

Técnicas costo-efectivas para la reducción del estrés hídrico en procesos de restauración del bosque esclerófilo



Nadia Rojas-Arévalo, Juan F. Ovalle y Eduardo Arellano
Editores





*"Toda la naturaleza es un anhelo
de servicio; sirve la nube, sirve el
aire, sirve el surco. Donde haya
un árbol que plantar, plántalo tú;
donde haya un error que enmendar,
enmiéndalo tú; donde haya un
esfuerzo que todos esquiven,
acéptalo tú"*

Gabriela Mistral

Técnicas costo-efectivas para la reducción del estrés hídrico en procesos de restauración del bosque esclerófilo

Nadia Rojas-Arévalo, Juan F. Ovalle y Eduardo Arellano
Editores

Técnicas costo-efectivas para la reducción del estrés hídrico en procesos de restauración del bosque esclerófilo

Edición: Nadia Rojas-Arévalo, Juan F. Ovalle y Eduardo Arellano

I.S.B.N. 978-956-09038-3-9

© 2022. Pontificia Universidad Católica de Chile, "Técnicas costo-efectivas para la reducción del estrés hídrico en procesos de restauración del bosque esclerófilo". Todos los derechos reservados.



Esta iniciativa fue financiada por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo y patrocinado por la Pontificia Universidad Católica de Chile (Proyecto FIBN 034/2018)



Fondo de
Investigación
del Bosque Nativo



Centro UC

CAPES - Center of Applied
Ecology & Sustainability



FACULTAD DE AGRONOMÍA
E INGENIERÍA FORESTAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

Fotografías:

Luz María de la Fuente, César Figueroa, Agustina Hidalgo, Fabiola Orrego, Juan F. Ovalle, Nadia Rojas-Arévalo, Ana Sandoval, Marcelo Talamilla, David Vásquez, Javier Vidal, Nicolás Villaseca Merino.

Diseño y producción editorial:

Loyca Comunicación Ltda.

Como citar este libro: Rojas-Arévalo, N., Ovalle, J. y Arellano, E. C. (Editores) 2022. Técnicas costo-efectivas para la reducción del estrés hídrico en procesos de restauración del bosque esclerófilo. Pontificia Universidad Católica de Chile. 58 pp.

Contacto: Eduardo Arellano - eduardoarellano@uc.cl

Agradecimientos

El presente manual se desarrolló en el marco del proyecto **“Técnicas silviculturales costo-efectivas para reducción de estrés hídrico de plantas en procesos de restauración de bosque esclerófilo”** (Proyecto FIBN 034/2018), financiado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo (FIBN) y patrocinado por la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Los editores de este documento agradecemos a la Corporación Nacional Forestal (CONAF); al Center of Applied Ecology and Sustainability CAPES (ANID PIA/BASAL FB0002); al Vivero y Jardín Pumahuída Ltda; al Vivero Antumapu; a la Consultora LBC; al Centro Experimental Germán Greve de la Universidad de Chile; y al Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata.

Agradecemos también a las y los colegas y amigos del Laboratorio de Restauración, Suelo y Metales que aportaron con fotografías de flora nativa y de la experiencia en campo. También, se agradece el apoyo en terreno de estudiantes voluntarios de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile y de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile.



Índice

| | |
|---|----|
| Introducción | 7 |
| Capítulo 1. Consideraciones técnicas para la plantación de especies del bosque nativo en Chile central | 11 |
| Etapa de viverización | 13 |
| Etapa de establecimiento | 19 |
| Etapa de mantención | 25 |
| Capítulo 2. Experiencia de reforestación con técnicas en vivero y mejoramiento de la casilla de plantación | 28 |
| Evaluación del tipo de contenedor en la etapa de viverización | 32 |
| Evaluación de tipo de acondicionador de casilla en la etapa de establecimiento | 33 |
| Tipo de régimen de riego durante época estival la segunda temporada de crecimiento en campo | 36 |
| Capítulo 3. Resultados y aprendizajes sobre el uso de técnicas de reforestación para Chile central | 37 |
| Tipo de contenedor | 37 |
| Efecto del uso de acondicionadores de casilla | 39 |
| Régimen de riego | 43 |
| Capítulo 4. Estructura de costos de las técnicas de reforestación implementadas en el estudio | 48 |
| Aprendizajes finales de la experiencia piloto | 49 |
| Referencias | 53 |
| Anexo 1 | 56 |
| Autores | 58 |



Introducción

La restauración ecológica es el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (*Gann et al., 2019*). Cuando el ecosistema está muy degradado, es necesario considerar actividades de restauración activa como la reintroducción de las especies deseadas (*Reid, Fagan, & Zahawi, 2018*).

En ecosistemas forestales de clima Mediterráneo, como los de Chile Central, las estrategias activas de restauración son necesarias para reducir el estrés sobre la planta en la fase de arraigo y potenciar la recuperación temprana de ecosistemas forestales altamente degradados. La zona central de Chile enfrenta un aumento de los periodos de sequía y de las olas de calor, por lo que resulta crítico incorporar nuevas prácticas de establecimiento que permitan reducir los efectos de esta nueva realidad climática (*Garreaud et al., 2019*). Por otro lado, los sitios para restaurar con especies nativas son cada vez más limitados, por la alta presión del cambio de uso de suelo y la presión antrópica (**Figura 1**).



Figura 1. Ecosistema de matorral y bosque esclerófilo en avanzado estado de degradación en la Región Metropolitana (Fotografía: J. Ovalle).

Bajo estas nuevas condiciones, se ha recomendado que, para el éxito de los planes de restauración del bosque esclerófilo, se deben considerar en la planificación e implementación estos nuevos escenarios. En experimentos de restauración en Chile central se han reportado niveles de mortalidad de hasta un 70% en la fase de establecimiento asociados a la condición poco favorable de los sitios y al estrés hídrico (Becerra, González-Rodríguez, Smith-Ramírez, & Armesto, 2011). Se recomienda la selección de fuentes semilleras de procedencia local o cercanas al sitio de restauración, prácticas culturales en vivero que garanticen la obtención de plantas de calidad, técnicas de plantación enfocadas en la conservación de la humedad en el suelo de la casilla de plantación y el uso de riego de establecimiento durante los periodos de escasez de lluvias (Arellano, Ovalle, & Valenzuela, 2016).

Las prácticas de manejo en vivero, tales como, la modificación del tamaño y la forma del contenedor, el endurecimiento de las plantas mediante la reducción del riego o la fertilización son técnicas efectivas para promover cambios morfológicos en las plantas durante su primera fase de desarrollo en vivero (Acevedo et al., 2021).

Se ha documentado una relación positiva entre el tamaño inicial de la planta y la sobrevivencia post-trasplante. Plantas de mayor tamaño y con mayor recarga nutricional obtendrían mejores respuestas al déficit hídrico en campo y alcanzan una sobrevivencia más alta, respecto a plantas de menor tamaño (Andivia et al., 2021).

Por otra parte, la elección de un contenedor adecuado durante el proceso de producción de las plantas es fundamental para promover sistemas radicales de calidad (Figura 2), ya que existe una relación directa entre la longitud y volumen de raíces y la sobrevivencia en campo (Chirino, Vilagrosa, Hernández, Matos, & Vallejo, 2008).



Figura 2. Viverización de especies nativas en diferentes tipos de contenedor (Fotografía: J. Ovalle).

Las consideraciones para la fase de plantación consisten en el manejo del microsítio y la utilización de ecotecnologías para reducir la condición de estrés (Oliet & Jacobs, 2007). Prácticas de mejora de suelo comúnmente utilizadas en esta fase son el subsolado profundo, la incorporación de enmiendas, la intervención del microrelieve para la captación de agua, entre otras prácticas (Piñeiro, Maestre, Bartolomé, & Valdecantos, 2013). Otras técnicas post plantación como son el uso de tubos protectores o sombreaderos han demostrado tener un buen éxito en la reducción del estrés inicial en las plantas (Oliet, Blasco, Valenzuela, Melero de Blas, & Puértolas, 2019).

En la zona central de Chile, los suelos disponibles para fines de restauración se encuentran altamente degradados, erosionados y/o con bajos contenidos de materia orgánica, afectando la retención hídrica y la capacidad de desarrollo radicular, y, por consiguiente, el éxito de las acciones de restauración. Se han recomendado diversos acondicionadores de suelo en las casillas de plantación que ayudarían a reducir el estrés de establecimiento, como el uso de enmiendas orgánicas, hidrogeles, casillas más profundas, entre otras (Figura 3) (Piñeiro et al., 2013). En condiciones severas de sequía, la aplicación de riegos mínimos en la fase de arraigo se ha transformado en una práctica altamente efectiva (Becerra, Smith-Ramírez, & Arellano, 2018). Estas acciones combinadas con el riego inicial y la protección individual de plantas pueden ser altamente efectivas para enfrentar las condiciones de estrés que enfrentan las plantas en la época estival. Sin embargo, el uso combinado de estas prácticas requiere considerar los atributos de cada especie y las condiciones locales de sitio de plantación (Figura 3).



Figura 3. Técnicas de plantación (pozo seco de piedras, hidrogel, casillas profundas) orientadas a mejorar la capacidad de almacenamiento de agua en la casilla de plantación. Proyecto FIBN 034/2018 CONAF (Fotografías: C. Figueroa).

En el presente documento técnico, presentamos algunos elementos a considerar para el proceso de establecimiento de plantaciones con especies nativas en zonas semiáridas degradadas, a partir de los aprendizajes obtenidos de una experiencia piloto en Quebrada de la Plata, Región Metropolitana (**Figura 4**). En este estudio se integraron elementos de viverización con el uso de distinto tipo de contenedores y el mejoramiento de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo durante el establecimiento, utilizando una combinación de técnicas en tres especies de distinta estrategia de crecimiento del bosque esclerófilo: Litre (*Lithraea caustica*), Quillay (*Quillaja saponaria*) y Huingán (*Schinus polygamus*).



Figura 4. Plantación piloto de tres especies nativas del bosque esclerófilo en Quebrada de la Plata (RM) en el marco del Proyecto FIBN 034/2018 (Fotografía: N. Rojas-Arévalo)

Capítulo 1. Consideraciones técnicas para la plantación de especies del bosque nativo en Chile central

Ovalle, J., Rojas Arévalo, N., Arellano, E.

Bajo la actual emergencia climática, las estrategias que se adopten en planes de revegetación con especies nativas en zona Mediterráneas deben enfocarse en la reducción del estrés hídrico y térmico, la protección contra la herbivoría y el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (*del Campo et al., 2021*).

La planificación de plantaciones en zonas con severas limitaciones hídricas requiere de una estrategia integrada basada en la selección de fuentes semilleras ajustadas al clima actual, la aplicación de prácticas culturales en vivero enfocadas en el mejoramiento de la calidad del sistema radical y el uso de ecotecnologías de plantación que faciliten el establecimiento inicial de las plantas (*Arellano et al., 2016*) (*Figura 5*).

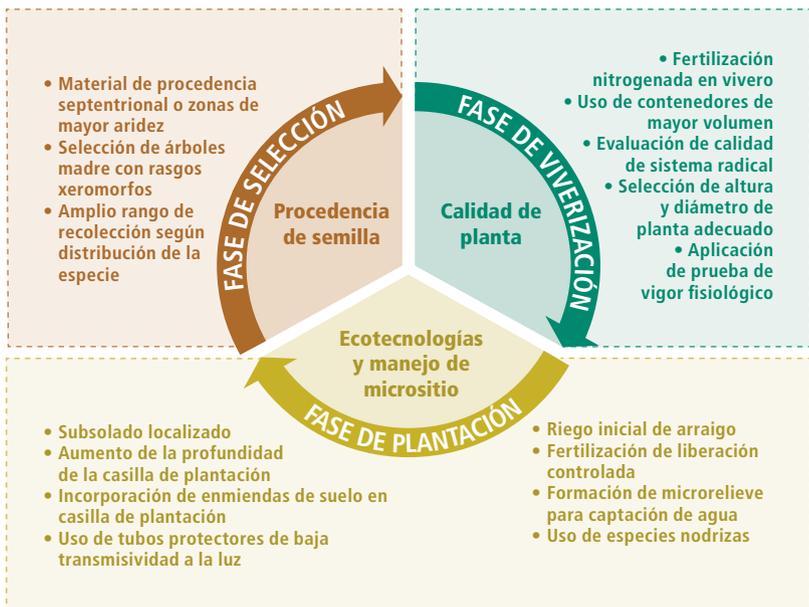


Figura 5. Propuesta de estrategias integradas para reforestación de especies nativas en la zona Mediterránea de Chile central (*Modificado de Arellano et al. 2016*).

