobre el desarrollo de la planta (Dias *et al.*, 1992; Nicolás *et al.*, 1997). Frente a esto Nicolás *et al.* (1997), determinaron que el aumentar la ventilación dentro de los protectores mediante la apertura de agujeros en este, amortigua las condiciones microclimáticas extremas.

Los protectores “Alternativo 2” y “Convencional RFV”, presentaron rendimientos similares sobre la emergencia y sobrevivencia de las plántulas en los primeros monitoreos del ensayo, lo que se puede asociar a la serie de efectos de micrositio favorables que estos producen sobre los individuos y que han sido mencionados anteriormente. Esta condición de igualdad entre ambos protectores no se mantuvo en el tiempo, ya que “Convencional RFV” presentó una disminución en su efecto, esto puede haberse producido debido a que dicho protector está elaborado a partir de un material plástico, el cual no posee ningún tipo de ventilación en su estructura. Esta característica podría generar un aumento de la temperatura al interior y déficit de presión de vapor, sometiendo al individuo a condiciones estresantes. No así, el protector “Alternativo 2”, elaborado con malla galvanizada cubierta de malla sombreadora de 70%, ya que este tipo de materiales permiten que se produzca una constante ventilación dentro del protector sin perder el efecto de la sombra, la cual genera un efecto positivo sobre la sobrevivencia de los individuos mediante una reducción de la radiación incidente sobre este.

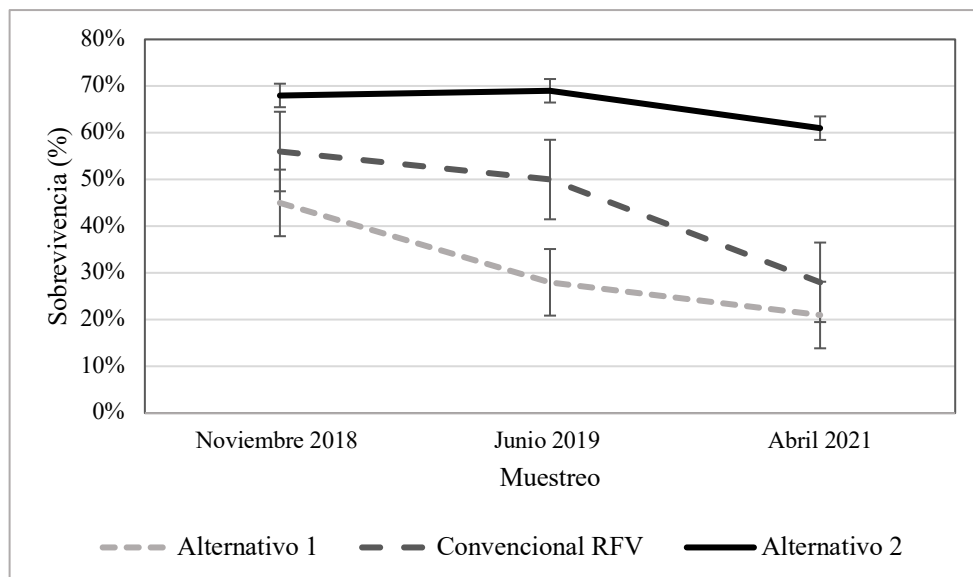


Figura 8. Porcentaje de la sobrevivencia de individuos de *Acacia caven* en función del tipo de protector en tres oportunidades de muestreo.

En la figura se observa el efecto de los tres protectores sobre la sobrevivencia de los individuos en las tres oportunidades de muestreo analizadas, donde "Alternativo 2" presenta el mejor rendimiento y un efecto sostenido sobre la variable a lo largo del tiempo, no así los protectores "Alternativo 1" y "Convencional RFV", los cuales resultan ser menos significativos en la sobrevivencia de las plantas y su efecto tiende a decaer en el tiempo.

3.1.2 Análisis de crecimiento y biomasa (experimento N°1)

En diciembre de 2019 el sitio "Peldehue 2", donde se instaló una de las repeticiones del ensayo A, se levantó para un análisis de la biomasa de los individuos. Las variables consideradas en este fueron, diámetro a la altura del cuello (DAC), altura, longitud de raíces, peso seco parte aérea (PSPA), peso seco parte radicular (PSPR), índice de esbeltez (IE), proporción tallo raíz, índice de Dickson. Las variables de clasificación aplicadas en el experimento N°1 y N°2 se mantuvieron para este análisis, por lo que se evaluó el efecto del protector y porta siembra sobre las variables respuesta mencionadas.

Cuadro 5. Promedio de las variables consideradas en el análisis de crecimiento y biomasa del experimento N°1 obtenidos a partir del tipo de protector y porta siembra en el sitio “Peldehue 2”.

| Variable | Protección | | | Porta siembra | | |
|--------------|------------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|-------------------|
| | Convencional RFV | Alternativo 1 | Alternativo 2 | Fibra de coco e Hidrogel | Fibra de coco | Sin porta siembra |
| DAC | 1,4 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,0 | 0,4 |
| Altura | 14,3 | 11,4 | 12,5 | 15,8 | 9,6 | 4,3 |
| Long. raíces | 15,9 | 11,5 | 13,9 | 17,6 | 9,8 | 4,7 |
| PSPA | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| PSPR | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,1 |
| IE | 6,0 | 4,9 | 5,9 | 7,5 | 3,9 | 1,7 |
| Tallo/Raíz | 0,8 | 0,5 | 1,3 | 1,1 | 0,8 | 0,3 |
| Dickson | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |

El análisis de crecimiento y biomasa solo se realizó en un sitio de los cinco que conforman el ensayo, el resto de las repeticiones se mantuvo para mantener el monitoreo de los experimentos N°1 y N°2. A partir del análisis, se pudo determinar que, tanto el protector como el porta siembra no tienen un efecto significativo sobre las variables. Además, dos de tres casillas que contaban con tipo de siembra directa sin porta siembra (convencional) no presentaron ni un individuo vivo para realizar las mediciones de las variables.

