



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

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA

EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE COSECHA DE AGUA
APLICADAS A FORESTACIÓN DE ESPECIES NATIVAS EN
CLIMAS MEDITERRÁNEOS-SEMIÁRIDOS

Informe Final Práctica Profesional para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

FABIÁN ESTEBAN ROJAS MUNDACA

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

Santiago, Chile

2019

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

EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE COSECHA Y CONSERVACIÓN
DE AGUA APLICADAS A FORESTACIONES DE ESPECIES
NATIVAS EN CLIMA MEDITERRÁNEOS-SEMIÁRIDOS

Informe Final Práctica Profesional para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

FABIÁN ESTEBAN ROJAS MUNDACA

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Dr. Eduardo Martínez Herrera	7,0
Prof. Consejero Dr. Carlos Magni Díaz	7,0
Prof. Consejero Dr. Juan Ovalle Ortega	6,8

...a mi madre...

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos cordiales a Biocys por darme la oportunidad de trabajar un período en uno de sus proyectos de reforestación; al Sr. Mauricio Lemus, Ingeniero Forestal y Gerente General de Biocys, por su apoyo y presencia constante, a su motivación para la difusión de prácticas sustentables y por invitarme a colaborar en esta difusión. Agradecer a todos los trabajadores y empleados de Biocys: a Vanessa González, Ingeniera Forestal, por sus comentarios al proyecto de práctica y ejecutar el ensayo durante 2017; a Rigey, por su alegría; a todos los empleados administrativos que no tuve la oportunidad de conocer. Agradecimientos especiales con quienes trabaje en terreno, partiendo por Julio Plaza y Nicolas Calderón, jefes de terreno, por modificar sus actividades para ayudarme especialmente en desplazamiento. Finalmente, agradecer a los obreros: Cristián, Rodrigo, Héctor, Dorila, Jean Baptiste, a todos chilenos y haitianos. Mencionar agradecimientos cordiales al Sr. José Valenzuela y Sr. Carlos Moffett, representantes de Silos de Agua, por el aporte de hidrogel necesario para la realización de la práctica.

Agradecer mi profesor guía, Eduardo Martínez, Ingeniero Forestal, por su apoyo constante, a pesar de mis errores y mi arrogancia, agradezco la oportunidad de colaborar en las prácticas de terreno e investigaciones. A mi profesor consejero, Carlos Magni, Ingeniero Forestal, por su apoyo y consejos, siempre certeros y abundantes, a veces muy abundantes, pero sobre todo agradezco la celeridad con la cual siempre me respondió. A mi profesor consejero, Juan Ovalle, Ingeniero Agrónomo, quien a pesar de la súbita asignación a mi práctica me entrego valiosos consejos. Además, agradecer a mi anterior profesor consejero, Pablo García, por su constante dedicación e interés. Si bien Eduardo y Carlos son mencionados los agradecimientos son extendidos a todo el personal del Centro de Semillas Forestales y Vivero Antumapu por darme la oportunidad de trabajar con ellos: Alejandro, Brunilda, Ana, José, María Julia, Yazmín, Carla, todas las Nicole, Brayan, Betsabé, Suraj, Iván y todos mis compañeros que pasaron un tiempo bajo la sombra del vivero o en el caluroso galpón.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Forestación convencional.....	1
1.1.1	Prácticas culturales de enmienda de suelos.....	2
1.2	Uso de agua en plantaciones forestales.....	3
1.2.1	Métodos de riego	3
1.2.2	Técnicas de cosecha de agua.....	4
1.3	Método de forestación de Miyawaki	5
1.4	Pertinencia.....	5
2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
2.1	Material	6
2.2	Método	10
2.2.1	Forestación Miyawaki.....	10
2.2.2	Mediciones	11
2.2.3	Base de datos.....	12
2.2.4	Análisis estadísticos.....	13
2.2.5	Propuestas para ensayos.....	13
2.2.6	Elaboración de fichas técnicas	13
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
3.1	Ensayo de prácticas de cosecha de agua	15
3.1.1	Crecimiento en altura por método de cosecha	15
3.1.2	Crecimiento y sobrevivencia en <i>Acacia caven</i> (espino)	16
3.1.3	Crecimiento y sobrevivencia en <i>Quillaja saponaria</i> (quillay).....	19
3.1.4	Algarrobo	21
3.1.5	Humedad de suelo	22
3.2	Método Miyawaki.....	26
3.3	Estimación de costos.....	30
3.4	Propuesta de mejoramiento en el control y monitoreo de plantaciones	31
4	CONCLUSIONES	32
5	BIBLIOGRAFÍA	33
6	APÉNDICE.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Densidad de especies forestadas.....	8
Cuadro 2. Efectos de las prácticas de cosecha de agua y especie en altura de las plantas ..	15
Cuadro 3. Significancia de resultados de ANDEVA y ANCOVA para espino	17
Cuadro 4. Significancia de resultados de ANDEVA y ANCOVA para el crecimiento en altura de quillay	20
Cuadro 5. Efecto de las prácticas de cosecha de agua en la humedad del suelo	24
Cuadro 6. Calidad de planta de huingán	26
Cuadro 7. Calidad de planta de peumo	26
Cuadro 8. Efecto en altura de las plantas según práctica cultural	27
Cuadro 9. Supervivencia en porcentaje para el método Miyawaki para cada especie	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa localización sitio de forestación. Elaboración propia.....	6
Figura 2. Distribución de los árboles muestreados	7
Figura 3. Distribución de sensores de humedad	8
Figura 4. Establecimiento de forestación Miyawaki	9
Figura 5. Esquema de parcelas experimentales Miyawaki	11
Figura 6. Altura media de individuos de espino plantados bajo diferentes métodos de cosecha de agua en la zona central de Chile.	17
Figura 7. Estado de vigor de espino plantado con tres métodos de establecimiento en dos temporadas de observación en la zona central de Chile.....	18
Figura 8. Altura media de individuos de quillay plantados bajo diferentes métodos de cosecha de agua en la zona central de Chile.	19
Figura 9. Estado de vigor de quillay plantado con tres métodos de establecimiento en dos temporadas de observación en la zona central de Chile.....	21
Figura 10. Altura media de individuos de algarrobo plantados bajo diferentes métodos de cosecha de agua en la zona central de Chile.	22
Figura 11. Precipitación y temperatura mensuales Estación Lo Pinto (2017-2018)	23
Figura 12. Contenido de humedad del suelo según práctica de cosecha de agua (2017-2018)	24
Figura 13. Altura de huingán según práctica cultural y fertilización	27
Figura 14. Supervivencia absoluta de la forestación Miyawaki.....	29

RESUMEN

La información de reforestación de las principales especies arbóreas nativas en ambientes semiáridos en Chile se encuentra dispersa o no ha sido publicada. El presente trabajo es una contribución a este problema mediante la comunicación de una experiencia de faenas de revegetación y captura de agua de la empresa Biocys, parte de un plan de compensación ambiental por la instalación de una planta fotovoltaica en la Región Metropolitana. Se evaluaron tres especies arbóreas nativas en plantación convencional respecto a prácticas de cosecha de agua: microterrazas y negarines, ubicados en una parcela de 3 ha con sistema de riego de apoyo. Adicionalmente, se probó un método de forestación de alta densidad (Método Miyawaki) en una superficie total de 900 m². Los datos obtenidos fueron analizados mediante pruebas de análisis de varianza, análisis de covarianza y tablas de contingencia. En el tratamiento testigo (plantación con casillas individuales) se obtuvo la mayor sobrevivencia y altura media de las plantas, probablemente asociado a la fecha de plantación más temprana, en agosto 2017, respecto a los otros tratamientos, en septiembre 2017. Entre las especies evaluadas, espino alcanzó una altura media de 57 cm en microterrazza y 52 cm en negarín, mientras que quillay alcanzó una altura media de 53 cm en negarín y 48 cm en microterrazza; sin mostrar diferencias significativas en ambas especies. En cuanto a la humedad del suelo, pese a que las prácticas de cosecha de agua influyeron en su valor, la posición en la ladera fue factor de mayor importancia. En el método de Miyawaki, después de una temporada de crecimiento, se encontró que el tratamiento con hidrogel es donde se obtienen mejores resultados en términos de crecimiento. Por lo cual, se deben probar otros métodos de cosecha de agua junto a la estandarización de la implementación de los mismos métodos de cosecha de agua.

Palabras Claves: *Quillaja saponaria*, *Acacia caven*, Cosecha de agua, Reforestación, Mediterráneo-Semiárido

ABSTRACT

Information about afforestation with native trees is scattering or is not published yet, specially inside arid and semiarid temperate regions. This report contributes with results of an afforestation with rainwater harvest localized in semiarid-Mediterranean region. The afforestation is maintained by Biocys and it is an environmental commitment for a photovoltaic energy plant localized near Santiago of Chile. Two trials were tested. First, an afforestation of three native trees with microterraces, negarins and traditional planting (without soil works) within a plot of 3 ha with support irrigation. The other experiment is the adaptation of Miyawaki's afforestation method to local site condition in nine 100 m² patches. *Data* obtained was analyzed through analysis of variance, analysis of covariance and contingency tables. The earliest plantation (without soil works) has better survival and more height than the later plantation (with rainwater harvest) related to winter rainfall use. Espino within microterraces has heights of 57 cm and espino within negarins has heights of 52 cm; meanwhile, quillay within microterraces has heights of 48 cm and quillay within negarins has heights of 53 cm. Espino and quillay both has not statically differences between microterraces and negarins. Soil moisture was different between rain-harvest techniques but position inside hillside have more importance. Miyawaki's preliminary results still not-show conclusive results but hydrogel show utmost height. Test other rain harvest techniques is required and standardization of planting methods are required to improve conclusion about rain harvest techniques.

Key Words: *Quillaja saponaria*, *Acacia caven*, Water harvesting, Mediterranean-semiarid, Reforestation

1 INTRODUCCIÓN

El Proyecto Fotovoltaico Santiago Solar (PFSS) es una iniciativa a cargo de las multinacionales Andes Mining Energies (AME) y Électricité de France-Nouvelles Energies (EDF), fundado en 2008 con el objetivo de desarrollar proyectos de energía alternativas, a través de Santiago Solar SpA. El PFSS consiste en una central generadora de energía eléctrica con capacidad instalada de 120 MWp, con una inversión aproximada de 165 millones de dólares. Esta planta se ubica en la Comuna de Til-Til y considera una vida útil de 25 años. Debido al tamaño del proyecto se debió someter a una evaluación de impacto ambiental, elaborado por Gestión Ambiental Consultores S.A., ratificado mediante la Resolución de Impacto Ambiental (RCA) N° 310/2016. Entre las medidas de compensación propuestas está la reforestación con *Porlieria chilensis* y *Prosopis chilensis* en sitios circundantes a la PFSS; medida similar a otros proyectos, los cuales, proponen generalmente la reforestación de superficies equivalentes al proyecto con vegetación nativa. Para el caso de especies forestales la ley exige forestar donde no hay bosque, en cuyo caso en la zona central de Chile es común que tales áreas no tengan ninguna potencialidad de bosque (i.e. laderas norte, suelos muy degradados). La consultora Biocys, liderada por el Sr. Mauricio Lemus, asume la ejecución del plan de mitigación.