En la fase de selección del material de propagación es clave considerar la procedencia de las semillas, resguardando una distancia adecuada entre la fuente semillera y el sitio a restaurar (**Figura 6**). De esta forma, la carga genética adaptada a las variaciones del clima local y las características fenotípicas de los individuos podrían determinar una mayor probabilidad de responder adecuadamente a las variaciones ambientales (sequías, olas de calor, entre otras) en el sitio a restaurar (*Fremout et al., 2021*).

En la fase de vivero, resulta relevante disponer de plantas con rasgos fenotípicos específicos a nivel de la parte aérea y subterránea que, posteriormente, se reflejen en plantas con una mayor resistencia a la restricción hídrica y mayor sobrevivencia (*Ovalle, Arellano, Oliet, Becerra, & Ginocchio, 2016*). Mientras que, en la fase de establecimiento, el acondicionamiento de la casilla de plantación debe facilitar la exploración de las raíces en las estratas del suelo con mayor contenido de humedad y promover una mayor retención hídrica del suelo (**Figura 6**).



Figura 6. Etapas en orden cronológico de un programa de propagación, producción y establecimiento de plantas nativas para un proyecto de restauración (Fotografías: J. Ovalle).



Etapa de Viverización

La viverización es una etapa determinante para el éxito de un plan de reforestación. Esta etapa comienza con la propagación de semillas la cual contempla la selección de semillas de calidad y la inducción de la germinación, los cuales dependen de la presencia o el grado de latencia de la especie. Los tratamientos pre-germinativos se aplican para romper latencia física (exógena) o latencia morfológica y/o fisiológica (endógena) (Baskin & Baskin, 2004). Una vez que las semillas están en condiciones de germinar, estas se propagan en almácigos (semillas pequeñas como *Nothofagus*) o directo a bolsa (semillas grandes como belloto). En caso de producir en almácigos, las plántulas se deben repicar a contenedores definitivos una vez que éstas alcanzan 5 a 10 cm de altura o 2 a 3 hojas verdaderas.

Dentro de los elementos escasamente considerados en la etapa de viverización, el tipo y la forma del contenedor para la obtención de plantas de calidad es uno de los factores relevantes para los resultados de sobrevivencia post-trasplante. Se debe priorizar la elección de contenedores que estimulen el desarrollo radical, atributo morfo-funcional clave para mejorar la eficiencia de uso de recursos del suelo (agua y nutrientes) bajo condiciones limitantes en campo.

El contenedor tradicional para la producción de plantas nativas leñosas en viveros de Chile es la bolsa de polietileno negro, de medidas que oscilan entre 8x15 y 10x20 cm (Quiroz *et al.*, 2009). Sin embargo, el diseño de este material genera deformaciones de la raíz principal y laterales en la base de la bolsa, especialmente, en especies con raíz pivotante. Actualmente, existe en el mercado una mayor diversidad de diseños y tamaños de contenedores plásticos (Figura 7), los cuales permiten obtener una mejor calidad del sistema radical (Haase *et al.*, 2021).

Además de la elección adecuada del contenedor, existen otras prácticas culturales que permiten apuntar al desarrollo de rasgos fenotípicos específicos que se traduzcan en plantas con mayor resistencia al estrés hídrico y nutricional (Luis *et al.*, 2009; Ovalle, Arellano, Ginocchio, & Becerra, 2016). Por ejemplo, la recarga nutricional en otoño y la activación de mecanismos de resistencia a estrés hídrico en la fase de endurecimiento (Oliet, Puértolas, Planelles, & Jacobs, 2013). Estas prácticas culturales deben comenzar a implementarse en viveros de especies nativas para mejorar los estándares de calidad de planta y aumentar la oferta de plantas aptas para ambientes altamente degradados.



Figura 7. Tipo de contenedores forestales para producción experimental de plantas de *Peumus boldus* (bolsa de polietileno, contenedor aireado o Air-pot, maceta lisa (Fotografías: Javier Vidal).

Prácticas culturales en vivero con énfasis en plantas de calidad

Las siguientes son algunas técnicas disponibles para implementar en experiencias de reforestación con especies nativas del bosque esclerófilo en sitios degradados, durante la etapa de viverización.

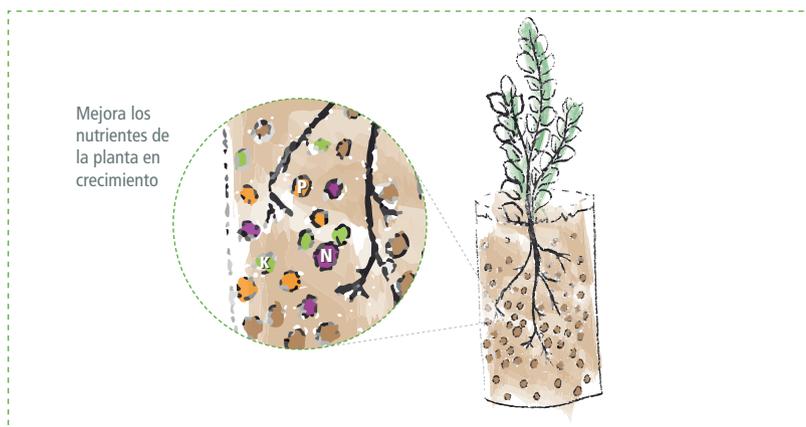
Contenedores Aireados y Tubetes



Los contenedores aireados o tubetes con autopoda se caracterizan por promover la poda radical continua de la raíz principal y las raíces laterales al detenerse el crecimiento de las raíces al tomar contacto con la luz y el aire a través de los orificios de las paredes laterales y la base del contenedor. Además, este tipo de contenedores evita malformaciones y crecimiento de raíces en espiral, favorece el desarrollo de un sistema radical fibroso, ramificado, y con una mayor longitud radical específica. Este último atributo es determinante en plantas de ambientes semiáridos, ya que mejoran la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes, lo que se traduce en una mayor tasa de crecimiento y un mejor balance entre la biomasa aérea y radical.

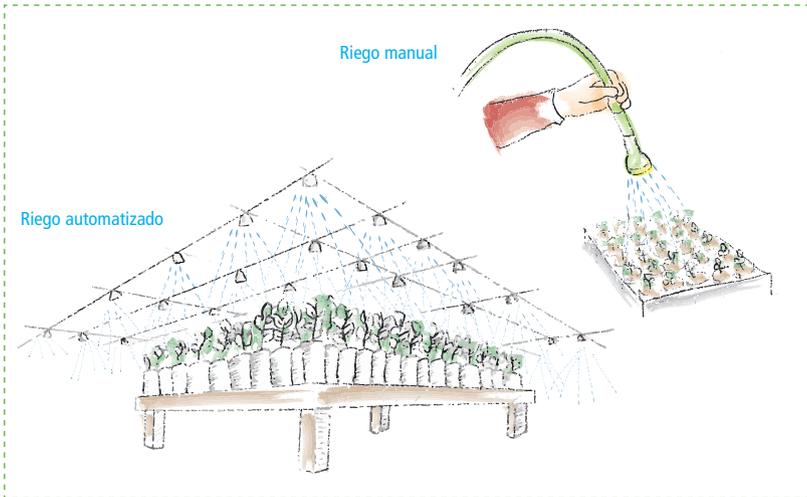
La eficacia del contenedor aireado tipo "Airpot" está sujeta a la correcta preparación del sustrato, el cual debe ser suficientemente compacto, pero con presencia de macroporos, de manera de evitar el desarme del cepellón (pan de tierra) al momento de extraer la planta del contenedor y trasladarla a la casilla de plantación. Para éstos efectos se recomiendan sustratos compuestos por corteza de pino compostada, suelo franco y perlita, en proporción 2:1:1.

Fertilización



El aporte nutricional a través de la fertilización en vivero es una herramienta fundamental para la activación de mecanismos de resistencia al estrés hídrico en plantas leñosas de ambientes mediterráneos, y más aún, en zonas bajo sequía extrema por cambio climático (Ovalle, Ginocchio, Arellano, & Valenzuela, 2017). Estudios de regímenes nutricionales en plántulas de especies nativas de Chile central recomiendan una concentración de 200 a 400 mg N/kg (Acevedo, Álvarez, Cartes, Dumroese, & González, 2020; Ovalle et al., 2016). Plantas en buen estado nutricional responden incrementando las reservas de carbohidratos, y posteriormente, estas reservas quedan disponibles para ser removilizadas a otros componentes de la planta durante el establecimiento en campo. Por lo tanto, una planta de mayor tamaño y con mayor recarga nutricional responde mejor al déficit hídrico en campo, lo que podría mejorar la sobrevivencia del primer y segundo año post-trasplante.

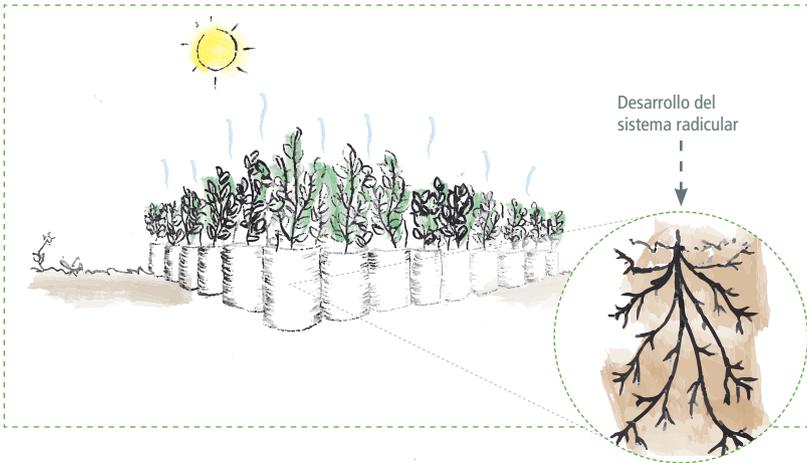
Riego



El riego durante la viverización es determinante para el crecimiento y la calidad de planta final. El riego se aplica durante todo el periodo de viverización, especialmente en las etapas tempranas de crecimiento. Un régimen de riego adecuado, en frecuencia y dosis, es particularmente importante para plantas en contenedor, dado que sus raíces solo tienen acceso al contenido de agua almacenado en el volumen de sustrato del contenedor (Cartes *et al.*, 2019).

Los esquemas de riego (frecuencia y dosis) que se establecen en vivero deben garantizar el funcionamiento óptimo de la planta para maximizar el crecimiento y el desarrollo de raíces antes de trasladarse al campo. Problemas de escasez de agua en vivero pueden generar importantes daños, y en casos extremos, la muerte de la planta por embolia. Por otro lado, el exceso de agua puede causar un aumento en la presencia de enfermedades como Botrytis y Phytophthora.

Endurecimiento



El endurecimiento consiste en aplicar un estrés en dosis subletales a las plantas, previo a la plantación, para fomentar los mecanismos de resistencia a estrés. El principal endurecimiento que se le realiza a las plantas de ecosistemas mediterráneos es por estrés hídrico. Este aumenta la resistencia a la sequía relocalizando los recursos de la planta para el desarrollo del sistema radicular, por sobre la parte aérea.



Etapa de Establecimiento

Para la zona central de Chile, la etapa de establecimiento de un programa de restauración activa, parte desde la selección de especies, la elección y preparación del sitio, el diseño de la plantación y su posterior ejecución mediante la preparación de las casillas y la protección de las plantas.