3.1.3 Experimento N°2

Paralelamente a la medición del experimento N°1 se tomaron los datos del experimento N°2, por lo que la información presentada a continuación proviene del mismo registro y coincide en las fechas de muestreo del punto anterior. Para el desarrollo de este experimento se sembraron 220 semillas de *Acacia caven* de cuatro procedencias distintas (Colina, Cantillana, Illapel y Navidad), en septiembre de 2018 (ver Cuadro 13 en apéndices).

El análisis de varianza utilizado para la información (Cuadro 6) posee una estructura de una vía. El factor de interés es la procedencia del material vegetal sobre la emergencia y sobrevivencia de los individuos de *Acacia caven* (variable dependiente). Los sitios donde se realizó el experimento corresponden a las repeticiones.

Cuadro 6. Análisis de varianza del factor procedencia en respuesta a la emergencia de las plántulas de *Acacia caven* en distintas oportunidades de muestreo.

| Fecha | Factores | |
|----------------|-------------|--------|
| | Procedencia | Sitio |
| Noviembre 2018 | <0,0001 | 0,0001 |
| Junio 2019 | 0,0690 | 0,0008 |
| Diciembre 2019 | 0,7063 | 0,0258 |
| Abril 2021 | 0,7161 | 0,0273 |

La procedencia de material vegetal presenta un valor de significancia menor al 5% para la primera oportunidad de muestreo, por lo que existe una diferencia entre las medias de cada nivel que compone al factor sobre la emergencia de las plántulas de espino. Esta diferencia significativa entre las medias no se mantuvo para las tres fechas restantes (Figura 9), por lo que la procedencia pierde efecto sobre la sobrevivencia con el transcurso del tiempo.

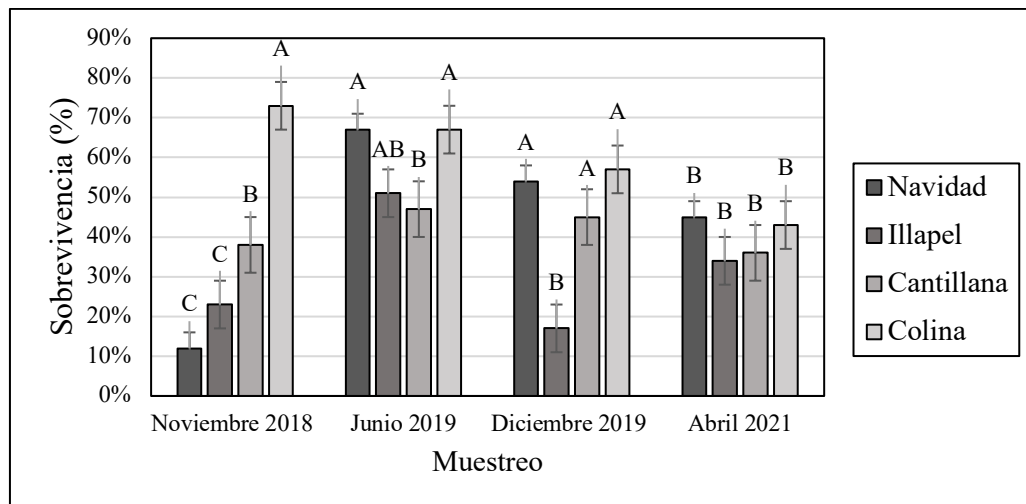


Figura 9. Porcentaje de plántulas de *Acacia caven* emergidas en función de la procedencia de la semilla y barras del error estándar (+/-) en distintas oportunidades de muestreo.

De las cuatro procedencias consideradas en el experimento, el material vegetal proveniente de Colina fue el que alcanzó una mayor proporción de emergencia en las primeras tres oportunidades de muestreo, por lo que es la procedencia con mayor nivel de éxito, lo que coincide con que esta sea local del área de estudio. En la primera fecha, Navidad presentó el rendimiento más bajo, pero desde la segunda fecha en adelante esta procedencia le sigue a Colina en el porcentaje de sobrevivencia de los individuos superándola en la última fecha de muestreo. Tanto Illapel como Cantillana, presentaron un nivel de significancia con mayor similitud entre sí, sin presentar mejores resultados que las dos procedencias antes mencionadas.

En las primeras dos fechas de medición produjo un efecto significativo de sitio sobre la sobrevivencia de los individuos, pero que en esta oportunidad no será analizado debido a la

falta de antecedentes respecto a las condiciones de cada sector en el que se instalaron las repeticiones del experimento.

La procedencia geográfica hace referencia al lugar específico donde se desarrollan los árboles o el lugar de origen las semillas. Este término por definición también podría referirse a un árbol padre individual. No obstante, la procedencia debiera utilizarse para referirse a una población de árboles que crecen en un determinado lugar, por lo que al seleccionar una procedencia se está seleccionando una localidad (Callaham, 1964). En el presente experimento se utilizó semillas provenientes de cuatro localidades (Cantillana, Colina, Illapel y Navidad). Desarrollar investigaciones sobre la procedencia tiene el objetivo de “*Definir los componentes genéticos y ambientales de la variabilidad fenotípica entre árboles de diferentes orígenes geográficos*” la cual involucra a aquellos estudios que se encuentren por encima del individuo y a su vez por debajo del nivel de la especie (Callaham, 1964). Los individuos de un bosque natural poseen un alto grado de adaptación al ambiente donde se desarrollan, la cual es transmitida a sus semillas por medio de mecanismos de herencia genética. A su vez, la distancia de dispersión de semillas desde los progenitores es relativamente limitada, por lo que el ambiente en el que estas germinan y se desarrollan es similar al de su origen. El que exista una diferencia entre las poblaciones de una especie que se encuentran en distintas regiones puede deberse a la modificación fenotípica que se produce como respuesta a las diversas condiciones edáficas y climáticas locales, este fenómeno se conoce como plasticidad fenotípica (Instituto Forestal, 2021). Por lo tanto, el que la procedencia “Colina” haya sido la con mejores resultados sobre la sobrevivencia de los individuos, es congruente con el hecho de que las semillas fueron sembradas en su lugar de procedencia.