El PFSS y el sector de forestación adyacente, en arriendo a Agrícola Bauzá, se ubican en una zona caracterizada por climas mediterráneos-semiáridos y próxima a una gran aglomeración urbana, ocupando preferentemente el llano central. Este clima posee una estación seca durante verano, lo que implica que la vegetación tiene un corto período de crecimiento en primavera, pues las temperaturas son cálidas y aún permanece agua de las lluvias invernales (Di Castri y Mooney, 1970; Arroyo *et al.*, 1995); adicionalmente la Oscilación Sur El Niño (OSEN) potenciaría períodos de sequía en ciclos semi-regulares de entre 10 y 25 años (Aceituno, 1988; Montecinos *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013; Bosier *et al.*, 2015) especialmente en el límite septentrional del clima mediterráneo donde las precipitaciones son influenciados por los climas semiáridos (Masiokas *et al.*, 2006; Quintana y Aceituno, 2012; González-Reyes *et al.*, 2017). A estas condiciones adversas naturales se puede agregar la fuerte presión antrópica (Elizalde, 1970; Arroyo *et al.*, 1995; Rosegrant *et al.*, 2000) especialmente referido a la gran demanda de agua debido a la concentración de población (Bosier *et al.*, 2015).

1.1 Forestación convencional

La forestación es el proceso de establecer especies arbóreas en un sitio, esta definición es una generalización del término, pues también se refiere específicamente a el establecimiento de masas boscosas en sitio sin historia reciente de presencia de bosque, por tanto, la forestación principalmente se refiere a un proceso netamente artificial mediante siembra, plantación de especies arbóreas o manejo de regeneración natural. En sitios

recientemente ocupados por bosques en el cual se instalan especies arbóreas se utiliza el término reforestación, proceso que incluye siembra, plantación o manejo de regeneración natural (Schuck *et al.*, 2002; INFOR, 2009; Szulecka y Secco, 2014)

Los sistemas silvícolas se han desarrollado principalmente para especies de valor comercial, y por necesidades de gestión, los modelos de forestación son ordenados y generalmente intensivos, en sitios de buena calidad de sitio; esto es, sitios de pendientes menores al 40%, cobertura rocosa menor al 30% y suelos profundos. Las especies típicas en Chile corresponden a especies del género *Eucalyptus* y *Pinus*, generalmente como monocultivos en que cada individuo es plantado en agujeros aislados (hoyaduras) en un arreglo espacial regular, usualmente de 2,5 m x 2,5 m, que representa aproximadamente una densidad de 1.600 árboles/ha; mientras que las forestaciones con especies nativas varían de los sistemas anteriores en la diversidad de especies y la densidad, abarcando entre 600 árboles/ha y 1.100 árboles/ha (Ginsberg, 2002). Sobre este esquema general se pueden aplicar ciertas prácticas complementarias tendientes a mejorar el sitio, ya sea suelo o agua disponible, o generar mejores condiciones de microclima y biodiversidad, a continuación, se mencionan algunas de estas prácticas utilizadas en la forestación objetivo del trabajo.

1.1.1 Prácticas culturales de enmienda de suelos

Algunos sitios pueden tener problemas con el suelo para lo cual existen diferentes soluciones. En sitios con problemas relacionados a la disponibilidad de agua, las soluciones apuntan a mejorar la calidad física del suelo (porosidad) o disminuir la transpiración.

Polímeros hidrófilos: o hidrogel, es un grupo de sales de ácido acrílico $[-CH_2-CH(CO_2X)-]_n$, con un catión amidógeno, de sodio o de potasio; son utilizados por su propiedad de absorción de agua; probando su efectividad en sitios áridos (Bai *et al.*, 2010; Liu y Chan, 2015; López-Elías *et al.*, 2016; Dehkordi *et al.*, 2018; Neethu *et al.*, 2018). El poliacrilato de potasio (PAP) es capaz absorber 200 veces su masa en agua, nominalmente, superado por otros hidrogeles; sin embargo, en aguas con minerales posee mejores resultados que otros hidrogeles, además de poseer la menor variación de pH (Bai *et al.*, 2010).

Rastrojos: Mezcla de fibras vegetales de diferente origen, incluyendo fibras de celulosa, madera, paja o restos de cosechas agrícolas, además dependiendo de las fibras específicas puede absorber hasta 10 veces su peso en agua. La incorporación de estos materiales al suelo beneficia directamente la eficiencia de uso del agua-lluvia y disminución de evapotranspiración, además de contribuir al control de erosión (Jordan *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2018). La mezcla de rastrojos, agua y semillas se utiliza en hidrosiembra para la preparación de sitio y siembra simultáneas (García-Chevesich, 2015).

1.2 Uso de agua en plantaciones forestales

El uso de agua corresponde al agua movilizadada desde una determinada fuente con un fin (Santos *et al.*, 2010) mientras que el consumo de agua corresponde al agua incorporada efectivamente a, en este caso, la plantación, en contraste con el agua no consumida que se reincorpora al ambiente por evaporación o escorrentía.

1.2.1 Métodos de riego

El rubro forestal el riego tiene mayor desarrollo en viverización o plantaciones de maderas nobles; mientras, las forestaciones de pino, eucalipto (Guerra *et al.*, 2010) o de restauración el riego está menos presente principalmente por temas de rentabilidad económica; sin embargo, en algunos casos particulares de escasez de precipitaciones se implementa riego establecimiento, apoyo o socorro. El riego de establecimiento y de apoyo son riegos propendentes a mantener el crecimiento de las plantas, siendo el de establecimiento el riego inicial (al momento de plantar) y el de apoyo a todos los otros riegos hasta la autonomía hídrica de la plantación (generalmente 2 años); el riego de socorro corresponde al riego extraordinarios frente a eventos de sequía (Martínez y del Río, 2012).

“Método de riego” es el conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicación de agua a las parcelas regadas (Santos *et al.*, 2010) íntimamente relacionado con el término “sistemas de riego”, los cuales consisten en los equipos, técnicas y gestión utilizados para implementar algún método de riego. El riego generalmente se clasifica en:

Riego por aspersión: es la aplicación de riego mediante lluvia localizada a un radio determinado, a escalas menores de predio el agua puede aplicarse pulverizada.

Riego localizado: o microrriego, caracterizado principalmente por la aplicación de un pequeño caudal localizado y regularmente, ya sea a través de sistemas de goteo, tubos perforados o microaspersores, entre otros.

Riego subterráneo: método que consiste en controlar los niveles freáticos activamente y es de uso poco habitual.

Riego superficial: o por inundación, consiste en la aplicación de un gran monto de agua que escurre e infiltra mientras se mueve por el terreno, los sistemas incluyen la aplicación de una lámina continua o a través de surcos, por ejemplo, las acequias.

Los niveles de eficiencia de los diferentes métodos de riego, entendido como la relación entre el agua disponible y el agua aplicada, puede alcanzar niveles mayores a 90% en condiciones de microrriego o riego superficial altamente tecnificado. Por el contrario, la mayoría de los métodos de riego superficial más simples poseen eficiencias de entre 25% y 45% (Santos *et al.*, 2010), mientras tanto Antúnez *et al.* (2010) en la Región de O'Higgins observaron eficiencias entre 30% y 90% en sistemas de microrriego.

Si bien los riegos forestales no se adecuan a los esquemas de riego agrícolas pueden equipararse a métodos de microrriego (Martínez y del Río, 2012). Considerando que la baja eficiencia de los sistemas de microrriego de bajo costo, sumado a la dificultad de instalar estos sistemas en lugares abruptos, es necesario evaluar alternativas para disminuir la pérdida de agua y con ello los costos. Una alternativa al riego son las técnicas de cosecha de agua, por las cuales la aplicación de agua es pasiva.

1.2.2 Técnicas de cosecha de agua

La cosecha de agua puede entenderse como la captación de agua para su uso doméstico, riego o para ganado (Finkel y Finkel, 1986; Prinz y Singh, 2000), siendo una alternativa relativamente barata en zonas con precipitaciones entre 100 mm y 700 mm, ya que ahorra la energía de bombear agua desde alguna napa (Prinz, 1996). Estas técnicas son clasificadas por Prinz y Singh (2000) según el origen del agua captada: lluvia, superficial y subterránea. A su vez la cosecha de aguas-lluvia es clasificada la según la superficie de captación. A continuación se explican algunas prácticas de cosecha de agua durante esta práctica profesional.

Terraza: Es un terraplén, canal o una combinación de canales y camellones transversales a la pendiente. Conocido desde la antigüedad es además un método de control de erosión ampliamente difundido (Highfill, 1983), aunque es considerado costoso y se prefiere en sitios donde otros métodos son ineficaces (Schwab *et al.* 1993). Su función es retener la escorrentía favoreciendo la infiltración, aumentando así el agua disponible en cultivos agro-silvícolas y recomendado en zonas áridas por García-Chevesich (2015) mostrando buenos resultados en Yemen (Vogel, 1987), Líbano (Zuryak, 1994), Iraq (Hussein *et al.*, 2016), África (Mwangi *et al.*, 2015) e Israel (Shachak *et al.*, 1998; Ashkenazi *et al.*, 2012; Stavi, 2015).

Negarín: Es un sistema de micro-captación con un área de captación menor a 1.000 m², con forma romboidal, rodeadas con pequeños montículos y en la esquina inferior una cavidad que concentra el agua y la infiltra. Se ha determinado que superficies de 500 m² son las situaciones donde se capta mayor proporción de aguas lluvias (Evenari *et al.*, 1982). En frutales y leñosas se observa una relación entre el área de captación y crecimiento, expresado en diferentes variables (Evenari *et al.*, 1982; Boers *et al.*, 1986; Razzaghi, 2011; Yazar *et al.*, 2014), mientras que en cultivos anuales el crecimiento obtenido por los negarines es contrarrestado por la superficie dedicada al cultivo (Hatibu *et al.*, 2003); sin embargo, una superficie demasiado grande puede perder eficiencia al aumentar la percolación (Oweis y Taimeh, 1996).