Los suelos disponibles para plantaciones con especies nativas están limitados a terrenos que presentan altos niveles de degradación producto de procesos erosivos consecuencia del sobrepastoreo, los incendios forestales y la presión por el cambio de uso de suelo (**Figura 8**). Suelos delgados, compactados, pedregosos y con bajo contenido de materia orgánica en relación a los menos perturbados, limitan el establecimiento de las plantas, siendo necesario que la elección y caracterización de sitio sea la adecuada para garantizar la viabilidad del proceso de revegetación. Mientras más información se pueda recabar, tales como condiciones climáticas recientes, las propiedades del suelo, topografía, vegetación presente, disponibilidad de fuentes de agua, entre otros, mejor planificación y una mayor probabilidad de éxito de la reforestación (**Figura 9**).



Figura 8. Matorral xerofítico y esclerófilo en la Comuna de Pirque (RM) afectado por el incendio forestal en enero de 2017. El sitio reúne las características para ser restaurado mediante técnicas de manejo del microsítio, reforestación con especies nativas y manejo de especies rebrotadoras (Fotografía: J. Ovalle).



Figura 9. Condición inicial de una plantación de quillay en Quebrada de la Plata, RM (2013). Las plantas utilizadas se sometieron a tratamientos de fertilización en vivero para potenciar atributos de calidad de planta y se evaluó el desempeño fisiológico y sobrevivencia post-trasplante durante un año (Fotografía: J. Ovalle).

La selección de especies para un plan de revegetación con fines de restauración debe considerar el uso de especies arbóreas y arbustivas adaptadas a ambientes semiáridos y a sitios abiertos con alta luminosidad, que además presenten rasgos funcionales idóneos para tolerar las condiciones de sequía y olas de calor. En el **Anexo 1** se encuentra disponible una selección de 15 especies nativas del bosque esclerófilo, su descripción, distribución, sitios de colecta y propagación, que recomendamos para experiencias de revegetación en este tipo de ecosistema.

Dependiendo de las condiciones de sitio es que podría ser necesaria la implementación de labores de preparación de suelo y protección de las plantas. Entre éstas, la ahoyadura profunda mediante el subsolado del suelo, la reducción de la pendiente y la creación de zanjas o terrazas y obras de protección contra el ataque de ganado e incendios. Suelos degradados con afloramiento de rocas en superficie limitarán el desarrollo y crecimiento vegetal debido a la ausencia total o parcial de los horizontes O (orgánico), A y B, sección del perfil de suelo que cumplen un rol fundamental en el almacenamiento de humedad para las plantas.

El diseño de la plantación dependerá de los objetivos del plan de restauración, pero deberá considerar la densidad de plantación, la variabilidad de la microtopografía y los agentes potenciales de degradación como puede ser la herbivoría o riesgos potenciales de incendios. La plantación debe realizarse en la época en que los suelos presentan un mayor contenido de humedad. Se recomienda realizar la plantación un par de semanas después de comenzada

la temporada de lluvias (mayo a junio), o hacia el final de la temporada de heladas en los sitios más fríos (agosto a septiembre).

Durante la última década, el calendario de plantación se ha visto alterado por la escasez de precipitaciones y el aumento de las temperaturas durante los meses de invierno. Por otro lado, este fenómeno altera la sincronización viverista-reforestador dado que la calendarización de las etapas de producción en vivero de retrasarse para ajustarse a la ventana de plantación. Esta alteración del calendario de plantaciones producto del cambio climático también es un factor de incertidumbre para el viverista. La siembra y el repique tienden a comenzar más tarde, para llegar a la siguiente temporada con plantas “*terminadas*” (plantas con la altura y calidad morfo-fisiológica requerida por el mandante) y ser despachadas al campo, ajustándose a la ventana de plantación establecida por el reforestador. Bajo esta problemática, un aspecto a destacar es que la ventana de plantación cada año que pasa tiende a retrasarse por la ausencia de lluvias otoñales y temperaturas más altas.

En suelos forestales compactados y arcillosos, la excavación y relleno de las casillas de plantación permite mejorar las condiciones del medio donde se desarrollarán las plantas, mejorando la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua del suelo, aumentando el potencial de exploración de las raíces, disminuyendo los niveles de compactación superficial y de estratas profundas impermeables al agua (ej. pie de arado), entre otros. La mejora de la calidad de la casilla de plantación puede incluir en forma combinada la reducción de la compactación, la aplicación de enmiendas y acondicionadores de suelo y, eventualmente, la implementación de riego en la fase inicial del establecimiento, durante los primeros dos años.

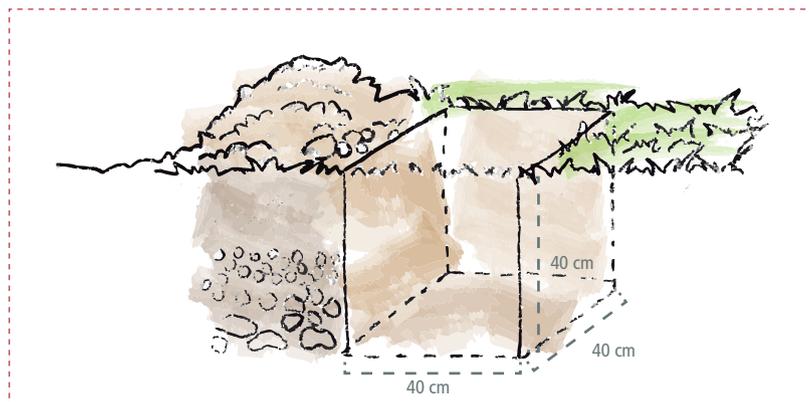
En sitios abiertos, el uso del tubo protector para evitar el ramoneo ha sido una ecotecnología ampliamente utilizada en distintos proyectos de restauración en zonas de clima tipo mediterráneo. Al momento de seleccionar el tubo, se debe considerar el color, tamaño y el sistema de ventilación (*Oliet et al., 2019*) y la respuesta específica de la especie a las características del tubo (*Rojas-Arévalo et al., 2021*) y las condiciones de radiación y temperatura (*Oliet & Jacobs, 2007*). Bajo condiciones severas de sequía y alta radiación, para algunas especies podrían disminuir los riesgos de mortalidad, pero la respuesta puede ser dependiente de la especie (*Rojas-Arévalo et al., 2021*).

Durante la etapa de establecimiento en zonas de clima de tipo Mediterráneo, se pueden utilizar diversas técnicas que mejoren el desempeño de las especies una vez establecidas en terreno, algunas de ellas son presentadas a continuación.

Prácticas silviculturales para el establecimiento de la plantación

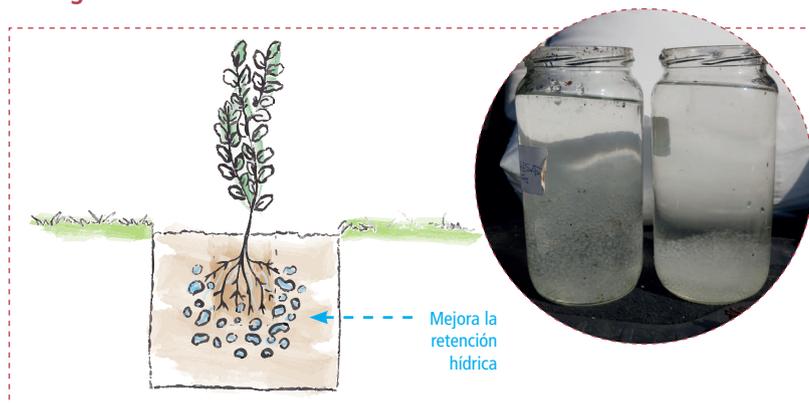
Las siguientes son algunas técnicas disponibles para implementar en experiencias de reforestación con especies nativas del bosque esclerófilo en sitios degradados, durante la etapa de establecimiento.

Manejo de la profundidad de la casilla de plantación



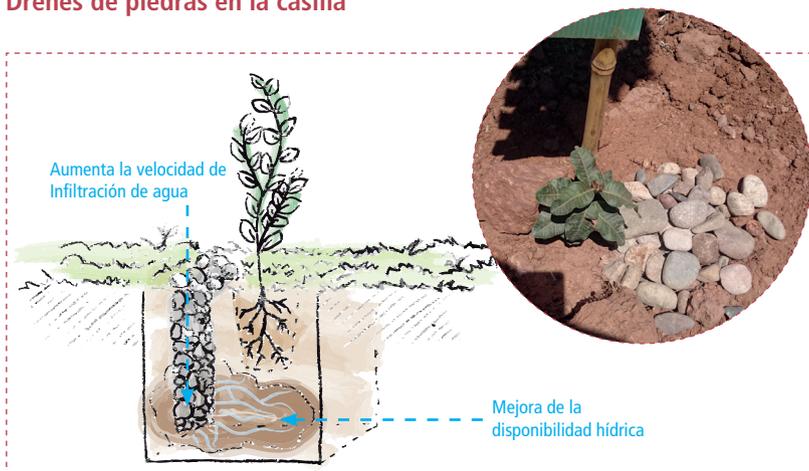
Consiste en la confección de casillas que permitan proveer a las plantas de un sustrato descompactado y mejorar la infiltración del agua. Por lo general, se habla de casillas grandes cuando éstas superan un tamaño de 40 x 40 x 40 cm, por lo que una manera de facilitar esta labor es realizándola mediante el uso de miniexcavadora o barreno ahoyador.

Hidrogel en la casilla



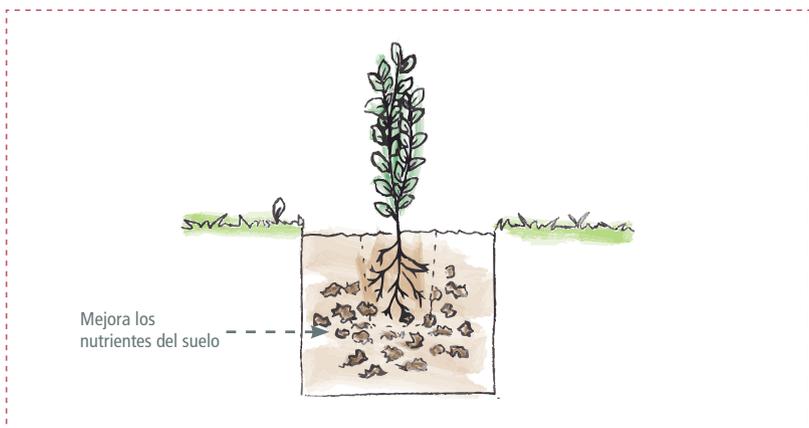
El hidrogel consiste en polímeros hidrofílicos e insolubles en agua, capaces de absorber y retener agua y solutos. Su aplicación en la casilla de plantación tiene un efecto variable sobre las plantas, según el tipo de polímeros, la dosis y la forma de aplicación. En condiciones de sequía prolongada y suelos arcillosos, los hidrogeles pueden competir con la planta por el agua.