En tierras semiáridas el suministro de humedad es deficiente, lo que implica problemas sobre el estudio de fuentes de semilla, ya que cambios ligeros en las condiciones del clima pueden ser críticos sobre los individuos que se desarrollan próximos al umbral de la supervivencia dado por las condiciones de las tierras semiáridas. Algo similar ocurre con el sitio, donde la relación entre la temperatura y humedad que induce a dicha aridez hace que la determinación de la ubicación de las áreas de estudio sea crítica, debido a que pequeños cambios en la topografía significa diferencias significativas sobre el clima y suelo (Callaham, 1964). Si bien, en el experimento se tomaron consideraciones como la aplicación de protección, porta siembra y riego asistido, el contexto en el que se estableció el ensayo presenta variables ambientales, como la temperatura y radicación, que alcanzan valores extremos dependiendo de la época del año, lo que puede haber influido sobre el hecho de que el factor procedencia haya perdido efecto sobre la sobrevivencia de los individuos desde la segunda fecha de muestreo en adelante, considerando que la procedencia es susceptible a las condiciones climáticas.

3.1.4 Análisis de crecimiento y biomasa (experimento N°2)

Al igual que en el experimento N°1, las casillas en el sitio “Peldehue 2” correspondientes al experimento N°2 fueron sometidas a un análisis de crecimiento y biomasa, donde se determinaron las variables de diámetro a la altura del cuello (DAC), altura, longitud de raíces, peso seco parte aérea (PSPA), peso seco parte radicular (PSPR), índice de esbeltez (IE), proporción tallo raíz e índice de Dickson al material vegetal desarrollado en el sitio. La variable de clasificación aplicada en este caso corresponde a la procedencia de la semilla.

Cuadro 7. Promedio de las variables consideradas en el análisis de crecimiento y biomasa del experimento N°2, por procedencia en el sitio “Peldehue 2”.

| Procedencia | DAC | Altura | Long. raíces | PSPA | PSPR | IE | Tallo/Raíz | Dickson |
|-------------|------|--------|--------------|------|------|-------|------------|---------|
| Colina | 1,79 | 24,21 | 28,71 | 0,50 | 0,25 | 13,36 | 2,31 | 0,05 |
| Cantillana | 1,90 | 18,90 | 19,00 | 0,24 | 0,15 | 10,40 | 2,40 | 0,04 |
| Navidad | 2,08 | 21,58 | 20,33 | 0,32 | 0,20 | 9,94 | 1,82 | 0,05 |
| Illapel | 2,13 | 28,88 | 24,75 | 0,71 | 0,35 | 13,59 | 2,66 | 0,06 |

Los datos del Cuadro 7 corresponden al promedio de las variables determinadas a partir de la biomasa desarrollada en el sitio “Peldehue 2”, ya que fue al único sitio que se le realizó el presente análisis. Debido a que la información recopilada solo corresponde a una repetición dentro del ensayo no es posible realizar un análisis de varianza para determinar el efecto que posee la procedencia sobre las variables de biomasa consideradas. Sin embargo, el material vegetal procedente de Illapel fue el que presentó los valores más altos en las variables DAC, altura, PSPA, PSPR, IE, tallo/raíz y Dickson.

3.2 Ensayo B. Siembra directa de cinco especies 2019

El Ensayo B se estableció en el mes de agosto del 2019, en los sectores ACK, Quilapilún y Peldehue, el cual fue monitoreado en tres oportunidades, octubre y diciembre de 2019, y abril de 2021. A partir de la información obtenida del levantamiento de datos se procedió con la evaluación de la especie y procedencia geográfica de la semilla, y el efecto de la incorporación de micorriza sobre la sobrevivencia de los individuos.

3.2.1 Efecto de las especies

En este análisis se evaluó el éxito en la sobrevivencia de los individuos de las especies *Acacia caven*, *Schinus polygamus*, *Quillaja saponaria*, *Prosopis chilensis* y dos mezclas de especies, Mix 1 (espino-quillay) y Mix 2 (espino -quillay-algarrobo), para así evaluar dicha

variable bajo condiciones de competencia individual y entre especies. Los datos obtenidos de los muestreos fueron sometidos a la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, ya que no se cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de los residuos.