1.3 Método de forestación de Miyawaki

El método de reconstrucción ecológica desarrollado por Miyawaki se fundamenta en la aceleración del proceso de sucesión natural, adecuando el sitio para la forestación con especies tolerantes; esto implica el conocimiento de tres tópicos: vegetación potencial local, propagación de especies dominantes y métodos de plantación en masa (Miyawaki y Golley, 1993; Miyawaki, 1999 y 2004).

El diseño original ha tenido adaptaciones a condiciones locales del Sudeste Asiático, China, Japón, Francia, Estados Unidos y Chile principalmente en bosques caducifolios; además de adaptaciones como la aplicación de rastrojos (siguiente sección) o construcciones para forestar pendientes (Miyawaki y Golley, 1993; Miyawaki, 1998; Miyawaki, 2004); recientemente la aplicación del método Miyawaki ha sido popularizado por Sharma (2016) quien menciona que la superficie mínima es de 100 m², mientras que Schirone *et al.* (2011) adaptaron el método para Italia con arado de la capa superficial y la inclusión de especies pioneras, siendo esta la primera experiencia documentada para las zonas mediterráneas.

1.4 Pertinencia

Los antecedentes expuestos anteriormente permitieron identificar que una brecha en el conocimiento práctico y una carencia de información para generar soluciones sostenibles en un escenario de severas restricciones hídricas. Este motivo llevó a la realización de una práctica profesional extendida con el propósito de evaluar datos de terreno y sistematizar la información disponible en la empresa Biocys.

El objetivo de esta práctica profesional fue evaluar los ensayos de cosecha de agua instalados por Biocys en el fundo El Pelán, Til Til.

Los objetivos específicos fueron:

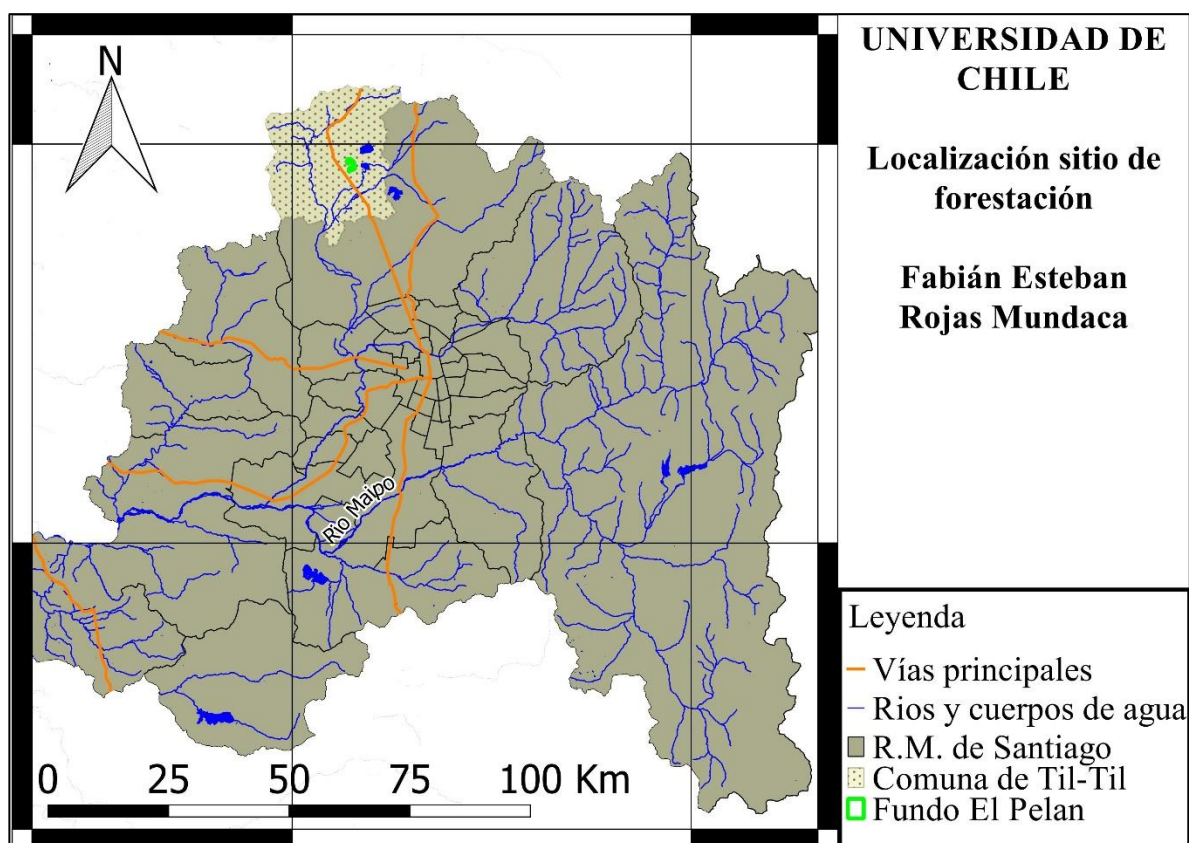
- Comparar el efecto de microterrazas y negarines en la forestación de Biocys en el fundo El Pelán.
- Proponer mejoras en el ensayo de cosecha de agua y de la forestación en la empresa Biocys.
- Elaborar fichas técnicas de los métodos de cosecha de agua y forestación presentes en la forestación de Biocys en el fundo El Pelán

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material

Área de estudio:

El fundo El Pelán se ubica en la Ruta 5 a 45 km al norte de Santiago, en la Comuna de Til-Til. Es parte de la empresa Agrícola Bauzá, quien arrienda el espacio de forestación a Santiago Solar. El clima es semiárido con influencia mediterránea BSKs (Garraeaud *et al.*, 2017), con una precipitación anual media de 259 mm (AGRIMED, 2017). El sector de forestación se ubica en una pequeña cuenca con exposiciones sur, oeste y norte (Figura 1) sobre materiales volcanosedimentarias, asociándose a los cordones transversales. La vegetación es bosque espinoso abierto (Gajardo, 1994), en particular, con la dominancia de *Acacia caven* y *Prosopis chilensis* (Luebert y Pliscoff, 2010). Además, en los sectores bajos se realizan actividades agropecuarias, principalmente viñas y pastoreo ovino.



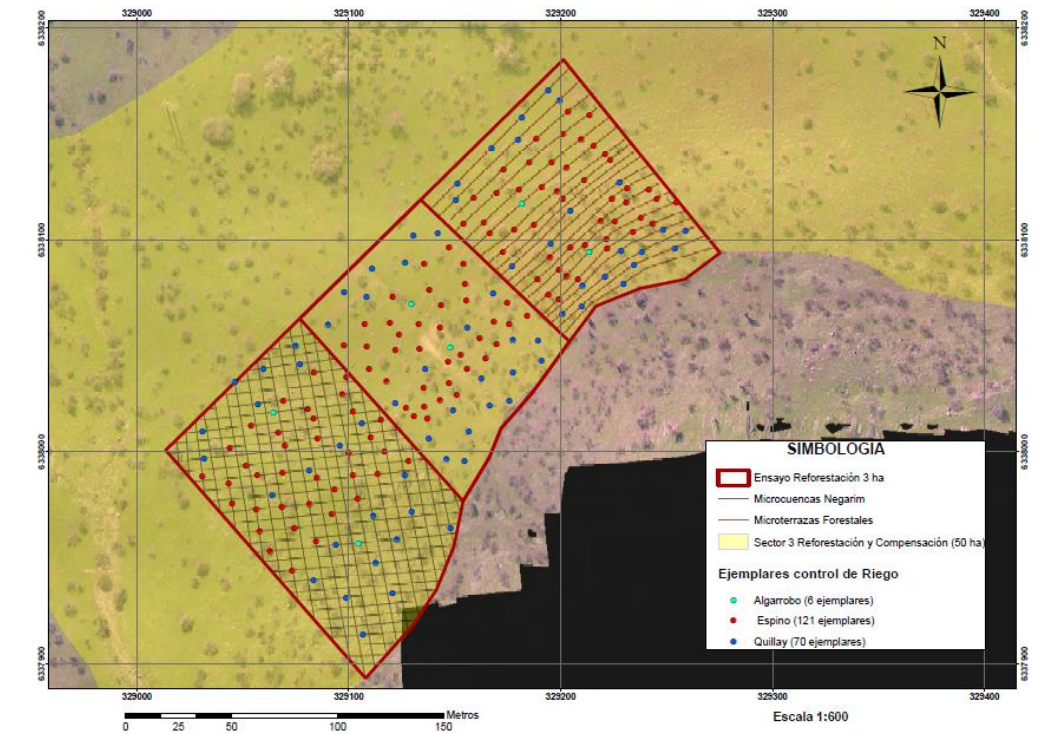
Fuente: DGA (Hidrología), MOP (Vialidad), BCN (divisiones administrativas)

Figura 1. Mapa localización sitio de forestación. Elaboración propia.

Plantación:

En el fundo se ubica la reforestación asociada a la RCA, donde además, se desarrollan dos experimentos: (1) el ensayo de restricción hídrica (ERH), el cual se realiza con las mismas plantas de la compensación ambiental, y, (2) el ensayo del Método Miyawaki, este último no asociado a la compensación ambiental.

El ERH corresponde aproximadamente a un sector de tres hectáreas (Figura 2), de un total de 126 ha destinadas a la compensación por tala de un bosque espinoso del PFSS. Se plantaron individuos de *Acacia caven* (espino), *Porlieria chilensis* (guayacán), *Prosopis chilensis* (algarrobo) y *Quillaja saponaria* (quillay) con una densidad 661 plantas/ha (Cuadro 1). Las obras comenzaron en agosto de 2017 con la plantación del sector de reforestación tradicional y preparación de suelo de los otros dos sitios, luego se plantaron los sectores de microterrazza y negarín, finalizando a fines de septiembre de 2017; lo que probablemente acortó el tiempo de exposición a las lluvias invernales. Por otro lado, se instalaron ocho sensores de humedad (ProCheck GS2, Decagon Devices, Inc.) repartidos en los sectores de testigo y microterrazza (Figura 3); en situación de alta y baja ladera, todos a 0,3 m de profundidad; posteriormente un sensor fue dañado en el sector microterrazza y se instalaron 4 sensores adicionales en sector negarín durante junio de 2018.