Drenes de piedras en la casilla



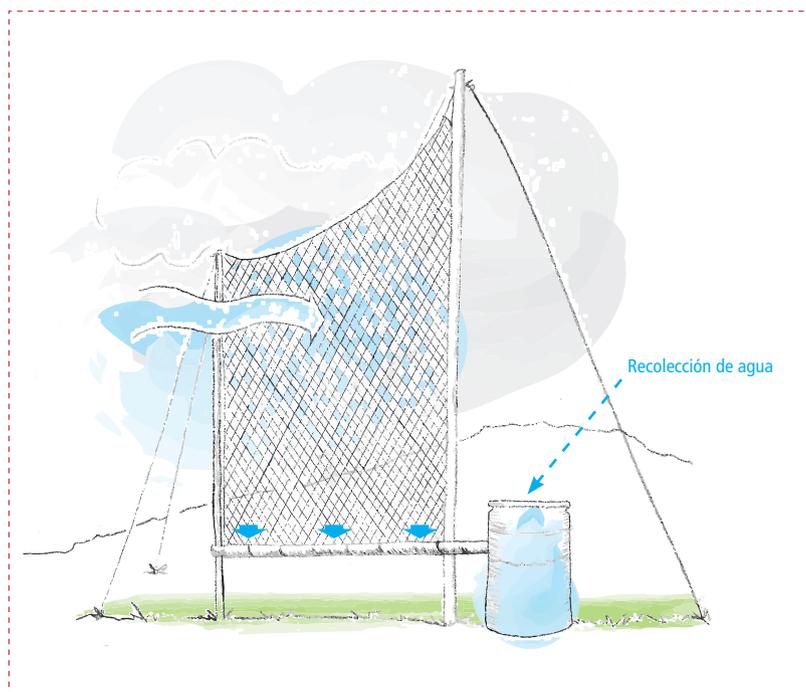
También conocidos como pozos secos, consisten en una o varias columnas verticales rellenas de gravilla, confeccionadas al interior de la casilla de plantación. Estas son capaces de aumentar la velocidad de infiltración y reducir la evaporación, mejorando la disponibilidad hídrica en la zona de desarrollo radicular.

Enmiendas orgánicas de suelo



Las enmiendas orgánicas son fuentes de materia orgánica estabilizada que pueden contribuir a mejorar los contenidos de carbono y nutrientes del suelo y por ende la productividad de las plantas. Algunos ejemplos son compost, humus, lodos estabilizados, etc. Para su aplicación es importante considerar su fuente, nivel de estabilización, las dosis y las formas de aplicación. Las enmiendas de origen agroindustrial pueden aumentar la salinidad en la casilla, situación que se agrava en condiciones de sequía.

Mallas colectoras de agua



También conocidas como mallas atrapaniebla, consisten en estructuras provistas de mallas que permiten coleccionar agua desde la humedad del aire. Estas estructuras son útiles siempre y cuando sean instaladas en sitios costeros o que presenten una humedad relativa alta.



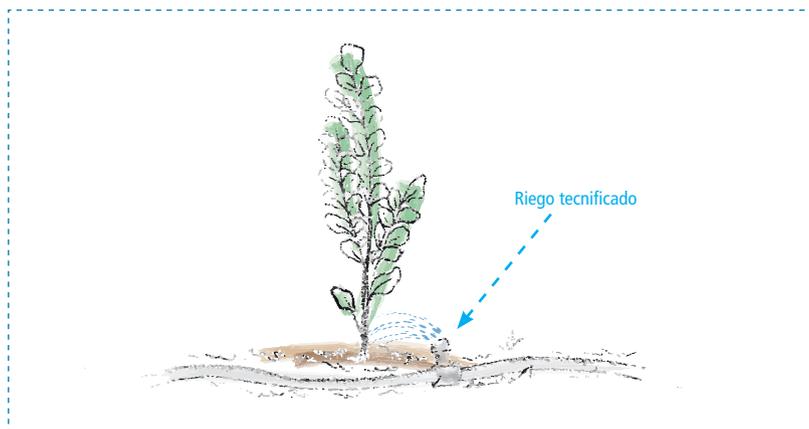
Etapa de Mantenición

La etapa de mantenimiento se extiende durante dos años posterior al establecimiento de las plantas en campo. Las labores de mantenimiento tienen por objetivo disminuir la mortalidad inicial, mantener activo el crecimiento de las plantas y controlar los agentes de daño o competencia que puedan comprometer la sobrevivencia o la sanidad de las plantas. Se entiende que, pasado este período, las plantas han alcanzado un tamaño suficiente que permite proyectar el futuro de la plantación. A continuación se presentan algunas prácticas silviculturales a considerar para la mantención de la plantación.

Prácticas silviculturales para la mantención inicial de la plantación

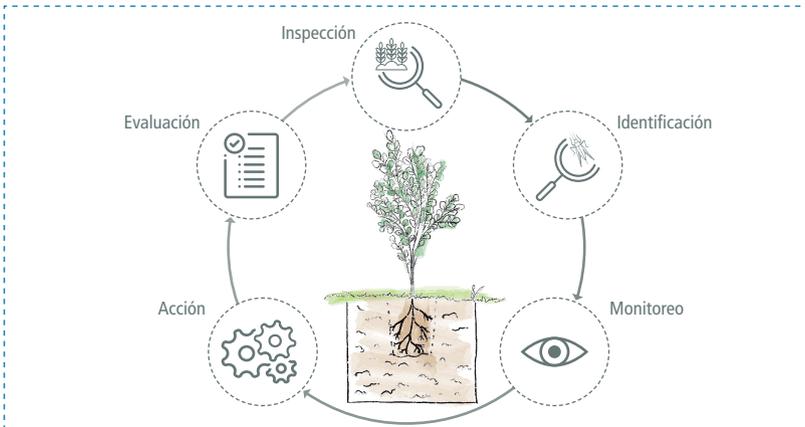
Las siguientes son algunas técnicas disponibles para implementar en experiencias de reforestación con especies nativas del bosque esclerófilo en sitios degradados, durante la etapa de mantención.

Riego



El riego si bien es opcional, es necesario para asegurar la sobrevivencia de las plantas, al menos en la zona más septentrional de la distribución del bosque esclerófilo. El riego se realiza solo durante la temporada seca y puede ser efectuado de manera manual o tecnificada, dependiendo de las fuentes de agua disponible, la envergadura del proyecto y la disponibilidad de recursos. Las dosis y frecuencias de riego dependen de las especies y de las condiciones edafoclimáticas.

Manejo integrado de plagas



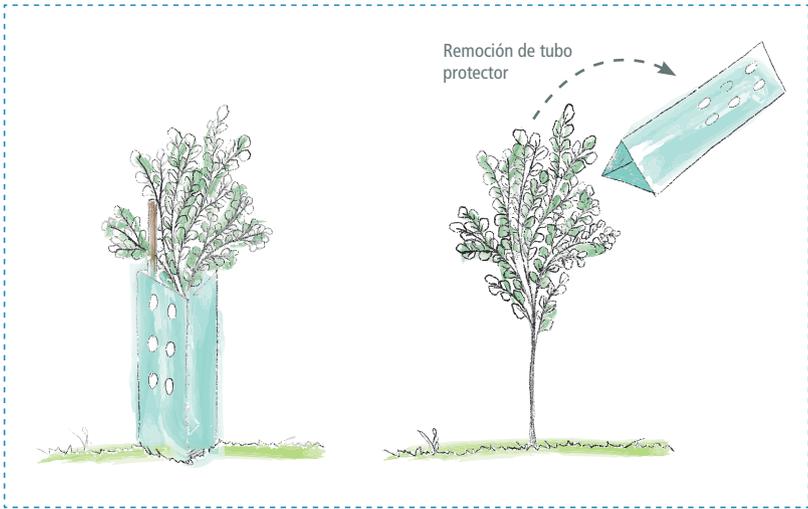
Frente a la presencia de plagas y enfermedades que dañan la parte aérea o radicular de las especies reforestadas, la mejor estrategia incluye medidas de prevención, monitoreo y supresión, de manera de mantener las poblaciones de plagas en niveles apropiados. Se debe evitar a toda costa el uso de insecticidas sistémicos, para evitar alterar las poblaciones de otros organismos.

Mantenición de cercos



A lo largo de la mantención de la plantación, por diversos motivos puede ser necesaria la mantención de los cercos que definen las áreas de manejo, esto para evitar el ingreso y tránsito de ganado principalmente.

Remoción de tubos protectores



Es necesario contemplar la remoción de los tubos protectores, una vez que estos hayan cumplido su función en campo, dependiendo de la condición de desarrollo de cada planta.

Capítulo 2. Experiencia de reforestación con técnicas en vivero y mejoramiento de la casilla de plantación

Rojas-Arévalo, N., Ovalle, J., Arellano, E.

A continuación, presentamos los aprendizajes de un estudio combinado donde se probaron diversas técnicas silviculturales que pueden ayudar a mejorar la sobrevivencia en condiciones de sequía severa. El estudio evaluó tres técnicas, no típicamente utilizadas en Chile, con especies nativas del matorral esclerófilo; el tipo de contenedor durante la viverización, el tipo de acondicionamiento de suelo durante el establecimiento de la plantación y el régimen de riego durante la mantención inicial (**Tabla 1**).

Tabla 1. Descripción cronológica de las técnicas silviculturales estudiadas para las diferentes etapas del plan de reforestación con especies nativas en el marco del Proyecto FIBN CONAF 034/2018

| LOCALIZACIÓN | Vivero Pumahuida | Vivero Antumapu | Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata | Primera temporada | Segunda temporada |
|--------------------|--|-----------------|--|---|--------------------------|
| FECHA | ABR - DIC 2018 | ENE - AGO 2019 | AGO - SEP 2019 | Verano OCT 2019-MAR 2020 | Verano OCT 2020-MAR 2021 |
| ETAPA | Viverización | | Establecimiento | Mantención | |
| TÉCNICAS EVALUADAS | <ul style="list-style-type: none"> Maceta tradicional o bolsa de polietileno negra (B) Maceta aireada (MA) | | <ul style="list-style-type: none"> Control (SC) Compost (SMO) Hidrogel (SH) Dren de piedras (SR) | <ul style="list-style-type: none"> 2 temporadas de riego post-trasplante (Con riego) 1 temporada de riego post-trasplante (Sin riego) | |
| | Vivero | | Campo | | |

La etapa de viverización del estudio fue desarrollada en los viveros Pumahuida Ltda. y Antumapu de la Universidad de Chile, de manera consecutiva (**Tabla 1**). Mientras que el establecimiento del ensayo en campo se realizó en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, Comuna de Maipú, Región Metropolitana (**Figura 10**). El clima predominante de toda la zona es Mediterráneo semiárido, con un promedio anual de precipitaciones históricas de 330 mm, una temperatura media de 15 °C y una humedad relativa media del 67% (*Di Castri & Hajek, 1976*).



Figura 10. Ubicación del sitio de ensayos experimentales de Proyecto FIBN 034/2018 - CONAF (Fotografía: J. Ovalle).

El ensayo en campo fue establecido en 3 sitios representativos del área total seleccionada, y que difieren de acuerdo al nivel y tipo de cobertura vegetal y condiciones de suelo; (1) sin cobertura vegetal, (2) cobertura del 20% de *Baccharis linearis* y herbáceas y (3) cobertura del 20% de *Acacia caven* (**Figura 11 y Tabla 2**).