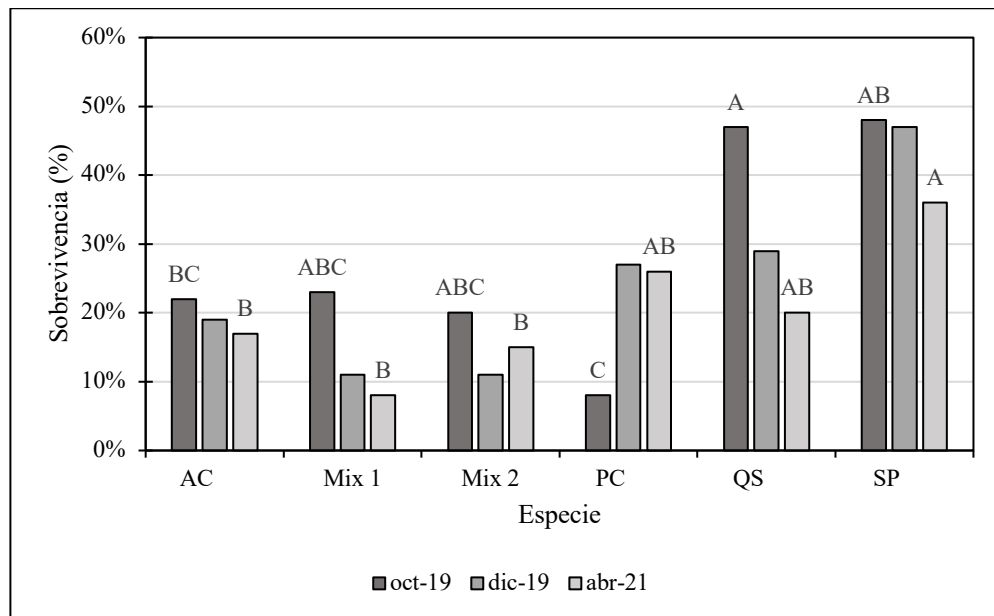


Figura 10. Sobrevivencia promedio de los individuos de *Acacia caven* (AC), *Prosopis chilensis* (PC), *Quillaja saponaria* (QS), *Schinus polygamus* (SP), Mix 1 y Mix 2, en tres oportunidades de monitoreo.

En el primer monitoreo (octubre 2019) el efecto de la especie resultó ser significativo sobre la sobrevivencia de los individuos, donde la especie con mejor desempeño corresponde a *Quillaja saponaria*, la cual obtuvo un mayor porcentaje de sobrevivencia en condiciones de competencia individual, mientras que la especie con peor desempeño en este contexto fue *Prosopis chilensis*. En diciembre de 2019 la especie no presentó efecto significativo sobre la variable sobrevivencia, pero para abril de 2021 la situación volvió a presentar efecto sobre dicha variable, siendo *Schinus polygamus* la especie con mayor proporción de sobrevivencia por sobre las otras especies, no así el Mix 1, el cual obtuvo mayor mortalidad en la última fecha de muestreo.

El efecto de la procedencia del material vegetal utilizado en el ensayo fue analizado solo para las especies *Acacia caven* y *Schinus polygamus*, debido a que solo estas especies cuentan con procedencias contrastantes para el análisis. Dichas procedencias corresponden a Cantillana, Colina e Illapel para espino, y Colina, Lagunillas y Punilla para huingán.

Cuadro 8. P-valor obtenido a partir de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis del factor procedencia sobre la variable sobrevivencia en individuos de *Acacia caven* y *Schinus polygamus* en tres oportunidades de muestreo.

| Fecha | <i>Acacia caven</i> | <i>Schinus polygamus</i> |
|----------------|----------------------------|---------------------------------|
| Octubre 2019 | 0,4437 | 0,0456 |
| Diciembre 2019 | 0,7141 | 0,2784 |
| Abril 2021 | 0,9841 | 0,1945 |

La procedencia de la semilla solo resultó ser significativa para *Schinus polygamus* en la primera fecha de muestreo, donde Colina y Lagunillas presentaron mayor sobrevivencia en los tres sectores donde se instaló el ensayo, no así Punilla, procedencia con menor proporción de sobrevivencia. En el caso de *A. caven* este resultado no concuerda con lo observado anteriormente en el punto 3.1.3, donde la procedencia tuvo efecto sobre la primera oportunidad de muestreo para esta especie, presentando un 37% de sobrevivencia en cada casilla relacionada a esta variable. Este resultado puede estar condicionado por factores como la calidad de la semilla, que independiente de la procedencia puede ser un elemento determinante en la proporción de germinación y sobrevivencia.

3.2.2 Efecto de micorriza *Glomus intraradices* sobre la sobrevivencia

El último factor analizado en el ensayo corresponde al efecto de *Glomus intraradices* en la sobrevivencia de las distintas especies ya mencionadas. Este análisis se llevó a cabo mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Cuadro 9. Análisis de varianza del factor micorriza sobre la sobrevivencia de las plántulas, con un nivel de significancia del 5%.

| Fecha | p-valor |
|----------------|----------------|
| Octubre 2019 | 0,6665 |
| Diciembre 2019 | 0,5345 |
| Abril 2021 | 0,737 |

Al evaluar la sobrevivencia de los individuos de las distintas especies consideradas en el ensayo, se pudo determinar que la incorporación de micorriza al momento de la siembra no tiene un efecto significativo sobre la emergencia de la semilla y sobrevivencia de los individuos en ninguna oportunidad de muestreo. Este resultado contrasta con antecedentes que destacan la importancia tendrían estas comunidades de microorganismos en el suelo, donde se señala que influirían en el éxito de establecimiento y/o crecimiento de las plantas y las comunidades (Van der Heijden *et al.*, 1998). Aunque, la función y estructura que las comunidades de microorganismos tienen en sitios restaurados y su importancia como indicador de éxito en programas de restauración, aún es un aspecto de lo que poco se sabe

(Fajardo et al., 2011). A estos microorganismos denominados hongos micorrícicos arbusculares se les asocia múltiples funciones en los ecosistemas, como la mejora en la salud y crecimiento de plantas, mediante la facilitación en la absorción de nutrientes y agua, y un aumento en la tolerancia al estrés hídrico (Barea *et al.*, 1991). La posible inoculación de estos hongos podría provocar una aceleración en la tasa de sucesión en ecosistemas por su efecto positivo sobre el suelo y las plantas (Janos, 1980). Debido a esta serie de beneficios es que hoy en día los hongos micorrícicos son considerados como un elemento crucial que contribuye en la restauración y recuperación de ecosistemas que se encuentran degradados.