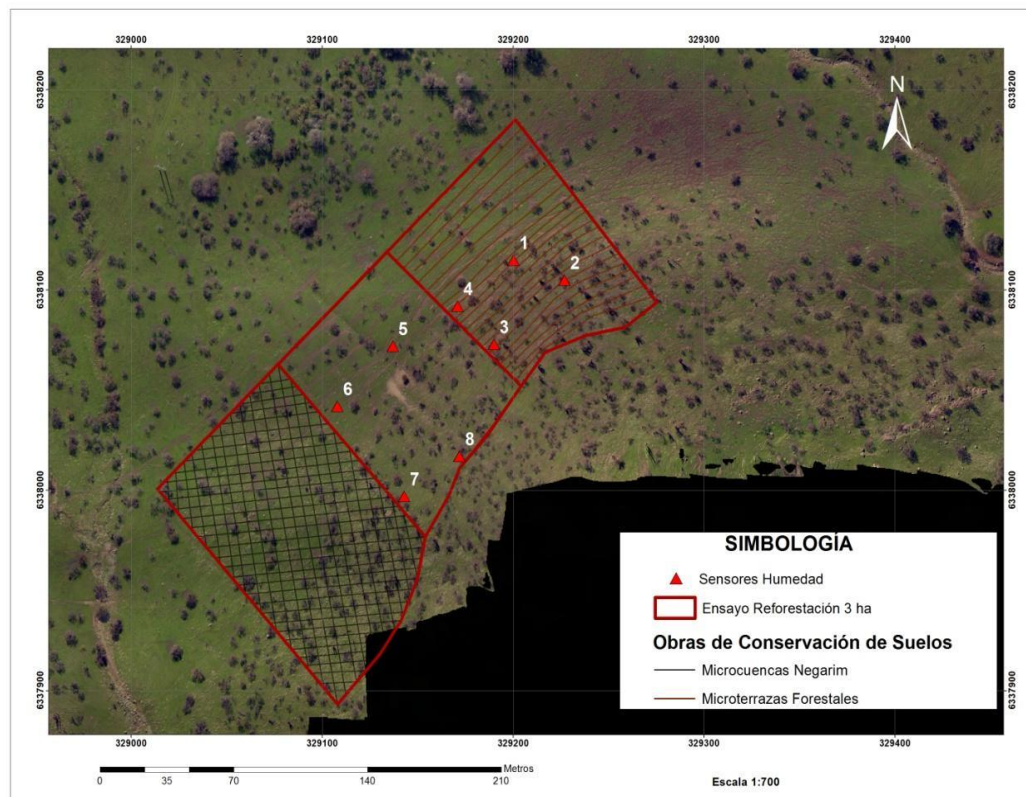
Fuente: Biocys, 2018

Figura 2. Distribución de los árboles muestreados

Cuadro 1. Densidad de especies forestadas

Especie	Densidad [plantas/ha]
Espino (<i>Acacia caven</i>)	334
Guayacán (<i>Porlieria chilensis</i>)	28
Algarrobo (<i>Prosopis chilensis</i>)	17
Quillay (<i>Quillaja saponaria</i>)	234

Se instaló un sistema de riego semi-mecanizado que consiste en 8 estanques con 16,4 m³ de capacidad en conjunto. Los estanques se cargan por camiones aljibe y motobomba, posterior a lo cual, el riego se realizaba manualmente. El riego se mantuvo semanalmente durante septiembre y octubre, posterior a lo cual se realizaron riegos quincenales, con dos dosis diferentes: 5 L/planta y 8 L/planta, donde cada dosis se aplicó a la mitad de las plantas. Posterior a febrero de 2018 la dosis fue una dosis homogénea de 5 L/planta en meses secos, aplicándose no más de un riego mensual.



Fuente: Biocys, 2018

Figura 3. Distribución de sensores de humedad

Las parcelas del método Miyawaki (Miyawaki, 2004) consisten en tres parcelas contiguas de 100 m², en tres sitios de piedemonte instaladas en junio de 2018. Las plantas se plantaron al tresbolillo con una densidad de 30.000 plantas/ha. Los 2.700 individuos consideran 900 espinos y 900 algarrobos, ambos del vivero de Santiago Solar SpA., y adicionalmente, se consideraron 700 huinganes (*Schinus polygamus*) y 200 peumos (*Cryptocarya alba*) en reemplazo de litre desde el Vivero Antumapu; en estas plantas se colocaron “tree shelters” (protecciones individuales) como se observa en la Figura 4. Se fertilizó con guano estabilizado obtenido localmente derivado principalmente de ganado ovino, porcino y equino criados en sistemas extensivos; urea (CON₂H₄) y superfosfato triple. Se utilizó un polímero hidrófilo, poliacrilato de potasio ([$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CO}_2\text{K})-\text{I}_n$) de la marca Lluvia sólida®. Para las obras de suelo se utilizó una retroexcavadora marca J.C. Bamford Excavators Limited (JCB) modelo 3CX. La plantación contó con tres jornales quienes se encargaban de la hoyadura, plantación y preparación de las enmiendas. Cada grupo de tres parcelas fue cercado con cerco de 1,8 m con 5 hebras de alambre de púas reforzado con malla hexagonal hasta 1,5 m desde el suelo. Se debe mencionar que este experimento no está considerado dentro del plan de compensación o de ninguna obligación ambiental y demuestra el interés de la empresa mandante y Biocys con el desarrollo de la investigación en materias ambientales



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 4. Establecimiento de forestación Miyawaki

Base de datos:

Desde septiembre de 2017, Byocis recopiló datos correspondientes a la humedad registrada en los sensores de humedad, en periodos no regulares; además seleccionaron 197 individuos entre algarrobos (6), espinos (121) y quillayes (70) para evaluar su estado de vitalidad, existiendo registro de una medición realizada a fines de noviembre de 2017 (D17). Los datos obtenidos fueron registrados por el personal técnico de Biocys, todos con grado universitario, mediante la metodología descrita en esta práctica profesional.

2.2 Método

2.2.1 Forestación Miyawaki

Las plantas del vivero Antumapu, es decir, 200 peumos y 700 huinganes; se seleccionaron visualmente, siendo los criterios de selección: (1) plantas de mayor diámetro a la altura del cuello (DAC), o robustas, (2) follaje vigoroso, seleccionando las plantas con mayor verdor y con la menor cantidad de daños visibles. Una vez seleccionadas fueron identificadas mediante placas de aluminio midiéndose la altura de estas plantas: desde el sustrato hasta el ápice de mayor altura. Adicionalmente se seleccionaron dentro de este grupo, 30 individuos por especie para medir DAC mediante pie de metro con precisión instrumental de 0,01mm.

Para la instalación en terreno del Método Miyawaki, en junio de 2018, se prepararon grupos de tres parcelas contiguas de 100 m² en tres sitios de piedemonte. La preparación del terreno consistió en la remoción una capa de suelo de 90 cm de profundidad aproximadamente y remoción de rocas de diámetro mayor a 25 cm con maquinaria, más un despedregado manual al momento de la plantación de las 300 plantas por parcela. En el marco de esta práctica profesional se logró evaluar el crecimiento y sobrevivencia de especies nativas durante el mes de diciembre en plena temporada de estrés hídrico.

El diseño experimental corresponde a parcela dividida en dos factores fijos con una repetición por bloque, en tres sitios (Figura 5). El factor de práctica cultural de enmienda de suelo (PCES) posee tres niveles: (H) aplicación de 10g/planta de hidrogel en solución de 1 l de agua; (G) la aplicación 5 kg por m² de la mezcla de estiércol; y, (T) sitio testigo, sin hidrogel ni estiércol. El segundo factor corresponde a la aplicación de fertilizante con sólo dos niveles: (F) la aplicación de 20g/planta de urea (en la aplicación conjunta del hidrogel la urea es incorporada a la solución de hidrogel) junto a 40g/planta de superfosfato triple; y (O) sin la aplicación de fertilizantes. En todas las parcelas se volteó el suelo a una profundidad cercana a 90 cm.

La selección y proporción inicial de las especies fue modificada, desde 3 especies en igual proporción a cuatro especies, en las siguientes proporciones, 33,3% de espino y algarrobo, 25,9% de huingán y 7,4% de peumo, con el objetivo de mantener estas proporciones se estableció al menos un espino y algarrobo por m², más un huingán o peumo. Considerando que peumo es característico de la sucesión tardía (Armesto y Pickett, 1985) y menos resistente a la sequía las plantas de peumos ocuparon los espacios más próximos al borde sur-este de las parcelas, mientras que huingán completó el resto de los sitios. Sólo se colocaron 900 protecciones individuales concentradas en un bloque.

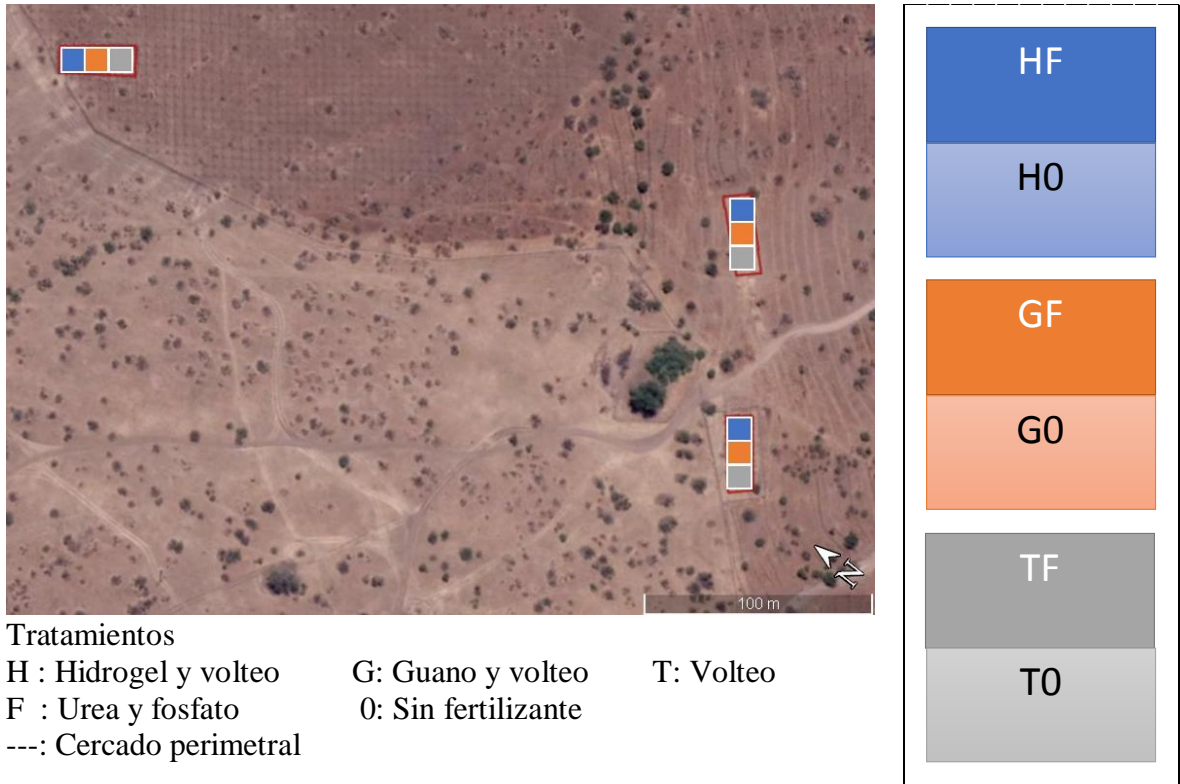


Figura 5. Esquema de parcelas experimentales Miyawaki

2.2.2 Mediciones

Prácticas de cosecha de agua:

Continuando con el monitoreo del ensayo instalado en 2017 se midieron largo, estado de vitalidad y temperatura foliar en algarrobo, espino y quillay, en 191 plantas; además de la humedad del suelo.

a) El largo de las plantas se midió mediante una cinta métrica desde el ápice de mayor altura de la planta en línea recta hasta el topar con el suelo.

b) El estado de vitalidad es una clasificación visual de las plantas según su apariencia: volumen de follaje, hojas dañadas, rebrote y hojas marchitas, dentro de cuatro categorías. La categoría buena corresponde a aquellos individuos con gran volumen foliar y porcentaje menor (<33%) de la copa con daño por herbivoría, radiación o insectos; la categoría regular corresponde a individuos con daños evidentes (entre 33% y 67% de la copa dañada) o con rebrote; la categoría mala corresponde a individuos con gran porcentaje (>67%) del follaje y/o de escaso follaje, en presencia de rebrote el vástago principal está defoliado. Finalmente, la categoría muerto son aquellas plantas que no poseían follaje al momento de la evaluación, el monitoreo de estos individuos se continuo ya que se ha observado en especies de zonas semiáridas existen mecanismos de escape de sequía y posteriormente algunos individuos rebrotan (Malagnoux *et al.*, 2007).

c) Durante diciembre de 2018 se midió la temperatura foliar mediante termómetro laser infrarrojo GM320 (Benetech ®) apuntando a 20 cm de distancia la hoja suficientemente grande lo más próxima al ápice, no se priorizó ningún horario de medición, aunque simultáneamente si midió la temperatura del aire con un termómetro electrónico para analizar el diferencial de temperatura e inferir la transpiración en las plantas.

d) La humedad del suelo se midió en 11 ejemplares, cuatro ejemplares por práctica de cosecha de agua excepto en microterrazza donde un sensor fue dañado por conejos habiendo sólo tres operativos; los sensores de humedad corresponden a ProCheck GS2 (Decagon Devices, Inc.) y se registró la humedad volumétrica del suelo.

2.2.3 Base de datos

La base de datos entregada por Biocys se actualizó con los datos obtenidos durante la práctica profesional, editándose mediante la planilla de cálculo Microsoft Excel versión 2018, que adicionalmente se utilizó para generar gráficos y análisis estadísticos básicos, mientras que los análisis estadísticos más complejos se realizaron mediante el programa Infostat versión estudiantil.

Las medidas actualizadas fueron:

altura a septiembre de 2018	(S18)
altura a octubre de 2018	(O18)
altura a noviembre de 2018	(N18)
altura a diciembre de 2018	(D18)
temperatura foliar en diciembre de 2018	(dT)
contenido de humedad volumétrico del suelo	

Para analizar la humedad del suelo las mediciones se agruparon por período:
desde el 1 de octubre de 2017 al 31 de diciembre de 2018 (P17)
desde el 1 de enero de 2018 al 31 de marzo de 2018 (V18)
desde el 1 de abril de 2018 al 30 de junio de 2018 (O18)
desde el 1 de julio de 2018 al 30 de septiembre de 2018 (I18)
desde el 1 de octubre de 2018 al 31 de diciembre de 2018 (P18)

2.2.4 Análisis estadísticos

Se excluyen de los análisis estadísticos las mediciones sobre algarrobo, pues el tamaño muestral fue de 2 individuos, lo que impidió realizar análisis confiables.

La base de datos fue agrupada según la especie (SP) y práctica de cosecha de agua (PCA), aplicándose un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía (se evaluaron las PCA por especie) y dos vías (SPxPCA); adicionalmente se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) seleccionando como covariable a aquellas variables que cumplieren con los criterios de independencia con los factores (analizado mediante ANDEVA) y correlación con la variable respuesta (determinado mediante la correlación de Pearson).

En casos de resultados significativos (valor $p < 0,05$) en los ANDEVA y ANCOVA se realizó una prueba de comparación múltiple de diferencia mínima significativa de Fisher (conocida como test LSD en inglés). Los datos agregados, particularmente sobrevivencia, fueron analizados mediante tablas de contingencia considerando la frecuencia absoluta de las plantas vivas y muertas según práctica de cosecha de agua, con la utilización del estadístico de prueba de “Chi cuadrado”.

2.2.5 Propuestas para ensayos

Sobre la base de los resultados del análisis de datos se seleccionaron variables para el diseño de nuevos experimentos además de selección de tratamientos alternativos para una posterior comparación de prácticas. Los experimentos fueron protocolizados y se generó un calendario para posterior levantamiento datos.

2.2.6 Elaboración de fichas técnicas

Para cada práctica de cosecha de agua se determina el costo de su implementación y mantención, para la comparación de forestaciones no productivas se considera un periodo de operación de dos años. Los costos son extraídos del proyecto de forestación reales, complementados con bibliografía relacionada

Sobre la base de los resultados observados y estado del arte se elaboraron fichas técnicas con los protocolos adecuados para la selección de métodos de cosecha evaluados (microterrazza, negarín y forestación de Miyawaki). Respecto a métodos más tradicionales se discutirá respecto a su uso complementario con la forestación Miyawaki considerando resultados iniciales del experimento.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ensayo de prácticas de cosecha de agua

3.1.1 Crecimiento en altura por método de cosecha

El ANDEVA indica diferencias significativas en el crecimiento en altura de la plantación (Cuadro 2), respecto a la altura sólo los meses de noviembre y diciembre mostraron diferencias; además de lo cual no se observó interacción entre métodos de cosecha y especies. La tendencia de las mediciones es a aumentar la significancia de los resultados en los últimos meses. A pesar de lo anterior, ningún modelo se ajusta a los datos, con coeficientes de determinación (R^2) menores a 0,15. Respecto a la mortalidad y el diferencial de temperatura foliar, estos no muestran diferencias significativas para ningún factor o sus respectivas interacciones.

Cuadro 2. Efectos de las prácticas de cosecha de agua y especie en altura de las plantas

	Diciembre 2017 [cm]	Noviembre 2018 [cm]	Diciembre 2018 [cm]	Diferencial de altura diciembre 2017-2018 [cm]
Método de cosecha de agua (MC)				
Testigo	27,19±0,98b	58,2±2,4a	64,37±2,54a	37,07±2,74a
Microterraza	32,12±0,87a	51,1±2,12b	52,17±2,21b	19,55±2,39b
Negarín	29,34±0,96b	50,49±2,35b	52,27±2,5b	22,68±2,72b
Especie (E)				
Espino	30,02±0,66a	55,83±1,62a	59,2±1,73a	28,74±1,88a
Quillay	29,07±0,86a	50,64±2,1b	53,34±2,2b	24,13±2,37a
Valor F y nivel de significancia				
MC	7,23***	3,36**	8,02***	12,52***
E	0,77ns	3,84*	4,39**	2,32ns
MC x E	3,43**	2,2ns	1,62ns	2,27ns

(***): $p < 0,01$; (**): $p < 0,05$; (*): $p < 0,10$; (ns): no significativo

El tratamiento testigo mostró mayor altura respecto a los otros dos tratamientos, contrario a lo que se esperaría de la aplicación de cualquier práctica de mejoramiento, como en Roldán *et al.* (1996) y Valladares *et al.* (2004), la causa probable, es el período de plantación (Martínez y del Río, 2012), que en este caso corresponde a un lapso de 2 a 3 meses entre el inicio de la plantación y la finalización de la misma, esta situación se asocia a que las primeras plantas en instalarse tienen mayor tiempo para recuperarse del shock de trasplante y aprovechar la temporada de lluvias (Oliet *et al.*, 2005). Sumado a lo anterior la calidad de

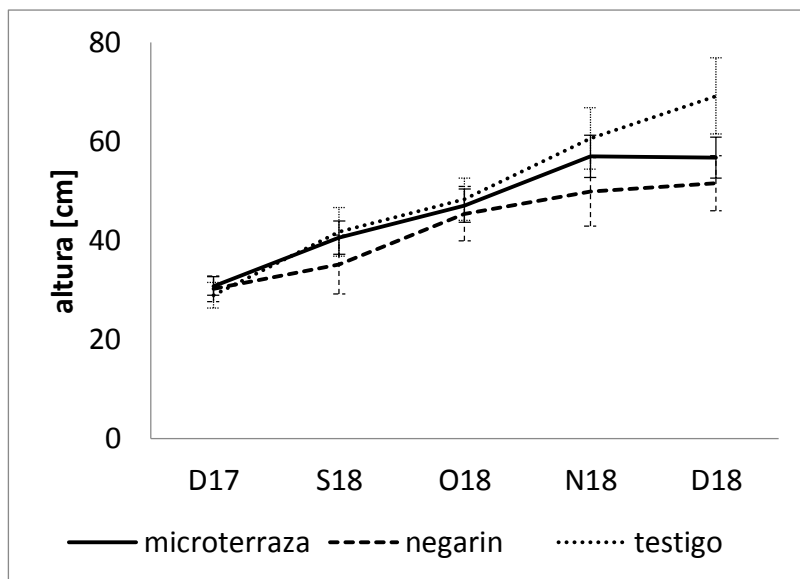
planta no es homogénea ya que luego de la plantación debió reponerse cerca del 15% de los individuos, por ataque de conejos, los cuales no fueron identificados.

Los fenotipos de sol y sombra, expuestos a sequía de verano, muestran respuestas diferenciadas en el grosor de las plantas, pero no así en la altura, al menos en especies mediterráneas (Valladares *et al.*, 2004), aunque las respuestas son especie-dependientes; particularmente que la capacidad de soportar la sequía de verano, la cual se explica mejor por la historia natural que por la variación de superficie evapotranspirante. Aunque, para especies diferentes a pistachos y encinas, los mismos autores recomiendan realizar estudios específicos; de hecho esta observación es importante al considerar que la principal estrategia es evitación de la sequía en especies esclerófilas nativas es la defoliación.