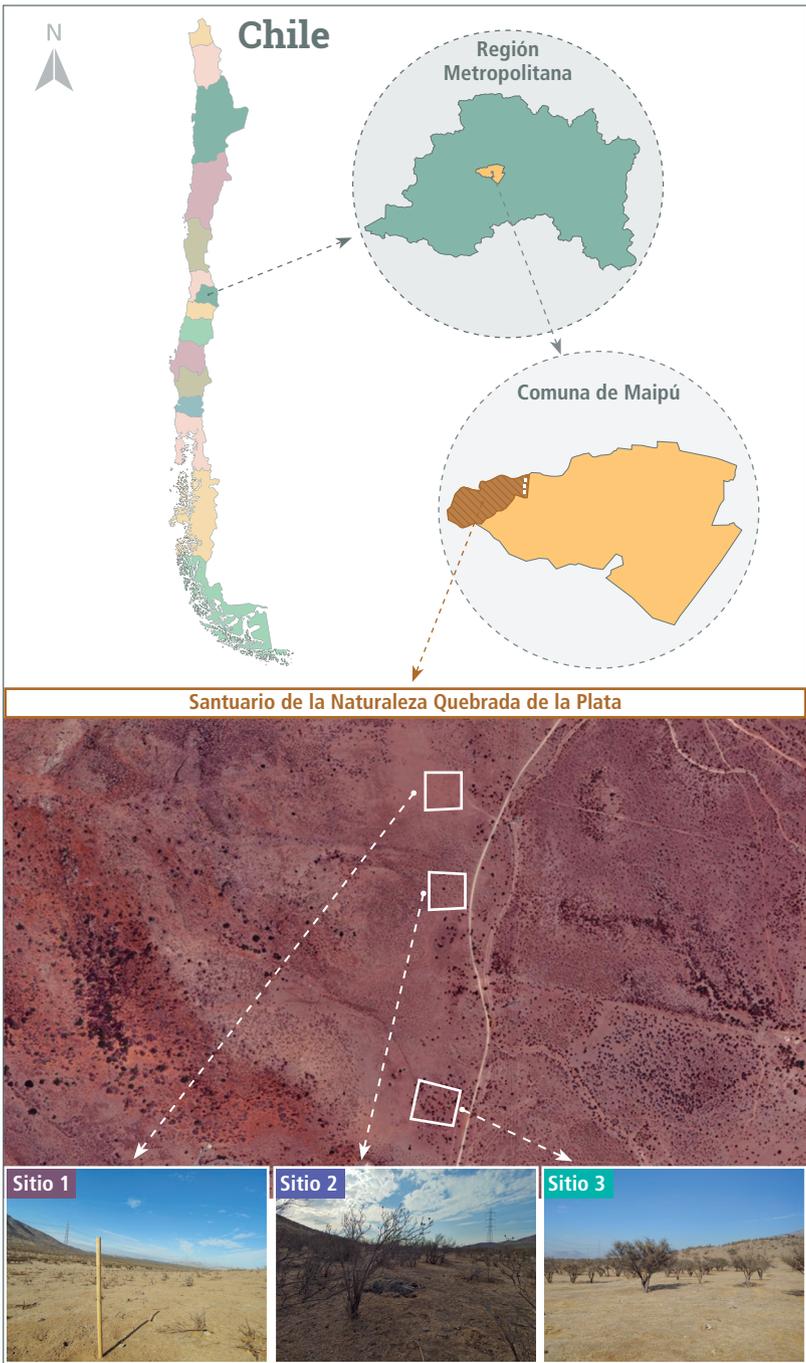


Figura 11. Área de estudio del ensayo en campo.

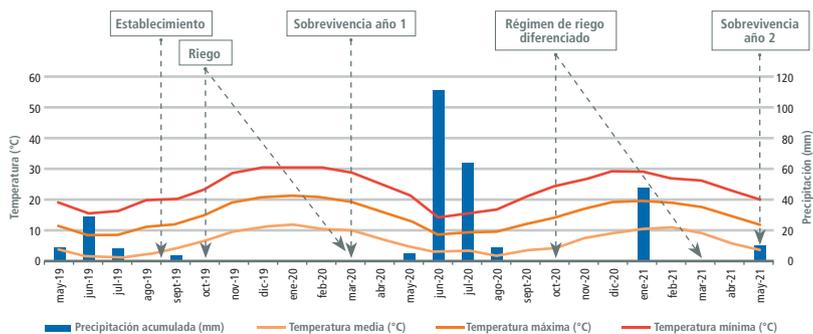


Figura 12. Climograma del área de estudio de la fase en campo, indicando los principales hitos.

Tabla 2. Propiedades de suelo para cada uno de los sitios en estudio, a dos profundidades (0-20 cm y 20-40cm).

| Profundidad (cm) | Sitio 1 | | Sitio 2 | | Sitio 3 | |
|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------|
| | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 |
| MO (%) | 1.78 | 1.93 | 2.44 | 2.03 | 3.14 | 1.36 |
| pH | 6.7 | 6.7 | 6.8 | 6.7 | 6.4 | 6.7 |
| CE (mS/cm) | 0.12 | 0.18 | 0.13 | 0.18 | 0.16 | 0.13 |
| N (mg/kg) | 19.3 | 39.7 | 14 | 41.7 | 27.7 | 19.7 |
| P (mg/kg) | 36 | 40 | 27 | 35.3 | 9.7 | 19.3 |
| K (mg/kg) | 344.7 | 344.3 | 433 | 338 | 302.3 | 285.7 |
| Pedregosidad (%) | 44 | 52 | 49 | 52 | 58 | 62 |
| Clase textural | Franco arenoso | Franco arenoso | Franco arenoso | Franco arcillo arenoso | Franco arcillo arenoso | Franco arcilloso |

Evaluación del tipo de contenedor en la etapa de viverización

Durante la etapa de vivero se evaluó el efecto del uso de dos tipos de contenedores, sobre el desarrollo inicial de las tres especies en estudio (*Lithraea caustica*, *Quillaja saponaria*, *Schinus polygamus*); el contenedor tradicional y el contenedor aireado.

El contenedor tradicional (B) consistió en la bolsa de polietileno negra de medidas 10x15 cm. En tanto, el contenedor aireado (MA) es de polietileno de alta densidad con orificios que permiten la aireación y oxigenación permanente de las raíces y tiene un tamaño de 13x20 cm (*Figura 13*).



Figura 13. Tipos de contenedores evaluados en el estudio. A la izquierda el contenedor aireado y a la derecha el contenedor tradicional. (Fotografía: J. Ovalle).

Evaluación de tipo de acondicionador de casilla en la etapa de establecimiento

En agosto de 2019 se inició el establecimiento de las plantas en campo. Para efectos del ensayo, se realizaron hileras de plantación, con un distanciamiento de 3 m entre hileras y 1.5 m entre plantas, en las que de manera aleatoria se ubicaron los individuos de las tres especies en estudio. En total se establecieron 2.470 plantas de las 3 especies (855 *L. caustica*, 751 *Q. saponaria*, 864 *S. polygamus*), distribuidas en los 3 sitios.

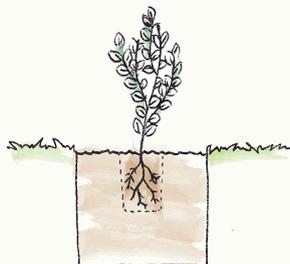
Se utilizaron casillas de plantación profundas, de aproximadamente 50x50x50 cm, las que fueron perforadas con una miniexcavadora (**Figura 14**). Posteriormente, se aplicaron los acondicionadores que fueron seleccionados por ser mejoradores potenciales de suelo en condiciones de sequía; compost, hidrogel y dren de piedras. En la **Tabla 3** se presentan las especificaciones de la aplicación de los acondicionadores de suelo.



Figura 14. Casillas de plantación realizadas con miniexcavadora para el establecimiento del ensayo en campo. (Fotografía: C. Figueroa).

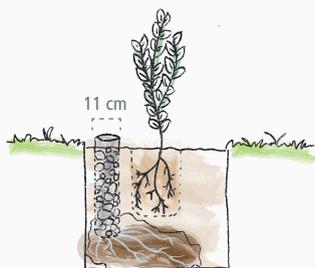
Tabla 3. Tratamientos de acondicionamiento de la casilla de plantación.

Control (SC)



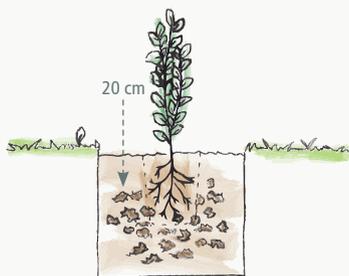
Casilla de plantación sin la adición de ningún acondicionador o enmienda.

Dren de piedras (SR)



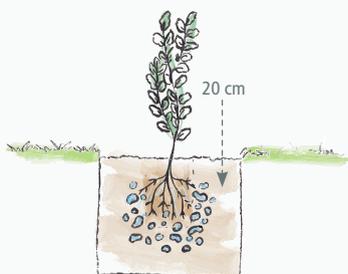
Dentro de la casilla de plantación, se dispuso una columna cilíndrica de 11 cm de diámetro de piedras de distintos tamaños a lo largo del perfil de la casilla, para generar un efecto dren, que permite una rápida infiltración del agua.

Compost (SMO)



Dentro de la casilla de plantación, a los 20 cm de profundidad, se mezcló el suelo con 2 kg de compost de estiércol de vaca lechera.

Hidrogel (SH)



Dentro de la casilla de plantación, a los 20 cm de profundidad, se mezcló el suelo con 30 g de hidrogel marca Silos de Agua / SolidRain® hidratado a un volumen de 2 litros.

Todas las plantas fueron protegidas por tubos protectores de polipropileno verde (Figura 15), para evitar daños por herbivoría.



Figura 15. Ensayo en campo establecido entre agosto y septiembre de 2019. (Fotografía: C. Figueroa).

Tipo de régimen de riego durante época estival la segunda temporada de crecimiento en campo

Dado el alto déficit de precipitaciones durante el año de establecimiento, se implementó un riego mínimo que permitiera reducir la mortalidad potencial y activara el funcionamiento de los acondicionadores de suelo. Para efectos de este estudio, el riego se realizó a partir de la instalación de un contenedor de agua de 5400 L en cada sitio, conectado a una matriz principal de 2 pulgadas con 8 conexiones rápidas para la conexión de mangueras de 1/2 pulgada para la ejecución manual del riego. Para inyectar presión al sistema, se utilizó una motobomba de marca Daewoo modelo GAE-80 3" x 3" con un reductor de 3" a 2".

Durante la primera temporada post-trasplante, el riego consistió en la aplicación de 4 litros por planta al mes de manera directa sobre la casilla de plantación, en todas las plantas del ensayo, entre los meses de octubre a marzo.

Con el objetivo de evaluar la necesidad de continuar el riego, durante la segunda temporada post-trasplante, se interrumpió el riego de la mitad de las plantas del ensayo, manteniendo el régimen inicial para el resto de las plantas (*Figura 16*).

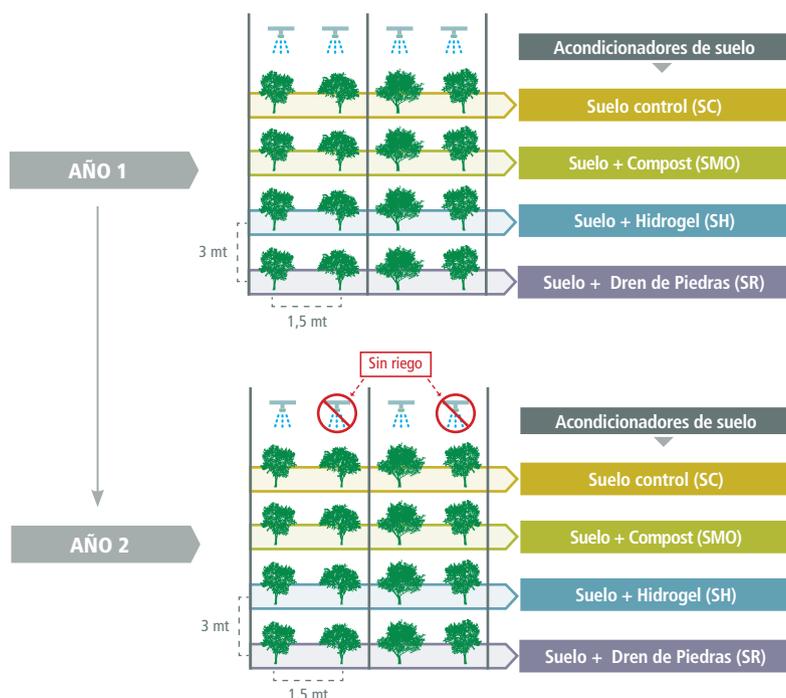


Figura 16. Diseño del estudio en campo.

Capítulo 3. Resultados y aprendizajes sobre el uso de técnicas de reforestación para Chile central

Rojas-Arévalo, N., Ovalle, J., Talamilla, M., Figueroa, C., Arellano, E.

Tipo de contenedor

El tipo de contenedor utilizado en la etapa de viverización tuvo un efecto especie-específico sobre el desarrollo inicial; siendo positivo el uso de la maceta aireada en el caso de litre, pero sin diferencias entre los tipos de contenedor sobre las plantas de quillay y huingán (*Tabla 4*).

En litre, se observó que las macetas aireadas generaron plantas más grandes, con un sistema radicular más desarrollado, que las viverizadas en bolsa plástica.