4. CONCLUSIONES

A partir de la evaluación realizada sobre el efecto que tiene la aplicación de protección en la sobrevivencia de individuos de *Acacia caven*, se puede determinar que este factor influye sobre la emergencia y sobrevivencia en todas las oportunidades de monitoreo que se le realizaron al ensayo, esto se debe a que la implementación de protección proporciona condiciones microclimáticas favorables para el desarrollo de los individuos y limita el ataque de lagomorfos y roedores sobre las semillas o ejemplares. Donde el protector “Alternativo 2” fue el que obtuvo mejores rendimientos. Siguiéndole en orden de importancia “Convencional RFV” y “Alternativo 1”. Por lo que, la protección formada por malla galvanizada cubierta de malla sombreadora sería el más viable para ser aplicado en futuras instancias basado en el nivel de éxito que este obtuvo. Este tipo de protector proporciona protección contra la radiación del sol y a su vez permite una ventilación dentro del protector debido a la composición del material que lo cubre.

El porta siembra, demuestra ser relevante para *A. caven* en el inicio del ensayo, incidiendo de forma positiva principalmente en las etapas de germinación de las semillas, lo que se asocia al requerimiento de agua que estas demandan durante la germinación, el cual es propiciado por medio de crecimiento en el que se produce la emergencia, siendo la Fibra de coco con Hidrogel y Fibra de coco los sustratos con mayor sobrevivencia. La no inclusión de una porta siembra se encuentra en un extremo contrario de rendimiento, ya que en este se obtuvieron bajos niveles de germinación y sobrevivencia. Estos resultados contrastantes demuestran que las condiciones del suelo son determinantes en la sobrevivencia de los individuos. Sin embargo, este factor presenta una pérdida de importancia con el transcurso del tiempo, lo que indica que la importancia de este radica en la etapa de germinación.

La procedencia del material vegetal demostró ser influyente sobre el éxito de germinación de las semillas de espino, siendo la procedencia local (Colina) la con mayor proporción de germinación respecto a las otras procedencias (Cantillana, Illapel y Navidad). Sin embargo, este factor no resultó ser influyente en la sobrevivencia de *Acacia caven*.

Los factores, protección, porta siembra y procedencia del material vegetal no presentan un efecto significativo sobre variables de biomasa consideradas para el análisis (diámetro a la altura del cuello, altura, longitud de raíces, peso seco parte aérea, peso seco parte radicular, índice de esbeltez, proporción tallo raíz, índice de Dickson). Este resultado se puede haber visto afectado por el hecho de que el muestreo solo se pudo realizar en una oportunidad y repetición del ensayo, siendo una unidad de medición no lo suficientemente representativa para efectos del análisis estadístico.

Los resultados del “Ensayo B” indican que de las especies del bosque esclerófilo consideradas en el análisis, la con mayor proporción de sobrevivencia bajo las condiciones

establecidas para el experimento resulto ser *Schinus polygamus*, a esta especie le sigue *Quillaja saponaria*, la cual obtuvo una gran proporción de germinación, pero bajo éxito en la sobrevivencia de los individuos. Tanto *Acacia caven* como los Mix 1 y 2, no lograron superar el 30% de sobrevivencia en ninguna oportunidad de monitoreo. En términos generales, ninguna especie considerada logro superar el 50% de sobrevivencia. Sin embargo, para la última fecha de medición todas las casillas tenían individuos vivos, lo cual si se compara con una plantación convencional equivale a un 100% de sobrevivencia.

La incorporación de micorriza en el porta siembra del ensayo demostró no ser significativa sobre la sobrevivencia de los individuos, lo que se contrapone al afecto positivo que estos microorganismos tienen sobre la salud y crecimiento de las plantas mencionado en la literatura. Este resultado podría variar dependiendo de la calidad de la micorriza y la especie utilizada, lo que implicaría el desarrollo de más estudios para ser demostrado.

5. BIBLIOGRAFÍA

Altamirano, T. 2008. Restauración de los sistemas naturales mediterráneos de Chile central, Estudio de casos de restauración del bosque esclerófilo. Tesis para optar al título de ingeniero forestal. Santiago, Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 107p.

Arcadis geotécnica. 2006. Estudio de impacto ambiental proyecto de desarrollo Los Bronces. Santiago. 31p.

Barea J., M. Azcón A., C. Ocampo J., A y Azcón R. 1991. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo-arbusculares. En: OLIVARES J y BAREA J. (Eds.) Fijación y Movilización Biológica de Nutrientes. CSIC. España. pp. 149-173.

Becerra. P., Arellano. E. y Hernández. G. 2018. Efecto de tratamientos de sombra, riego y suelo en el establecimiento de especies leñosas del bosque esclerófilo de Chile central. En: IV SEMINARIO anual de la red chilena de restauración ecológica: 21 a 23 de noviembre 2018. 2018. Concepción, Universidad de Concepción. Facultad de ciencias forestales 43 p.

Becerra, P. Smith, C. y Arellano, E. 2018. Evaluación de técnicas pasivas y activas para la recuperación del bosque esclerófilo de Chile central. Santiago. 92p.

Bellot, J., Ortiz de Urbina, J. y Bonet, A. 2002. The effects of Tree shelter on the growth of *Quercus coccifera* L. seedlings in a semiarid environment. *Forestry*. 74(1):89-106.

Benedetti, S. 2012. Monografía de ESPINO *Acacia caven* (Mol.) Mol. Santiago, Instituto Forestal. 71p.