Otra posibilidad es que en los primeros años el efecto de las prácticas de cosecha de agua sea menor respecto a los resultados obtenidos a partir del año décimo, de hecho, Oliet *et al.* (2003), identifican este problema como un problema generalizado de las plantaciones de especies forestales, pudiéndose especular al respecto, que el efecto disminuido de las prácticas de cosecha de agua puede permitir que los resultados sean enmascarados con mayor facilidad por otros factores. En todo caso, se debe continuar con el ensayo para descartar esta posibilidad.

3.1.2 Crecimiento y sobrevivencia en *Acacia caven* (espino)

Para espino, el tratamiento testigo (casillas convencional), es donde se observa un mayor crecimiento en altura en los meses de noviembre y diciembre de 2018 (Figura 6); sin embargo ningún modelo logró un coeficiente de determinación mayor a 0,14. La altura en la temporada 2018 siempre fue inferior en el sector de negarín, con alturas medias entre 35,2 cm al inicio y 51,6 cm al final, mientras que los sectores microterreza, desde 40,6 cm a 56,8 cm, y testigo, desde 41,7 cm a 69,2 cm hacia el fin de la temporada, se comportaron similares hasta diciembre, cuando el testigo tuvo mayor crecimiento. El diferencial de la temperatura foliar-aire, evaluado en diciembre de 2018 no presentó diferencias significativas asociados a los tratamientos de cosecha de agua y no se correlacionó con el crecimiento en altura de espino, razón por la cual se sugiere realizar un seguimiento de esta variable a una escala de tiempo mayor para evaluar su eficiencia como predictor del desempeño de espino.



D17: diciembre de 2017; S18: septiembre de 2018; O18: octubre de 2018
 N18: noviembre de 2018; D18: diciembre de 2018

Figura 6. Altura media de individuos de espino plantados bajo diferentes métodos de cosecha de agua en la zona central de Chile.

Las variables candidatas como covariables (diciembre 2017, septiembre 2018 y diferencial de temperatura) de la respuesta en altura final de espino (diciembre 2018), no se encuentran influenciadas por el método de cosecha de agua. La mejor covariable corresponde a la altura medida en septiembre de 2018, que representa el estado de la planta al inicio de la temporada, y además los resultados del ANCOVA (Cuadro 3) muestran que las diferencias observadas en la altura de 2018 y el diferencial de altura anual se mantienen al incluir covariables.

Cuadro 3. Significancia de resultados de ANDEVA y ANCOVA para espino

Variable	ANDEVA		ANCOVA		
	Valor p (MC)	Coefficiente de determinación ajustado	Valor p (MC)	Valor p de covariable (S18)	Coefficiente de determinación ajustado
octubre 2018	0,636	0,00	0,698	<0,001	0,52
noviembre 2018	0,042	0,04	0,556	<0,001	0,40
diciembre 2018	0,000	0,13	0,011	0,001	0,21
diferencial de altura diciembre 2017-2018	0,000	0,14	0,003	<0,001	0,25

La supervivencia de espino varía según el método de cosecha de agua (Figura 7). Se observa una mayor supervivencia en el sector testigo; y, mayor mortalidad junto a un menor estado de vitalidad en negarín. En la temporada 2018, se observa un mejor desempeño general de la plantación con respecto al año anterior.

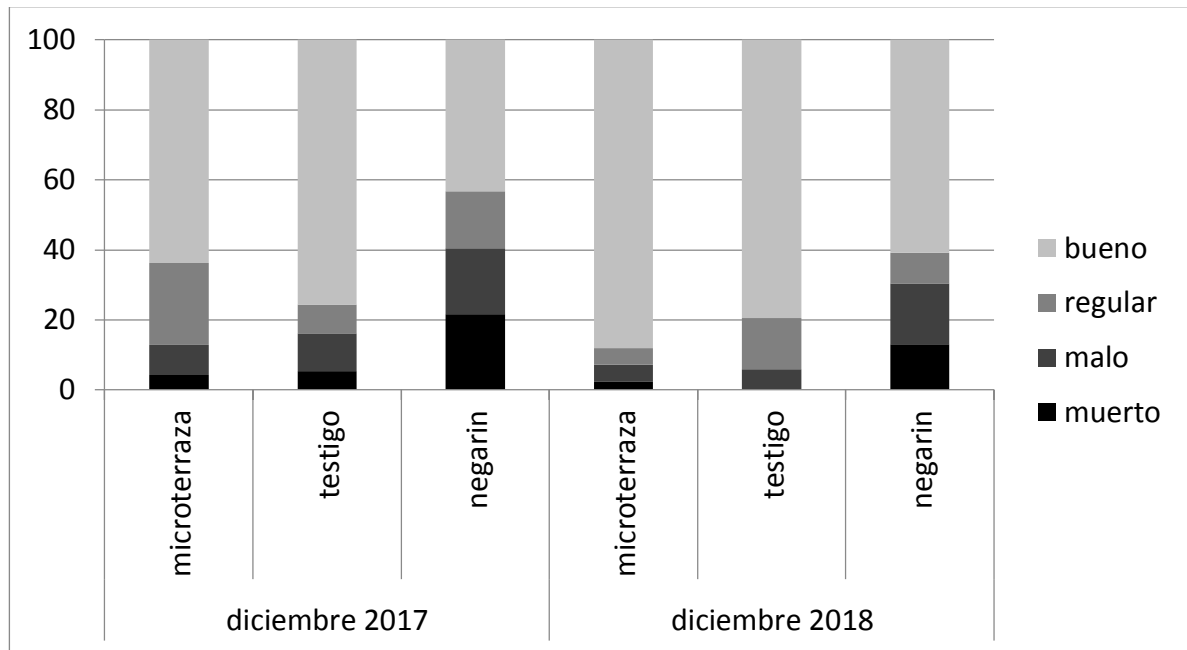


Figura 7. Estado de vigor de espino plantado con tres métodos de establecimiento en dos temporadas de observación en la zona central de Chile.

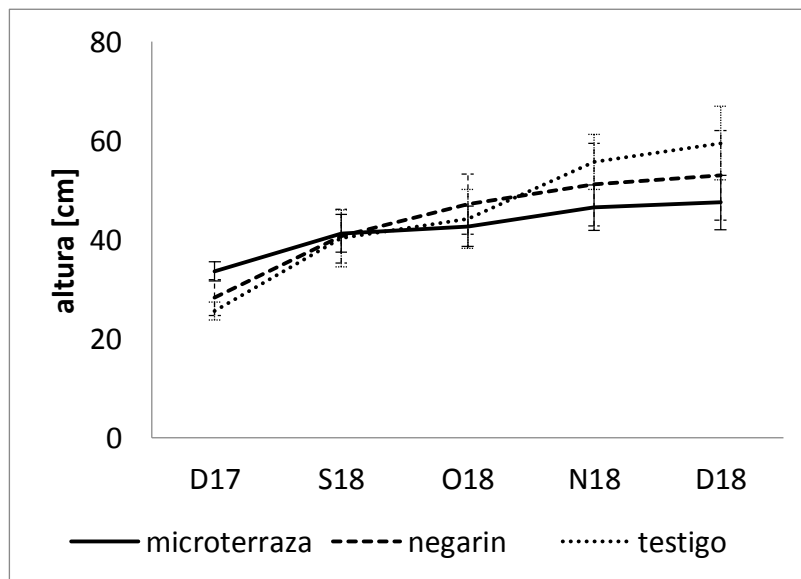
El crecimiento de espino fue mayor al registrado por Donoso *et al.* (2015) en condiciones de vivero, no superando los 60 cm en caso de riego constante, mientras que en situación de riego deficitario los espinos alcanzaron un promedio cercano a 40 cm, probablemente como fenotipos adaptados a mayores niveles de sombra. Las diferencias entre los fenotipos de sol y sombra de especies mediterráneas difieren en el DAC mientras que la altura no presenta patrones claros (Valladares *et al.*, 2004), si consideramos al espino con comportamientos similares a los observados en el estudio de Valladares, entonces la altura de espino sea explicada por un factor diferente a la práctica de cosecha de agua, humedad o luz. Por ejemplo, la calidad de planta de vivero es un factor en el crecimiento de plantaciones de especies nativas, observándose en Becerra *et al.* (2013), que las plantas de menor tamaño muestran los mayores crecimientos, de esta manera se observa que las plantas más altas durante diciembre de 2017 fueron las que tuvieron menor crecimiento, y de manera inversa, las plantas más bajas alcanzaron mayores crecimientos, lo que puede asociarse a un mayor estrés de las plantas más altas al poseer mayor biomasa aérea y por lo cual perder mayor cantidad de biomasa para acondicionarse a campo.

Por otro lado, la supervivencia podría asociarse a un factor distinto a la práctica de cosecha de agua, como lo es la fecha de plantación y al hecho que la construcción misma de las

prácticas de cosecha de agua (después de la temporada de lluvias), pudiera haber estimulado la pérdida de agua del suelo al aumentar la superficie de contacto suelo – atmósfera.

3.1.3 Crecimiento y sobrevivencia en *Quillaja saponaria* (quillay)

Se encontraron diferencias significativas para la altura al final de la primavera debido al método de cosecha de lluvia implementado (diciembre de 2017, noviembre y diciembre de 2018, y, diferencial de altura). A medida que transcurre la temporada las diferencias de altura entre métodos de cosecha se aumentan (Figura 8), mientras que el diferencial de la temperatura foliar- aire no muestra diferencias significativas. En la temporada 2018 el mejor sector corresponde al testigo, con una altura media de 59,5 cm, mientras que el sitio con menor altura media corresponde a la microterrazza, con 47,6 cm, comenzando a mostrar diferencias significativas en noviembre de 2018. En el método de negarín, quillay creció desde 40,7 cm a 52,0 cm en promedio sin mostrar diferencias significativas con las otras prácticas de cosecha de agua.



D17: diciembre de 2017; S18: septiembre de 2018; O18: octubre de 2018
 N18: noviembre de 2018; D18: diciembre de 2018

Figura 8. Altura media de individuos de quillay plantados bajo diferentes métodos de cosecha de agua en la zona central de Chile.

Las variables altura de plantas en septiembre de 2018 y diferencial de temperatura follaje–aire, no se relacionan con el método de cosecha de agua, en cambio, la altura de plantas en diciembre de 2017 si mostró relación. El crecimiento en altura final de quillay se correlacionó con todas las mediciones de altura y mientras que el diferencial entre la

temperatura foliar y aire no mostró correlación con ninguna variable. La mejor covariable corresponde a la altura de quillay medida en septiembre de 2018, considerando esta variable como la expresión del estado de la planta previo a la temporada de crecimiento, y los resultados del ANCOVA (Cuadro 4) muestran que todas las variables tienden a disminuir el valor p, sin embargo, el R² sólo aumenta a niveles medios.