Por otra parte, el efecto del tipo de contenedor fue mínimo en las plantas de quillay y huingán, donde el tipo de contenedor no tuvo un efecto temprano en las distintas variables para el período de evaluación.

Tabla 4. Valores promedio de las variables morfológicas evaluadas durante la etapa de viverización. Altura (cm), diámetro al cuello (DAC - mm), biomasa seca (g), Longitud de las raíces finas (Long RF - cm), Área de las raíces finas (Área RF - cm²) y Diámetro de las raíces finas (Diámetro RF - mm), para cada tipo de contenedor (bolsa y maceta aireada), para las especies en estudio. (Valoren entre paréntesis corresponden a la desviación estándar).

| Variable | Litre <i>L. caustica</i> | | Quillay <i>Q. saponaria</i> | | Huingán <i>S. polygamus</i> | |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Bolsa | Maceta aireada | Bolsa | Maceta aireada | Bolsa | Maceta aireada |
| Altura (cm) | 10,6 (0,4) | 17,2 (1,1) | 11,7 (2,2) | 11,4 (2,9) | 34,9 (10,9) | 32,4 (8,4) |
| DAC (mm) | 2,9 (0,2) | 4,0 (0,2) | 2,3 (0,3) | 2,3 (0,7) | 4,2 (0,7) | 3,9 (0,7) |
| Biomasa seca (g) | 1,6 (0,2) | 3,4 (0,3) | 0,8 (0,2) | 0,7 (0,3) | 2,1 (0,6) | 2,1 (0,7) |
| Long. RF (cm) | 348,5 (28) | 554,8 (31) | 350,3 (123) | 298,1 (136) | 513,3 (113) | 515,6 (114) |
| Área RF (cm ²) | 68,3 (6,4) | 90,8 (5,5) | 56 (28,2) | 44,8 (23,8) | 91,8 (28,9) | 95,1 (27,1) |
| Diámetro RF (mm) | 0,6 (0,02) | 0,5 (0,01) | 0,5 (0,1) | 0,5 (0,1) | 0,6 (0,1) | 0,6 (0,1) |

Efecto del uso de acondicionadores de casilla

La magnitud del efecto del acondicionamiento de la casilla, la primera temporada post-trasplante fue variable según especie y condiciones sitio. Aun así, en general el uso de hidrogel y el dren de piedras mejoraron la sobrevivencia de las especies en estudio.

La variabilidad de la sobrevivencia entre los sitios fue alta, demostrando que la condición de sitio es determinante en el efecto de los acondicionadores de casillas sobre la sobrevivencia de las plantas (*Tablas 5, 6 y 7*). El sitio 3 presentaba niveles de compactación y una condición arcillosa en superficie muy distintos a los otros dos sitios (*Tabla 2*). En suelos más arcillosos la respuesta de las plantas con acondicionadores fue nula o incluso negativa. Bajo condiciones de sequía prolongada en suelos arcillosos, la escasa macro porosidad del suelo limita la infiltración del agua y el desarrollo radicular. Por otro lado, los acondicionadores como el hidrogel pueden competir por el agua con el suelo, ya que aumenta la fuerza de retención del agua en suelos arcillosos compactados.

Como ocurre en la mayoría de las plantaciones de la zona central, la mayor mortalidad se presentó durante los primeros meses, en el periodo de arraigamiento de las plantas, en plena primavera (*Figuras 17, 18 y 19*). A partir de octubre no se registraron precipitaciones y la humedad relativa estuvo por debajo del 50%, hasta abril del 2020. Luego de esta mortalidad temprana, no se observaron mortalidades superiores al 20% entre dos mediciones para el resto de la temporada seca de la primera temporada post-trasplante.

Litre (*Lithraea caustica*)

El litre fue la especie de mayor éxito de sobrevivencia. Bajo las condiciones de sequía, al final del periodo estival de la primera temporada, se observó una sobrevivencia que osciló entre 59% en plantas de litre de maceta aireada con uso de compost y 82% en plantas de bolsa con hidrogel (**Figura 17**). Los acondicionadores con mayor sobrevivencia, superior al 75%, fueron hidrogel y dren de piedras. Aun así, se observó gran variabilidad entre los sitios, donde en el caso del sitio 1, la sobrevivencia fue cercana al 100%. Esto demuestra la importancia de la condición del sitio para el desempeño de los acondicionadores en plantas de litre (**Tabla 5**).

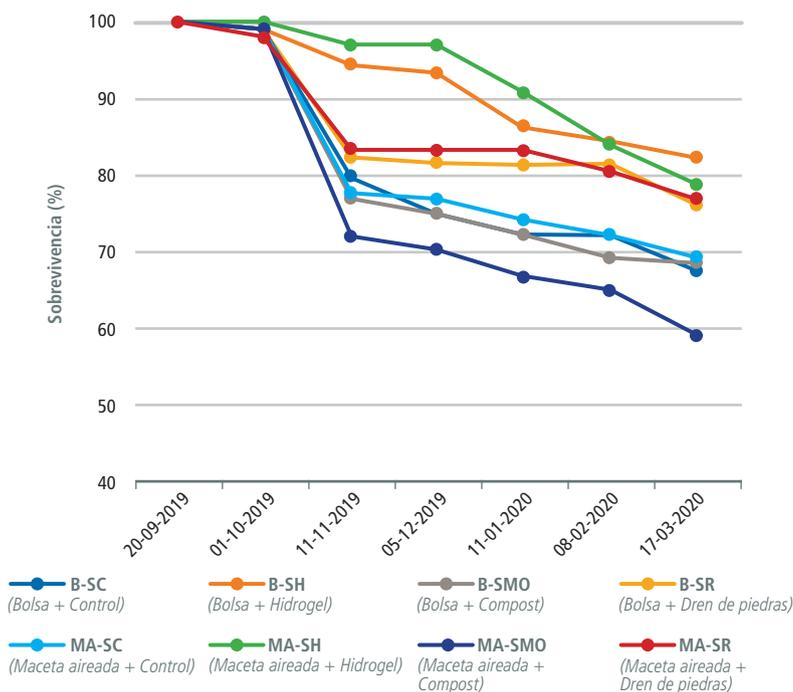


Figura 17. Sobrevivencia promedio de Litre (%) la primera temporada post-trasplante para los 3 sitios evaluados.

Tabla 5. Sobrevivencia promedio de Litre (%) al final de la primera temporada post-trasplante, para cada tipo de acondicionador y cada sitio.

| Sitio | Bolsa | | | | Maceta aireada | | | |
|-------|-------|-----|-----|-----|----------------|----|-----|----|
| | SC | SH | SMO | SR | SC | SH | SMO | SR |
| 1 | 97 | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 | 97 | 97 |
| 2 | 86 | 94 | 86 | 89 | 86 | 83 | 75 | 92 |
| 3 | 19 | 53 | 19 | 39 | 22 | 58 | 6 | 42 |

Quillay (*Quillaja saponaria*)

En las plantas de quillay, la sobrevivencia promedio fue menor a la observada en litre. Se evidenció una sobrevivencia que osciló entre 40% en plantas provenientes de maceta aireada con uso de compost y 78% en plantas de bolsa con uso de hidrogel y 78% en plantas de bolsa con uso de hidrogel (*Figura 18*). Nuevamente, se observó gran variabilidad entre los sitios, con el sitio 3 con menor sobrevivencia que los otros dos sitios, oscilando entre 0 y 43% entre los tratamientos (*Tabla 6*).

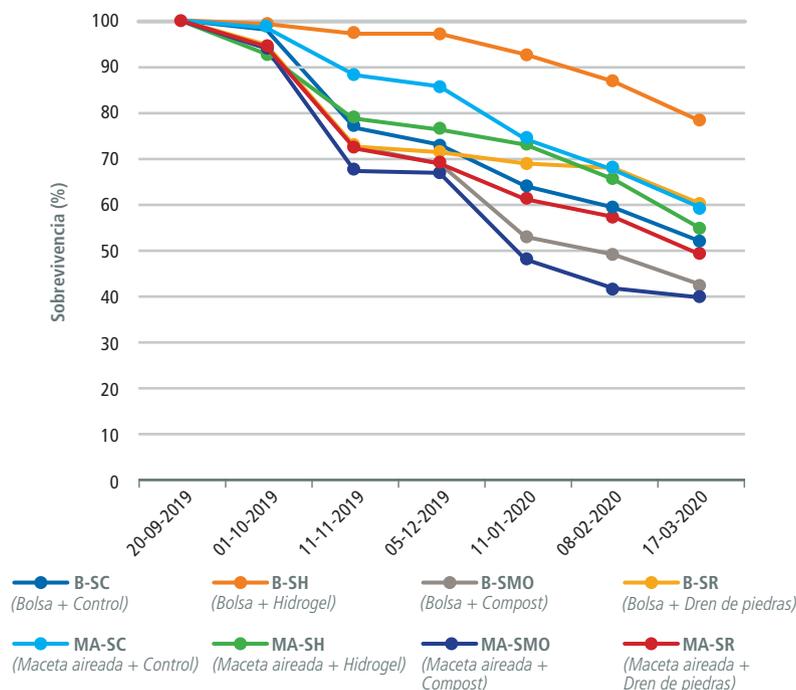


Figura 18. Sobrevivencia promedio de Quillay (%) la primera temporada post-trasplante.

Tabla 6. Sobrevivencia promedio de Quillay (%) al final de la primera temporada post-trasplante, para cada sitio.

| Sitio | Bolsa | | | | Maceta aireada | | | |
|-------|-------|-----|-----|----|----------------|----|-----|----|
| | SC | SH | SMO | SR | SC | SH | SMO | SR |
| 1 | 86 | 100 | 89 | 97 | 83 | 64 | 64 | 78 |
| 2 | 56 | 91 | 36 | 72 | 50 | 78 | 42 | 50 |
| 3 | 14 | 43 | 3 | 14 | 29 | 22 | 0 | 19 |

Huingán (*Schinus polygamus*)

Al final de la primera temporada en campo, se observó una sobrevivencia que osciló entre 61% en plantas de huingán de maceta aireada con casilla con compost y 81% en plantas de maceta aireada con dren de piedras (**Figura 19**). Los tratamientos que tuvieron mejores sobrevivencias fueron los con hidrogel y dren de piedras. Se observó una gran variabilidad entre los sitios, siendo el sitio 3 el con menor sobrevivencia, en todos los tratamientos (**Tabla 7**).

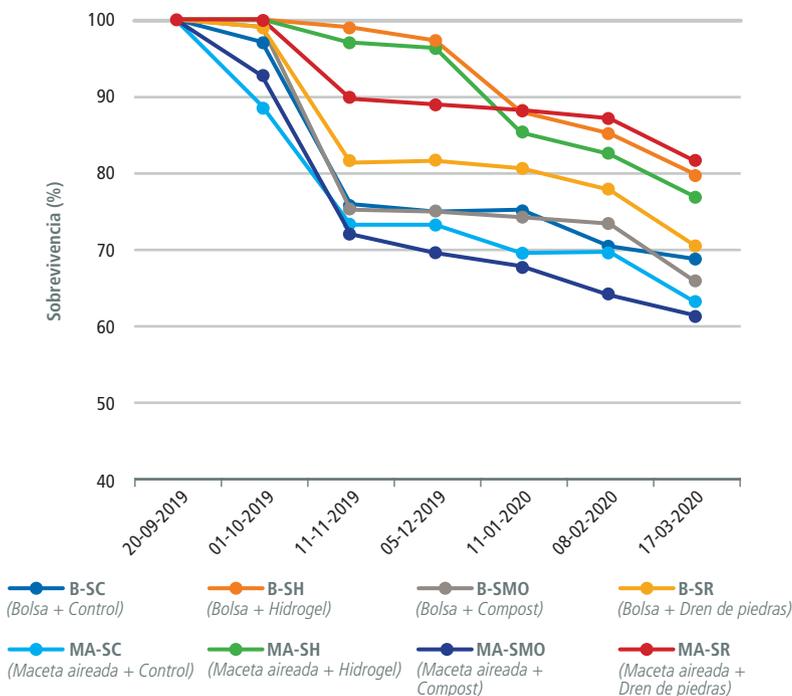


Figura 19. Sobrevivencia promedio de Huingán (%) la primera temporada post-trasplante.