Benítez, N. Campanario, S. Cuaresma, V. Diéguez, M. y Morilla, A. 2012. Clima mediterráneo, pp 12.

Bravo, A. 2021. Efecto de la fecha de plantación, sombra y uso de mulch en una plantación de núcleo de cinco especies esclerófilas, Región Metropolitana. Memoria de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Silvicultura y conservación de la Naturaleza. 39p.

Cabello, A. y Alvear, A. 1991. Efecto de la temperatura sobre la geminación de dos lotes de semillas de espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol. *Ciencias Forestales* 7(1-2): 3-12.

Caccia, F. y Ballaré, C. 1998. Effects of tree cover, understory vegetation, and litter on regeneration of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in southwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research*. 28: 683-692.

Callaham, R. 1964. Investigación de procedencia: Investigación de la diversidad genética asociada con la geografía. *Revista Internacional de la Silvicultura y Productos Forestales*. 28(2-3).

Castro, C. 2005. Impacto de la dispersión urbana de la ciudad de Santiago en la calidad del suelo en la periferia norte: Colina y Lampa. *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales* 194 (37).

Chirino, E. Vilagrosa, A y Cortina, J. 2009. Ecological Restoration in Degraded Drylands: The Need to Improve the Seedling Quality and Site Conditions in the Field. En: GROSSBERG S. (Eds.). *Forest Management* Nova Science Publishers. pp. 85-158.

Cowling, R. Rundel, P. Lamont, B. Kalin, M. y Arianoutsou, M. 1996. Plant diversity in Mediterranean-climate regions. *Trends in ecology & evolution* 11(9):362-6

Darío, R. y Mesías, G. 2016. Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 50(2): 15-21.

Dias. A., Tomé. J., Tavares. P., Nunes. J. y Pereira. S. 1992. The effect of individual tree shelters in growth and morphology of cork oak seedlings. *Scientia* 18: 91-98.

Donoso, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. *Ecología forestal*. 2ª ed. Santiago, Editorial Universitaria. 484p.

Doran, J.C., Boland, D.J., Turnbull J.W. y Gunn, B.V. 1983. Las semillas de acacias de zonas secas, FAO, Roma. pp. 92.

Advancing assisted natural regeneration (ANR) in Asia and the Pacific. 2003. Por Patrik Dugan "et al". Bangkok, FAO.

Fajardo, L. Cuenca, G. Arrindell, P. Capote, R. y Hasmy, Z. 2011. El uso de los hongos micorrízicos arbusculares en las prácticas de la restauración ecológica. *Inerciencia*. 36 (12): 931-936.

Frochot, H., Balandier, P. y Sourisseau A. 2009. Seed Dormancy and Consequences for Direct Tree Seeding. *Forest Vegetation Management*. En: CONFERENCE Towards Environmental Sustainability from the Final: 5 a 7 de mayo de 2009. Forest and Landscape Working Papers. pp. 43-45.

Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica. 7ª ed. Santiago. Editorial Universitaria. 143p.

Gallardo, S. y Gasto, J. 1987. Estado de planteamiento del cambio de estado del ecosistema de Quillaja saponaria Mol. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. Informe de Investigación. *Sistemas en Agricultura*. Teoría. Avances 248p.

González H., O. 2007. Hidrogeles mejoradores de cultivos agrícolas. Caso de estudio de especialización en química aplicada. México. Centro de investigación química aplicada. 64p.

Grossnickle, S. 2000. Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings. NRC Research Press. 32p.

Grossnickle, S., Ivetić, V. 2017. Direct Seeding in Reforestation – A Field Performance Review. *Reforesta* 4: 94-142.

Hobbs, R. y Harris, J. 2001. Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration ecology* 9:239-246.

Hobbs, R y Norton, D. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration ecology* 4(2):93-110

Holl, K. y Aide, T. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management* 261, 1558 – 63p.

Holmgren, M. 2002. Exotic herbivores as drives of plant invasion and switch to ecosystem alternative states. *Biological Invasions*. Wageningen. 33p.

Ilustre Municipalidad de Colina. 2015. Diagnóstico Comunal. PLADECO 2015-2019. Santiago. 265p.

Instituto Forestal. 2021. Buenas prácticas y consideraciones genéticas para la recuperación de bosques nativos degradados. Santiago, INFOR. 338p.

Janos, D. 1980. Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*. 12 (2):56-64.

Johnson, M. y Leah, R. 1990. Effect of superabsorbent polyacrylamide on efficacy of water use by crop seedlings. *J. Sci. Food Agric.* 52(3): 431-434.

Sarvas, M, Pavlenda, P. y Takacova, E. 2007. Effect of hydrogel application on survival and growth of pine seedlings in reclamations. *Journal of Forest Science* 53(5): 204-209.

Lamb, D., Erskine, P. y Parrotta, J. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science* 310:1628 – 32.

Laman T., G. 1995. *Ficus Stupenda* germination and seedling establishment in a Bornean rain forest canopy. *Ecology* 76: 2617–2626.

Löf, M., Thomsen, A. y Madsen, P. 2004. Sowing and transplanting of broadleaves (*Fagus sylvatica* L., *Quercus robur* L., *Prunus avium* L. and *Crataegus monogyna* Jacq.) for afforestation of farmland. *For Ecol Manage* 188: 113-123.

Marañón, T. Camarero, J. Castro, J. Díaz, M. Espelta, J. Hampe, A. Jordano, P. Valladares, F. Verdú, M. y Zamora, R. 2004. Heterogeneidad ambiental y nichos de regeneración. En: Valladares, F. (Eds.) Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A, pp. 69-101.