Cuadro 4. Significancia de resultados de ANDEVA y ANCOVA para el crecimiento en altura de quillay

Variable	ANDEVA		ANCOVA: S18		
	Valor p (MC)	Coefficiente de determinación ajustado	Valor p (MC)	Valor p de la covariable (S18)	Coefficiente de determinación ajustado
octubre 2018	0,327	<0,01	0,161	<0,001	0,56
noviembre 2018	0,084	0,05	0,019	<0,001	0,43
diciembre 2018	0,089	0,05	0,034	<0,001	0,48
diferencial de altura diciembre 2017-2018	0,003	0,14	0,001	<0,001	0,42

La supervivencia no muestra respuesta al método de cosecha de agua. Sin embargo, la tendencia, apunta a una mayor supervivencia en el sector con microterrazza y mayor mortalidad en negarín durante el año 2017, en conjunto a un mejor desempeño en vigor, en sector testigo (Figura 9), al final del año 2018.

Petit-Breuilh (2016), en un experimento similar de restricción hídrica evaluó litre y quillay, este último, creció entre 6,7 cm y 8,3 cm, dependiendo del sitio. Al segundo año de plantación este mismo estudio encontró que quillay alcanzó en promedio 34,1 cm. El menor crecimiento, comparado a lo observado en esta práctica, podría deberse a que el experimento se realizó en un bosque con mayor desarrollo (con presencia de peumo) lo que podría provocar una limitación de los recursos hídricos y lumínicos por competencia o intercepción (Valladares *et al.*, 2014). Por su parte Ovalle *et al.* (2016) obtuvieron una altura de 36,0 cm durante el mes de mayo, mientras que el tratamiento testigo, en el mismo experimento, presentó entre 25,4 cm y 40,3 cm, entre diciembre de 2017 y septiembre de 2018, aún inferior respecto a esta práctica profesional.

Se puede decir que menor un crecimiento indica condiciones más áridas para determinada especie, y en quillay, además de pérdida de biomasa aérea (Donoso *et al.*, 2011). Sin embargo, en pruebas de campo se encontró que el crecimiento de quillay no varía significativamente entre diferentes dosis de riego (Becerra *et al.*, 2013; Ovalle *et al.*, 2017), por lo cual el crecimiento de quillay puede estar siendo afectado por otros factores como herbivoría o manipulación, aún más, se ha observado en otras especies que las plantas de

menor tamaño tienen mayores crecimientos iniciales (Becerra *et al.*, 2013); de este modo, se observa que las plantas más altas durante diciembre de 2017, en la práctica profesional, tuvieron menor crecimiento, y de manera inversa, las plantas más bajas alcanzaron mayores crecimientos, lo que puede asociarse a un mayor estrés de las plantas más altas al poseer mayor biomasa y por lo cual perder mayor cantidad de biomasa para acondicionarse a campo.

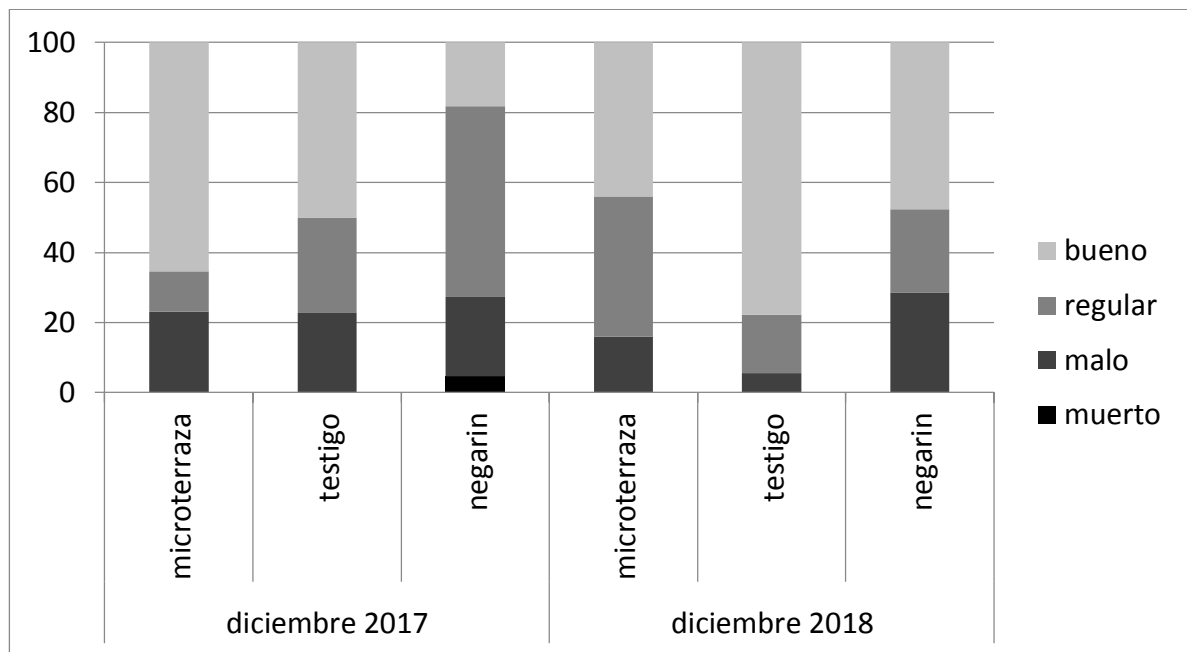


Figura 9. Estado de vigor de quillay plantado con tres métodos de establecimiento en dos temporadas de observación en la zona central de Chile.

En una localidad cercana y para tratamiento testigo, Petit-Breuilh (2016), obtuvo mortalidades de 8,4% en promedio al primer año de la plantación; mientras, que la contraparte de esta práctica profesional observó en promedio 12,2% de mortalidad al primer año de plantación. En contraste, para microterrazas, donde se observó una mortalidad muy baja (1,2%), al igual que Ovalle *et al.* (2017), quienes tuvieron mortalidades menores al 5% independiente del monto de riego aplicado.

3.1.4 Algarrobo

La altura de algarrobo varió muy poco durante un año, con una disminución importante de altura a principios de 2018 causado por herbivoría recuperando la altura durante la temporada 2018 (Figura 10), mientras que el diferencial de temperatura fue de 7,3°C en el sector testigo, 10,2°C en microterrazza y 18,7°C en negarín. En Lauenstein *et al.* (2012) se ha observado que algarrobo es más sensible a la sequía respecto a otras especies del género,

y su principal mecanismo de evitación es la pérdida de área foliar mediante el desprendimiento de folíolos, bajo estrés severo (se desconoce el volumen exacto de agua) la defoliación fue del 30%. No se presentan los resultados de estado de vitalidad porque sólo se midieron dos plantas por tratamiento, las cuales sobrevivieron en su totalidad, lo que impide realizar análisis estadísticos de mayor poder.

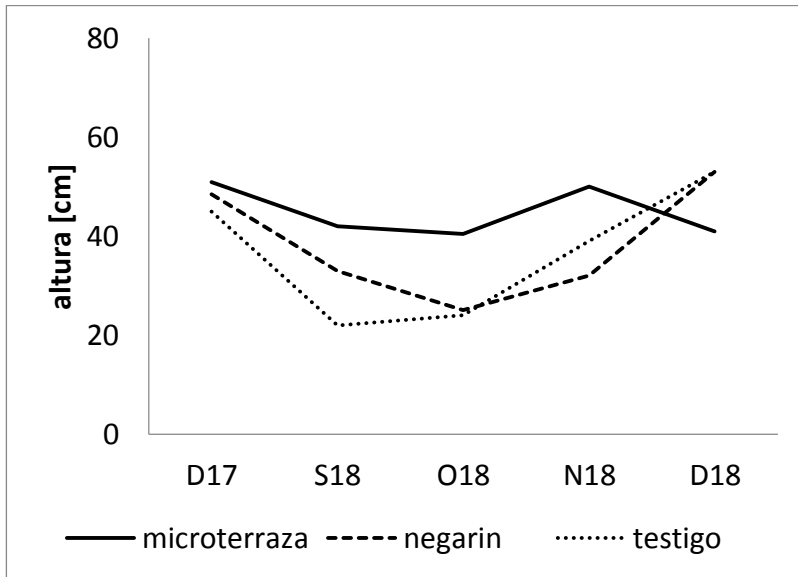
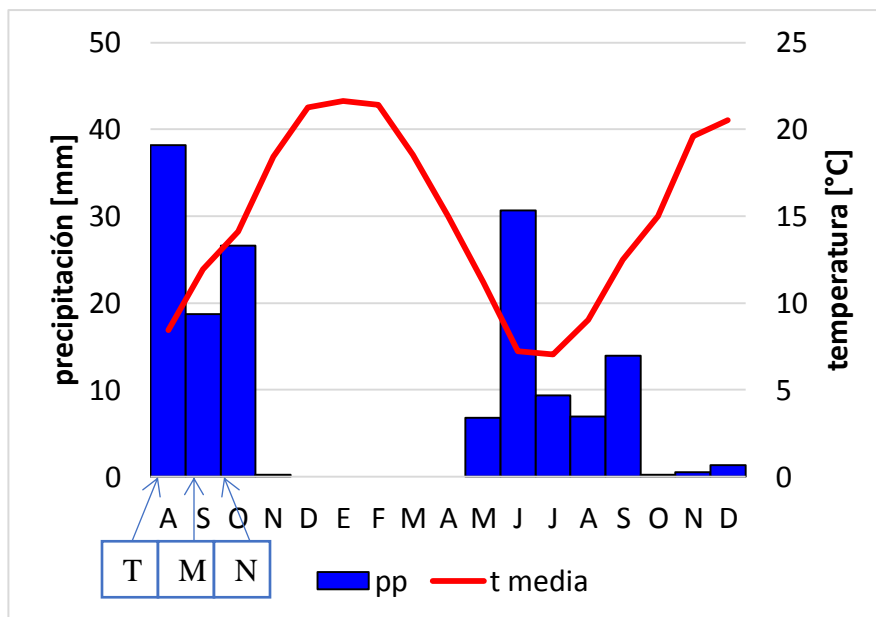


Figura 10. Altura media de individuos de algarrobo plantados bajo diferentes métodos de cosecha de agua en la zona central de Chile.

3.1.5 Humedad de suelo

La estación meteorológica de Lo Pinto, distante a 25 km al sur del sector de forestación, es la estación más cercana con datos completos entre 2017 y 2018. A partir de estos datos, el año 2017 fue aparentemente un año normal a seco mientras que el 2018 tuvo precipitaciones de un año muy seco (Figura 11) posiblemente concentrando la precipitación efectiva durante julio de 2018, y si consideramos el monto de precipitación necesario para humedecer el suelo en 15 mm (Verbist, 2011) la precipitación se reduce a cerca del 55%. El riego se determina a partir de las necesidades actuales de la plantación, lo que en la práctica corresponde a un monto aproximado de 5L/planta mensualmente en los meses de secos.