Tabla 7. Sobrevivencia promedio de Huingán (%) al final de la primera temporada post-trasplante, para cada sitio.

| Sitio | Bolsa | | | | Maceta aireada | | | |
|-------|-------|-----|-----|----|----------------|-----|-----|-----|
| | SC | SH | SMO | SR | SC | SH | SMO | SR |
| 1 | 97 | 100 | 100 | 97 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 89 | 86 | 78 | 67 | 78 | 89 | 83 | 86 |
| 3 | 19 | 53 | 19 | 47 | 11 | 42 | 0 | 58 |

Régimen de riego

Cortar el riego la segunda temporada post trasplante no generó efectos adversos significativos sobre la sobrevivencia de las plantas. Sin embargo, esto está probablemente explicado por la lluvia ocurrida entre el 28 y el 31 de enero de 2020, un evento climático en toda la zona central que dejó 48 mm en el área de estudio. Este fenómeno posiblemente atenuó el efecto de la ausencia de riego durante la segunda temporada (**Figura 12**).

A pesar de la ausencia de efectos significativos por cortar el riego, los acondicionadores de suelo presentaron similares tendencias a las observadas la primera temporada post-trasplante, con dren de piedras e hidrogel como los tratamientos con mejor sobrevivencia (Tabla 8). Siendo el dren de piedras el tratamiento que presentó las plantas más grandes en términos de altura y de diámetro al cuello (**Tablas 9 y 10**).

Litre y huigán fueron las especies con mejor desempeño, la segunda temporada post-trasplante, con valores de sobrevivencia promedio que oscilaron entre 55 y 72%. Mientras que en quillay la sobrevivencia fue inferior al 53%, observado en plantas en casillas con hidrogel y sin riego.

Tabla 8. *Sobrevivencia promedio (%) para cada tipo de acondicionador de casilla (SC - Control, SH - Hidrogel, SMO - Compost y SR - dren de piedras) y regímenes de riego (sin riego y con riego), la segunda temporada post-trasplante, para las especies en estudio.*

| | Litre | | Quillay | | Huigán | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego |
| SC | 59 | 67 | 38 | 41 | 55 | 65 |
| SH | 68 | 72 | 53 | 48 | 65 | 69 |
| SMO | 56 | 55 | 31 | 30 | 61 | 60 |
| SR | 69 | 65 | 39 | 46 | 69 | 67 |

Adicionalmente, para todas las especies, las plantas con mayor desarrollo fueron observadas en las casillas con drenes de piedras, tanto en términos de la altura (**Tabla 9**), como de diámetro al cuello (**Tabla 10**). Los drenes son intervenciones profundas que favorecen no solo la infiltración, sino que promueven una buena aireación, especialmente en suelos compactados.

Tabla 9. Altura promedio (cm) para cada tipo de acondicionador (SC - Control, SH - Hidrogel, SMO - Compost y SR - dren de piedras), sin riego y con riego la segunda temporada post-trasplante, para las especies en estudio.

| | Litre | | Quillay | | Huingán | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego |
| SC | 84.5 | 88 | 43.2 | 47.2 | 94.1 | 86.8 |
| SH | 76 | 79.7 | 48.8 | 52.4 | 90.2 | 91.3 |
| SMO | 89.5 | 85.9 | 40.2 | 45.4 | 89.9 | 98.6 |
| SR | 96.3 | 101.4 | 59.1 | 69.3 | 95.8 | 95.7 |

Tabla 10. Diámetro al cuello promedio (DAC - mm) para cada tipo de acondicionador (SC - Control, SH - Hidrogel, SMO - Compost y SR - dren de piedras), sin riego y con riego la segunda temporada post-trasplante, para las especies en estudio.

| | Litre | | Quillay | | Huingán | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego |
| SC | 12.8 | 15.3 | 6.5 | 6.5 | 12.3 | 10.9 |
| SH | 12 | 12.2 | 6.8 | 7 | 11.7 | 11.1 |
| SMO | 13.3 | 13.3 | 7.7 | 6.8 | 11.2 | 11.8 |
| SR | 15.2 | 15.4 | 8.4 | 8.9 | 13.7 | 13.3 |

Litre (*Lithraea caustica*)

Los tratamientos de casilla con mejor sobrevivencia promedio para litre, fueron hidrogel y dren de piedras, independiente del régimen de riego, con sobrevivencias que oscilaron entre 65 y 72% (**Tabla 8**). Aun así, hubo un evidente efecto de la calidad de sitio, con sobrevivencias promedio sobre 97% en el sitio 1, mientras que en el sitio 3 la sobrevivencia promedio no superó el 39% entre los tipos de acondicionadores de casilla (**Tabla 11**).

Las plantas en casillas con drenes de piedras fueron las de mayor desarrollo morfológico en términos de altura y diámetro al cuello, mientras que las plantas más pequeñas fueron las de casillas con hidrogel (**Tablas 9 y 10**).

Tabla 11. Sobrevivencia promedio de litre (%) para cada tipo de acondicionador (SC - Control, SH - Hidrogel, SMO - Compost y SR - dren de piedras), sin riego y con riego, en los sitios en estudio, la segunda temporada post-trasplante.

| | Litre | | | | | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sitio 1 | | Sitio 2 | | Sitio 3 | |
| | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego |
| SC | 97 | 100 | 64 | 86 | 17 | 14 |
| SH | 100 | 97 | 79 | 81 | 25 | 39 |
| SMO | 100 | 97 | 67 | 61 | 3 | 6 |
| SR | 100 | 97 | 81 | 72 | 28 | 25 |

Quillay (*Quillaja saponaria*)

La sobrevivencia de quillay fue baja independiente del acondicionador utilizado, con valores inferiores al 53% observado en las plantas creciendo en casillas con hidrogel y sin riego, la segunda temporada post-trasplante (**Tabla 8**). Las plantas en casillas con drenes fueron las más grandes, en cuanto a altura y diámetro al cuello (**Tablas 9 y 10**).

En quillay, la variabilidad entre los sitios en estudio, tuvo un fuerte efecto sobre la sobrevivencia. En el sitio 1 la sobrevivencia fue superior al 64%, mientras que en el sitio 3 en la mayoría de los tratamientos no sobrevivió ninguna planta (**Tabla 12**).

Tabla 12. Sobrevivencia promedio de quillay (%) para cada tipo de acondicionador (SC - Control, SH - Hidrogel, SMO - Compost y SR - dren de piedras), sin riego y con riego, en los sitios en estudio.

| | Quillay | | | | | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sitio 1 | | Sitio 2 | | Sitio 3 | |
| | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego |
| SC | 81 | 83 | 33 | 36 | 0 | 4 |
| SH | 91 | 83 | 67 | 48 | 0 | 14 |
| SMO | 69 | 64 | 22 | 25 | 0 | 0 |
| SR | 81 | 94 | 36 | 42 | 0 | 3 |

Huingán (*Schinus polygamus*)

El tratamiento con mejor sobrevivencia para huingán fue el dren de piedras, con valores que oscilaron entre 67 y 69% (**Tabla 8**). Este acondicionador de casilla fue además el que presentó las plantas con mayor desarrollo, combinando altura y diámetro al cuello (**Tablas 9 y 10**).

Para esta especie, sitio 1 presentó valores de sobrevivencia superiores a 97%, mientras que en el sitio 3 la sobrevivencia no superó el 31%, observado en casillas con hidrogel y riego la segunda temporada post-trasplante (**Tabla 13**).

Tabla 13. Sobrevivencia promedio de huingán (%) para cada tipo de acondicionador (SC - Control, SH - Hidrogel, SMO - Compost y SR - dren de piedras), sin riego y con riego, en los sitios en estudio.

| | Huingán | | | | | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Sitio 1 | | Sitio 2 | | Sitio 3 | |
| | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego | Sin riego | Con riego |
| SC | 97 | 97 | 64 | 81 | 3 | 17 |
| SH | 97 | 97 | 78 | 81 | 19 | 31 |
| SMO | 100 | 100 | 75 | 72 | 8 | 8 |
| SR | 100 | 97 | 78 | 75 | 28 | 28 |

Capítulo 4. Estructura de costos de las técnicas de reforestación implementadas en el estudio

Figueroa, C., Rey, C., Rojas-Arévalo N, Arellano, E

En base a los costos de viverización (producción y mantención de las plántulas en vivero), establecimiento (ahoyadura, preparación de casilla y plantación) y mantención (riego) que se tuvieron en el desarrollo del estudio, presentamos una estimación de costos por hectárea, que permiten comparar valores relativos de la reforestación con las técnicas evaluadas (*Tabla 14*). Los valores estimados no consideraron la demarcación y construcción de cercos, ni en pago de un encargado de la experiencia. Se consideró una densidad de plantación de 2.222 plantas por hectáreas y las estimaciones se obtuvieron a partir de supuestos y extrapolaciones de los costos asociados a la experiencia piloto, por lo que podrían estar sobre estimados.

El costo promedio de implementación de las técnicas evaluadas, considerando las 3 especies, fue de 560 UFs por ha aprox. La combinación de tratamientos menos costosa fue Contenedor bolsa x Control (sin acondicionador) x Riego por 1 temporada, oscilando entre 438 y 469 UFs por ha, con sobrevivencias de 56% en litre, 35% en quillay y 48% en huingán. Mientras que, la combinación de tratamientos más costosa fue Maceta aireada x Dren de piedras x Riego por 2 temporadas, oscilando entre 674 y 691 UFs por ha, con sobrevivencias de 63% en litre, 41% en quillay y 70% en huingán.

Tabla 14. Estimación general del costo (UF) de los tratamientos evaluados en el estudio; tipo de contenedor, tipo de acondicionador de casilla y tipo de régimen de riego, para cada una de las especies en estudio.

| Tratamientos | | | Costo UF/ha (considera costos de viverización, plantación y mantención durante 2 años) | | |
|----------------------|--------------|------------------------------|--|-------|---------|
| Maceta | Riego | Acondicionador | Quillay | Litre | Huingán |
| Maceta aireada | Riego 1° año | SC (Suelo control) | 551,0 | 567,8 | 551,0 |
| | | SMO (Suelo + Compost) | 562,4 | 579,2 | 562,4 |
| | | SR (Suelo + Dren de piedras) | 594,3 | 611,1 | 594,3 |
| | | SH (Suelo + Hidrogel) | 570,0 | 586,8 | 570,0 |
| | Riego 2° año | SC (Suelo control) | 630,8 | 647,6 | 630,8 |
| | | SMO (Suelo + Compost) | 642,2 | 659,0 | 642,2 |
| | | SR (Suelo + Dren de piedras) | 674,0 | 690,8 | 674,0 |
| | | SH (Suelo + Hidrogel) | 649,8 | 666,6 | 649,8 |
| Bolsa de polietileno | Riego 1° año | SC (Suelo control) | 437,9 | 468,9 | 437,9 |
| | | SMO (Suelo + Compost) | 449,3 | 480,3 | 449,3 |
| | | SR (Suelo + Dren de piedras) | 481,1 | 512,2 | 481,1 |
| | | SH (Suelo + Hidrogel) | 456,8 | 487,9 | 456,8 |
| | Riego 2° año | SC (Suelo control) | 517,6 | 548,7 | 517,6 |
| | | SMO (Suelo + Compost) | 529,0 | 560,1 | 529,0 |
| | | SR (Suelo + Dren de piedras) | 560,9 | 592,0 | 560,9 |
| | | SH (Suelo + Hidrogel) | 536,6 | 567,7 | 536,6 |

Aprendizajes finales de la experiencia piloto

Las condiciones de sequía prolongada y olas de calor son un factor importante a considerar en el éxito final de las experiencias de restauración en la Región Metropolitana. Por lo tanto, resulta importante evaluar distintas alternativas de establecimiento que generen condiciones más favorables para las iniciativas de restauración ecológica.