Martínez, E. 1996. La restauración ecológica. *Ciencias*, núm. 43:56-61.

Navarro, R. y Martínez, A. 1997. Supervivencia y crecimiento de encina (*Quercus ilex*) y alcornoque (*Quercus suber*) utilizando seis tipos de tubos invernadero. En: II CONGRESO Forestal Español: 01 de junio 1997. España, Sociedad Española de Ciencias Forestales. 437-441 p.

Petursson, J. y Sigurgeisson, A. 2004. Direct seeding of boreal conifers on freely drained andosols in Southern Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences* 16(17): 15-28

Quintanilla, V. 2012. Aproximación biogeográfica a los bosques de la Zona mediterránea de Chile: Caracterización e inventario. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 60: 91-114

Queupil, E. 2021. Respuestas morfofisiológicas de *Drimys winteri* J.R. Forst & G.Forst (Canelo) bajo diferentes condiciones lumínicas e hídricas. Memoria de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Silvicultura y conservación de la Naturaleza. 26p.

Rey-Benayas, J. y Bullok, J. 2012. Restoration of Biodiversity and Ecosystem services on Agricultural Land. *Ecosystems* 15(6), 883-899.

Riley, F. 1973. Silviculture treatment of seeded stands. En: CAYFORD J., H. (Eds.). Direct Seeding Symposium. Ontario. ON. pp. 139-155.

Rojas, B., Ramírez, M. y Aguilera. R. 2006. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelo. *Revista Iberoamericana de polímeros*. 7(3): 199-210.

Rundel, P., Montenegro, G. y Jaksic, F. 1998. Landscape Disturbance and Biodiversity in Mediterranean-Type Ecosystems. 155-168p.

Santibáñez, F. 2017. Atlas Agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule. Santiago, Valus Ltda. 205p.

Schlegel, F. 1963. Estudio florístico y fitosociológico de la Quebrada de la Plata. Hacienda Rinconada de lo Cerda, Maipú. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía. 221p.

Schmidt, L. 2008. A review of direct sowing versus planting in tropical afforestation and land rehabilitation. Horsholm. Forest and Landscape Denmark. pp. 38.

Society for Ecological Restoration. 2004. Principios de SER internacional sobre la restauración ecológica. Tucson, Arizona. Society for Ecological Restoration International. 5p.

Serra, M. 1997. *Prosopis chilensis* Chile. Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Santiago, Chile. FAO; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 5p.

Simfruit. 2019. Sustratos, una alternativa frente a la falta de suelos de calidad [en línea] <simfruit.cl/arandanos-sustratos-una-alternativa-frente-a-la-falta-de-suelos-de-calidad/> [consulta: 03 enero 2022].

Traveset, A. 2002. Taller: Aspectos teóricos de la biología reproductiva de plantas y su relevancia para la conservación [en línea] <https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2002000100001> [consulta: 22 agosto 2021]

Valdebenito, G. et al. 1999. Propuesta preliminar Paquetes tecnológicos de producción forestal y agroforestal para pequeños propietarios del secano. Proyecto FDI: Sistema de gestión forestal para la modernización de pequeños agricultores. Documento de trabajo III. Segunda reunión de trabajo. 6 p.

Valenzuela, P. 2018. Efectos de protectores en plantas nativas establecidas en sitios perturbados En: IV SEMINARIO anual de la red chilena de restauración ecológica: 21 a 23 de noviembre 2018. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de ciencias forestales. pp. 60.

Van Andel, J. y Aronson, J. 2006. Restoration ecology: The new frontier. Oxford, Blackwell Science. 319p.

Van Andel, J. y Aronson, J. 2012. Restoration ecology: The new frontier. 2ª ed. West Sussex. Blackwell Publishing Ltd. 400p.

Van der Heijden, M. Klironomos, J. y Ursic, M. 1998. La diversidad de hongos micorrícicos determina la biodiversidad vegetal, la variabilidad del ecosistema y la productividad. *Nature*. (396): 69-72.

Vilagrosa, A. Villar-Salvador, P. y Puértolas, J. 2006. El endurecimiento en vivero de especies forestales mediterráneas. En: Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente. pp. 119-140.

Vita, A. 1966. Reforestación por siembra directa con Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) y Peumo (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser). Tesis Ingeniería Forestal. Santiago, Facultad de Agronomía. Universidad de Chile.

Vita, A. 1993. Ecosistemas de bosques y matorrales mediterráneos y sus tratamientos silviculturales en Chile (2ª ed.). Programa CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017. Investigación y Desarrollo de Áreas Silvestres en Zonas Áridas y Semiáridas de Chile. Documento de trabajo N°21. 235 p.

Woodhouse, J. y Johnson, S. 1991. The effect of gel-forming polymers on seed germination and establishment. *Journal of Arid Environments*, 20: 375-3.

Young, T. 2000. Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation*. 73-83p.

6. APÉNDICES

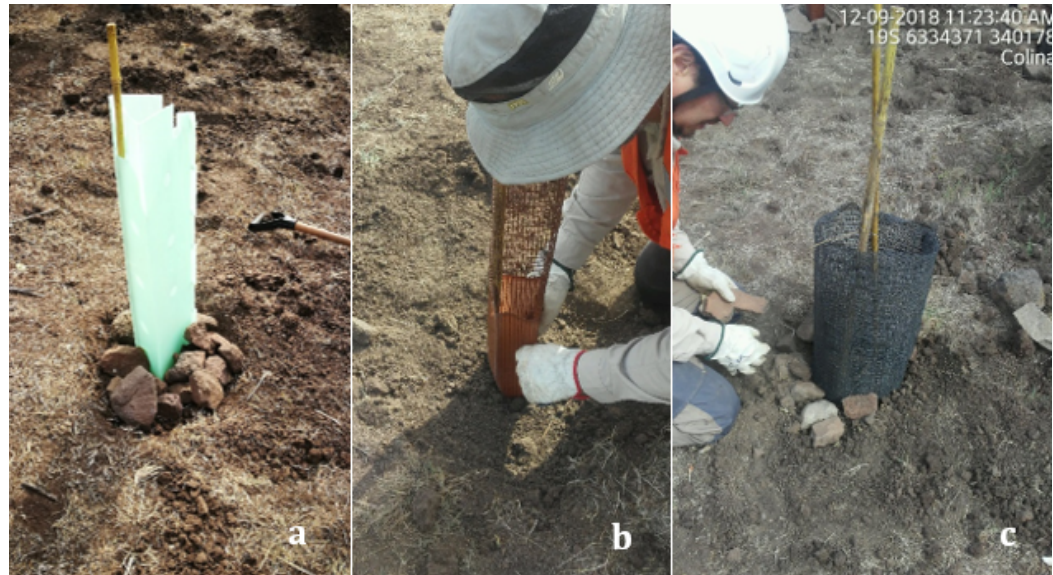


Figura 11. a) Pantalla protectora convencional RFV (*Tree shelter*), b) Pantalla protectora alternativa 1, c) Pantalla protectora alternativa 2.



Figura 12. Siembra convencional (izquierda) y porta siembra (derecha).

Cuadro 10. Porcentaje plántulas emergidas de *Acacia caven*, en función del protector y porta siembra en septiembre de 2018.

| Factores | | Sitios | | | | |
|--------------------------|-------------|------------|------------|-----|------------|---------------------|
| Porta siembra | Protector | Peldehue 1 | Peldehue 2 | ACK | Quilapilún | Bosque las Tórtolas |
| Fibra de coco e Hidrogel | Tradicional | 91% | 27% | 64% | 91% | 73% |
| | Café | 64% | 82% | 45% | 55% | 55% |
| | Grelder | 64% | 73% | 45% | 82% | 100% |
| Fibra de coco | Tradicional | 36% | 36% | 64% | 73% | 82% |
| | Café | 82% | 0% | 82% | 64% | 55% |
| | Grelder | 55% | 73% | 55% | 82% | 82% |
| Convencional RFV | Tradicional | 0% | 18% | 55% | 45% | 91% |
| | Café | 9% | 18% | 9% | 36% | 27% |
| | Grelder | 27% | 64% | 91% | 55% | 82% |

Cuadro 11. Porcentaje de sobrevivencia de individuos de *Acacia caven*, en función del protector y porta siembra en junio de 2019.

| Factores | | Sitios | | | | |
|--------------------------|-------------|------------|------------|-----|------------|---------------------|
| Porta siembra | Protector | Peldehue 1 | Peldehue 2 | ACK | Quilapilún | Bosque las Tórtolas |
| Fibra de coco e Hidrogel | Tradicional | 55% | 100% | 45% | 82% | 73% |
| | Café | 82% | 36% | 0% | 64% | 55% |
| | Grelder | 64% | 64% | 27% | 82% | 100% |
| Fibra de coco | Tradicional | 64% | 18% | 55% | 64% | 64% |
| | Café | 0% | 55% | 36% | 64% | 18% |
| | Grelder | 64% | 27% | 73% | 91% | 82% |
| Sin porta siembra | Tradicional | 27% | 0% | 55% | 0% | 55% |
| | Café | 0% | 0% | 0% | 0% | 9% |
| | Grelder | 73% | 45% | 82% | 82% | 82% |

Cuadro 12. Porcentaje de sobrevivencia de individuos de *Acacia caven*, en función del protector y porta siembra en abril de 2021.

| Factores | | Sitios | | | |
|--------------------------|-------------|------------|-----|------------|---------------------|
| Porta siembra | Protector | Peldehue 1 | ACK | Quilapilún | Bosque las Tórtolas |
| Fibra de coco e Hidrogel | Tradicional | 36% | 36% | 64% | 36% |
| | Café | 45% | 0% | 64% | 45% |
| | Grelter | 73% | 0% | 64% | 73% |
| Fibra de coco | Tradicional | 0% | 18% | 64% | 0% |
| | Café | 18% | 0% | 45% | 18% |
| | Grelter | 73% | 55% | 73% | 73% |
| Sin porta siembra | Tradicional | 36% | 9% | 0% | 36% |
| | Café | 9% | 0% | 0% | 9% |
| | Grelter | 55% | 64% | 73% | 55% |

Cuadro 13. Número de plántulas de *Acacia caven* emergidas en noviembre de 2018 en función del sitio de siembra y procedencia de la semilla.

| Sitio | Procedencia | Nº de Emergidas | Germinación (%) |
|---------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Peldehue 1 | Colina | 7 | 64% |
| | Cantillana | 3 | 27% |
| | Navidad | 0 | 0% |
| | Illapel | 1 | 4% |
| Peldehue 2 | Colina | 8 | 73% |
| | Cantillana | 3 | 27% |
| | Navidad | 2 | 15% |
| | Illapel | 8 | 35% |
| ACK | Colina | 5 | 45% |
| | Cantillana | 2 | 18% |
| | Navidad | 0 | 0% |
| | Illapel | 1 | 4% |
| Quilapilún | Colina | 9 | 82% |
| | Cantillana | 6 | 55% |
| | Navidad | 1 | 8% |
| | Illapel | 8 | 35% |
| Bosque las Tórtolas | Colina | 11 | 100% |
| | Cantillana | 7 | 64% |
| | Navidad | 5 | 38% |
| | Illapel | 8 | 35% |