El efecto combinado de plantas desarrolladas en contenedores y un buen acondicionamiento de sitio reducen la mortalidad inicial de las plántulas. Si bien en nuestro estudio, los efectos de los contenedores en vivero sobre los atributos morfológicos fueron limitados, probablemente la duración del periodo de viverización de una temporada no permitió un desarrollo total de las plántulas. Resulta crítico en el proceso de planificación, considerar los tiempos adecuados que permitan el periodo de desarrollo específico de las distintas especies, que en la mayoría de los casos debe ser mayor a un año.

El efecto del uso de una casilla profunda y de los acondicionadores de suelo fue positivo en comparación a la situación control. Tanto el uso de hidrogel como el uso de drenes de piedras mejoraron los resultados de sobrevivencia bajo las severas condiciones de sequía y degradación de los sitios reforestados. La aplicación de compost, en la dosis utilizada en este estudio, no generó una mejora en la sobrevivencia. La utilización de compost en condiciones semiáridas debe ser evaluada con precaución, limitando sus dosis y caracterizando la fuente del residuo en forma adecuada ya que en muchos casos se generan aumentos en los niveles de salinidad del suelo.

Si bien el uso de acondicionadores de suelo genera efectos positivos sobre la sobrevivencia, la magnitud del efecto depende de las condiciones de sitio. La condición de sitio favorable con suelos más profundos, de texturas francas más livianas y bien drenados respondió mejor a la aplicación de acondicionadores de suelo. En los sitios arcillosos y compactados, si bien se puede observar alguna mejora, se debe evaluar la necesidad de inversión bajo condiciones tan adversas. Para hidrogeles y compost, los ajustes de dosis y las condiciones físicas de los suelos son una variable importante a ser considerada y no debiesen ser utilizados si las condiciones de suelo son muy restrictivas como las del sitio 3 de este estudio.

La estandarización de recomendaciones para el establecimiento de acciones de restauración ecológica en condiciones de sequía, debe incorporar la variabilidad de requerimientos de las especies a utilizar y las condiciones de suelo. Para un mejor logro en los planes de restauración se vuelve necesaria la incorporación de especies que no son tradicionalmente utilizadas en las prácticas de forestación o reforestación como el Huingán o el Litre ya que pueden ayudar a mejorar los resultados de iniciativas de restauración, teniendo en cuenta que la restauración es un proceso que no solo conlleva el restablecimiento de las especies arbóreas del ecosistema. El uso del riego solamente en las fases iniciales de establecimiento se ha transformado en una práctica común en la zona central. En esta experiencia, el uso mínimo de 4 litros por planta al mes permitió la sobrevivencia del primer

año en una temporada particularmente seca. En el segundo año, donde se evaluó el efecto de interrumpir el riego los efectos fueron mínimos, pero ocurrió una inusual precipitación durante el mes de enero.

Los desafíos de la restauración en la zona Mediterránea de Chile central deberán incorporar estas nuevas condiciones de déficit permanente de precipitaciones y la falta de sitios de buena calidad. Para incorporar técnicas de manejo, como las evaluadas en estos pilotajes, se deben considerar las variables de sitio específicas del lugar a restaurar.



Referencias

- Acevedo, M., Álvarez-Maldini, C., Dumroese, R. K., Bannister, J. R., Cartes, E., & González, M. (2021). Native Plant Production in Chile. Is It Possible to Achieve Restoration Goals by 2035? *Land* 2021, Vol. 10, Page 71, 10(1), 71. <https://doi.org/10.3390/LAND10010071>
- Acevedo, M., Álvarez, C., Cartes, E., Dumroese, R. K., & González, M. (2020). Production and establishment techniques for the restoration of *Nothofagus alessandrii*, an endangered keystone species in a Mediterranean forest. *New Forests*, 51(1), 159–174. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09724-x>
- Andivia, E., Villar-Salvador, P., Oliet, J. A., Puértolas, J., Dumroese, R. K., Ivetić, V., ... Ovalle, J. F. (2021). Climate and species stress resistance modulate the higher survival of large seedlings in forest restoration worldwide. *Ecological Applications*, e2394. <https://doi.org/10.1002/EAP.2394>
- Arellano, E. C., Ovalle, J. F., & Valenzuela, P. (2016). Restauración en Chile central: Estrategias para el éxito de programas silviculturales en zonas semiáridas. *Chile Forestal*, 14.
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>
- Becerra, P. I., González-Rodríguez, V., Smith-Ramírez, C., & Armesto, J. (2011). Spatio-temporal variation in the effect of herbaceous layer on woody seedling survival in a Chilean mediterranean ecosystem. *Journal of Vegetation Science*, 22(5), 847–855. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01291.x>
- Becerra, P., Smith-Ramírez, C., & Arellano, E. (2018). *Evaluación de técnicas pasivas y activas para la recuperación del bosque esclerófilo de Chile central*.
- Cartes, E., Acevedo, M., González, M., Álvarez Maldini, C., García, E., & Mena, P. (2019). Manual de manejo de riego y fertilización en viveros de plantas a raíz cubierta. *Manual de manejo de riego y fertilización en viveros de plantas a raíz cubierta*. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/29152>
- Chirino, E., Vilagrosa, A., Hernández, E., Matos, A., & Vallejo, R. (2008). Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management*, 256(4), 779–785. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.035>

del Campo, A. D., Segura-Orenga, G., Bautista, I., Ceacero, C. J., González-Sanchis, M., Molina, A. J., & Hermoso, J. (2021). Assessing reforestation failure at the project scale: The margin for technical improvement under harsh conditions. A case study in a Mediterranean Dryland. *The Science of the Total Environment*, 796. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148952>

Fremout, T., Thomas, E., Bocanegra-González, K. T., Aguirre-Morales, C. A., Morillo-Paz, A. T., Atkinson, R., ... Muys, B. (2021). Dynamic seed zones to guide climate-smart seed sourcing for tropical dry forest restoration in Colombia. *Forest Ecology and Management*, 490(March). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119127>

Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., ... Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <https://doi.org/10.1111/REC.13035>

Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(4), 421–439. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>

Haase, D. L., Bouzza, K., Emerton, L., Friday, J. B., Lieberg, B., Aldrete, A., & Davis, A. S. (2021). The High Cost of the Low-Cost Polybag System: A Review of Nursery Seedling Production Systems. *Land 2021, Vol. 10, Page 826*, 10(8), 826. <https://doi.org/10.3390/LAND10080826>

Luis, V. C., Puértolas, J., Climent, J., Peters, J., González-Rodríguez, Á. M., Morales, D., & Jiménez, M. S. (2009). Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. *European Journal of Forest Research*, 128(3), 221–229. <https://doi.org/10.1007/s10342-009-0257-7>

Oliet, J. A., Blasco, R., Valenzuela, P., Melero de Blas, M., & Puértolas, J. (2019). Should we use meshes or solid tube shelters when planting in Mediterranean semiarid environments? *New Forests*, 50, 267–282. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9659-z>

Oliet, J. A., & Jacobs, D. F. (2007). Microclimatic conditions and plant morpho-physiological development within a tree shelter environment during establishment of *Quercus ilex* seedlings. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144(1–2), 58–72. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.01.012>

Oliet, J., Puértolas, J., Planelles, R., & Jacobs, D. F. (2013). Nutrient loading of forest tree seedlings to promote stress resistance and field performance: a Mediterranean perspective. *New Forests*, 44(5), 649–669. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9382-8>

Ovalle, J.F., Arellano, E. C., Oliet, J. A., Becerra, P., & Ginocchio, R. (2016). Linking nursery nutritional status and water availability post-planting under intense summer drought: The case of a South American mediterranean tree species. *IForest*, 9(5). <https://doi.org/10.3832/for1905-009>

Ovalle, J.F., Ginocchio, R., Arellano, E. C., & Valenzuela, P. (2017). Root adaptive management for improving plant quality and field performance under drought: experiences with native tree species from a South American Mediterranean-type ecosystem. *Plant Sociology*, 54.

Ovalle, Juan F., Arellano, E. C., Ginocchio, R., & Becerra, P. (2016). Fertilizer location modifies root zone salinity, root morphology, and waterstress resistance of tree seedlings according to the watering regime in a dryland reforestation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(2), 223–233. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500181>

Piñeiro, J., Maestre, F. T., Bartolomé, L., & Valdecantos, A. (2013). Ecotechnology as a tool for restoring degraded drylands: A meta-analysis of field experiments. *Ecological Engineering*, 61, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.066>

Reid, J. L., Fagan, M. E., & Zahawi, R. A. (2018). Positive site selection bias in meta-analyses comparing natural regeneration to active forest restoration. *Science Advances*, 4(5), 9143–9159. <https://doi.org/10.1126/SCIADV.AAS9143/ASSET/17766A2C-9C6F-45A8-A111-154CDB3F7A4A/ASSETS/GRAPHIC/AAS9143-F1.JPEG>

Rojas-Arévalo, N., Ovalle, J. F., Oliet, J. A., Piper, F. I., Valenzuela, P., Ginocchio, R., & Arellano, E. C. (2021). Solid shelter tubes alleviate summer stresses during outplanting in drought-tolerant species of Mediterranean forests. *New Forests*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09872-z>

Valenzuela, P., Arellano, E. C., Burger, J. A., & Becerra, P. (2016). Using facilitation microsites as a restoration tool for conversion of degraded grasslands to *Nothofagus* forests in Southern Patagonia. *Ecological Engineering*, 95, 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.116>

Anexo 1

Este apartado presenta los códigos QR para acceder a las fichas de 15 especies nativas del bosque esclerófilo, con información sobre su descripción, distribución, sitios de colecta y métodos de propagación.

ÁRBOLES Y ARBUSTOS PARA RESTAURACIÓN EN CHILE CENTRAL

Escaneando estos códigos podrás acceder a información sobre como identificar, coleccionar semillas y propagar especies leñosas nativas de Chile central.
¡Te invitamos a escanear el código QR de tu especie favorita!



Espino
(*Vachellia caven*)



Algarrobo
(*Prosopis chilensis*)



Litre
(*Lithraea caustica*)



Romerillo
(*Baccharis linearis*)



Quillay
(*Quillaja saponaria*)



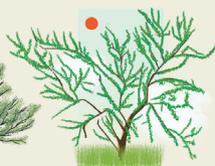
Quebracho
(*Senna candolleana*)



Bollén
(*Kageneckia oblonga*)



Huingán
(*Schinus polygamus*)



Tralhuén
(*Trevoa quinquenervia*)



Colliguay
(*Colliguaja odorifera*)



Corontillo
(*Escallonia pulverulenta*)



Chilca
(*Baccharis paniculata*)



Menta de árbol
(*Gardoquia gilliesii*)



Huañil
(*Proustia cuneifolia*)



Quilo
(*Muehlenbeckia hastulata*)



www.sueloyrestauracion.cl



Autores

Nadia Rojas-Arévalo

Pontificia Universidad Católica de Chile
Center of Applied Ecology and
Sustainability (CAPES)

Juan F. Ovalle

Universidad de Chile
Center of Applied Ecology and
Sustainability (CAPES)

César Figueroa C.

LBC Consultores Ltda.

Victoria Madrid

Pontificia Universidad Católica de Chile
Center of Applied Ecology and
Sustainability (CAPES)

Claudia Rojas

Universidad de O'Higgins
Center of Applied Ecology and
Sustainability (CAPES)

Eduardo Arellano

Pontificia Universidad Católica de Chile
Center of Applied Ecology and
Sustainability (CAPES)

Camila Rey

Pontificia Universidad Católica de Chile
Center of Applied Ecology and
Sustainability (CAPES)
Consultora Vínculo Agrario

Marcelo Talamilla Noriega

Pontificia Universidad Católica de Chile

Pablo Becerra

Pontificia Universidad Católica de Chile
Center of Applied Ecology and
Sustainability (CAPES)
Centro Nacional de Excelencia para la
Industria de la Madera (CENAMAD)





ISBN: 978-956-09038-3-9



9 789560 903839