T: plantación en casillas individuales; M: plantación en microterrazza;
 N: plantación en negarín
 Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

Figura 11. Precipitación y temperatura mensuales Estación Lo Pinto (2017-2018)

La humedad del suelo (Figura 12) está influenciada tanto por la práctica de cosecha de agua como por la posición en la ladera. La humedad en la parte superior siempre es significativamente más baja que la parte inferior de la ladera. La humedad difiere según las prácticas de cosecha de agua sólo en primavera y otoño, además de interactuar con la posición en la ladera. Durante la primera temporada de crecimiento (primavera 2017) microterrazza y la parte superior del sector testigo mostraron humedad similares entre si destacando la parte inferior del sector testigo. En otoño de 2018 y primavera de 2018 microterrazza continua con menor contenido de humedad pero adquiere un comportamiento similar a casillas individuales con un contenido de humedad menor en la parte superior del ensayo, es decir, estas prácticas de cosecha de agua no interactúan con la posición en la ladera al excluir a negarín del análisis. La interacción en otoño de 2018 y primavera de 2018 se observó en negarín, pues negarín posee mayor contenido de humedad respecto a los otros tratamientos en la parte inferior y un menor contenido de humedad respecto a los otros tratamientos en la parte superior del ensayo (Cuadro 5).

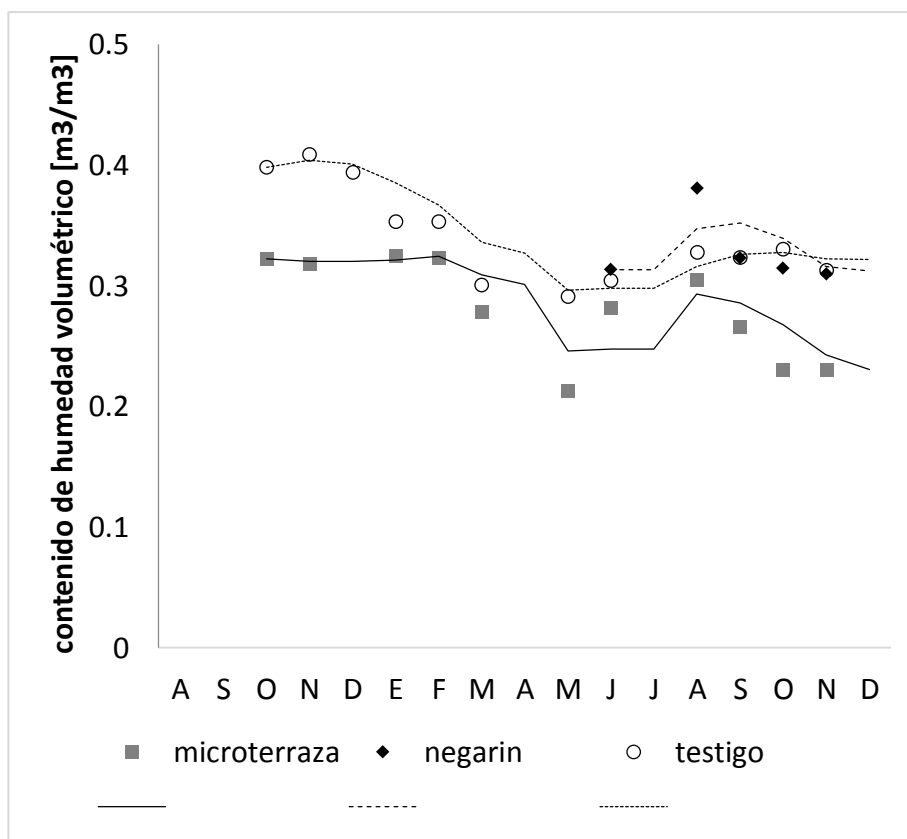


Figura 12. Contenido de humedad del suelo según práctica de cosecha de agua (2017-2018)

Cuadro 5. Efecto de las prácticas de cosecha de agua en la humedad del suelo

	Contenido volumétrico de agua [m ³ /m ³]				
	P17	V18	O18	I18	P18
Método de cosecha de agua (F1)					
Testigo	0,41a	0,34a	0,29a	0,32a	0,32a
Microterraza	0,32b	0,32a	0,23b	0,31a	0,24b
Negarin	SD	SD	0,27ab	0,34a	0,31a
Posición en ladera (F2)					
Superior	0,33b	0,28b	0,22b	0,30b	0,24b
Inferior	0,39a	0,38a	0,31a	0,35a	0,34a
Valor F y nivel de significancia					
F1	9,94***	2,49ns	4,15**	1,14ns	18,97***
F2	5,01**	40,54***	18,39***	10,35***	71,46***
F1xF2	4,46**	0,01ns	6,79***	2,39ns	15,37***

(***):p<0,01; (**):p<0,05; (*):p<0,10; (ns): no significativo; SD: sin datos
P17: primavera 2017; V18: verano 2018; O18: otoño 2018; I18: invierno 2018;
P18: primavera 2018

El comportamiento del contenido de humedad a lo largo de la ladera se puede explicar por el descenso del agua a través del suelo por gravedad, que adicionalmente explica que sea un efecto constante a lo largo del tiempo; complementariamente pudiesen existir otros factores de micrositio que favorezcan este fenómeno. Las diferencias en contenido de humedad observadas en negarín estarían asociadas a la presencia de afloramientos rocosos en la parte superior; los cuales disminuirían la superficie permeable a la vez de disminuir el volumen de suelo para almacenar el agua en la parte superior, mientras que la superficie impermeable favorecería el escurrimiento a la parte inferior de la ladera.

El menor contenido de humedad en microterrazza podría explicar la mejor condición de las plantas en casillas individuales; esta diferencia observada se podría asociar a un factor de sitio pues estas diferencias son similares durante primavera de 2017 y 2018, sin embargo, es necesario esperar más años para determinar el patrón de comportamiento de la humedad de suelo. Durante el periodo registrado en negarín, el comportamiento de este sector es similar al sector testigo.

Los resultado encontrados en humedad volumétrica del suelo no concuerdan con lo informado por Petit-Breuilh (2016) quien registró un valor mínimo $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ a lo largo del año, mientras que el registro máximo en Til-Til fue de $0,41 \text{ m}^3/\text{m}^3$, la diferencia se explica por diferencias de sitio. En tanto, Perez-Quezada *et al.* (2012), en ecosistemas con presencia de espino observó una humedad del suelo entre $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$ y $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$, aparentemente la intensidad de la lluvia fue un factor importante en el establecimiento de especies de raíces profundas.

En sabanas de espino degradadas la humedad del suelo alcanza medias de $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (Bown *et al.*, 2014), lo que es inferior a los resultados de esta práctica, debido, en parte a que las sabanas degradadas se encontraban sobre suelos más arenosos; o, como menciona Root-Bernstein *et al.* (2017), exista un efecto de bombeo por parte de los espinos, lo que genera condiciones más húmedas en la cercanía de los árboles.

En cuanto a la humedad de suelo observada en sitios con prácticas de cosecha de agua, particularmente, en terrazas en climas mediterráneos semiáridos de España, la humedad varió entre $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ y $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (Roldán *et al.*, 1996); sin embargo, estos valores se encontraban en condiciones localmente más áridas. En el mismo país, Querejeta *et al.* (2001), determinaron que la utilización de maquinaria es la mejor opción para instalar microterrazas, pues la capacidad de almacenar agua es mayor que en microterrazas construidas con herramientas manuales. Lo anterior podría provocar ruido ya que la construcción de las prácticas de cosecha de agua en esta práctica profesional fue construida

con herramientas manuales y maquinaria, sin identificar las superficies específicas de cada método de instalación.

3.2 Método Miyawaki

Los parámetros de calidad de planta de huingán y peumo se muestran en la Cuadro 6 y Cuadro 7, respectivamente, junto al intervalo de confianza y estadística descriptiva de una muestra. La correlación entre largo de tallo y DAC es demasiado débil, pues en huingán resulto ser menor a 0,05 en todos los modelos estadísticos mientras que peumo presentó un R^2 entre 0,2 y 0,25, por lo cual no pueden generarse regresiones que puedan relacionar significativamente la altura y DAC.

Cuadro 6. Calidad de planta de huingán

Estadístico para huingán	Altura [cm]	DAC [mm]	Relación tallo/raíz
tamaño muestral	30	30	30
media muestral	22,19	4,90	4,87
desviación estándar muestral	5,09	1,12	2,34
límite superior	32,60	7,20	9,66
límite inferior	11,77	2,61	0,09

Cuadro 7. Calidad de planta de peumo

Estadístico para peumo	Altura [cm]	DAC [mm]	Relación tallo/raíz
tamaño muestral	30	30	30
media muestral	15,30	5,34	2,91
desviación estándar muestral	2,35	0,88	0,48
límite superior	20,12	7,14	3,89
límite inferior	10,48	3,54	1,93

En el análisis de crecimiento, al cuarto mes de instalación del experimento, el factor práctica cultural tuvo efecto en el crecimiento en altura de espino y huingán (Cuadro 8). Para el caso de espino, la práctica cultural con guano fue la que presentó el menor crecimiento, mientras que, para huingán, el mayor crecimiento se obtuvo en la práctica cultural con hidrogel. En relación con el factor fertilización, se observan diferencias significativas en el crecimiento de los árboles de algarrobo, presentando mayor altura sin fertilizante. La interacción del factor práctica cultural con el factor fertilizante sólo es significativa en el crecimiento de huingán (Figura 13) la interacción de guano y fertilizante se relaciona con el equilibrio químico del suelo. Se observa un fuerte efecto de bloques para algarrobo, espino y huingán explicándose en parte porque los individuos que alcanzaron mayor altura tienen protecciones individuales mejorando su microclima (Oliet *et al.*, 2005). Adicionalmente, en el caso de peumo, la alta mortalidad de individuos podría afectar la

calidad de los datos por cuanto no se observan efectos de las prácticas culturales, fertilizante y bloques.

Cuadro 8. Efecto en altura de las plantas según práctica cultural

	Algarrobo	Espino	Huingán	Peumo
Práctica cultural (PC)				
Testigo	33,64a	23,00a	19,61b	13,80a
Guano	33,15a	18,17b	18,49b	12,28a
Hidrogel	35,59a	23,65a	21,96a	10,99a
Fertilización (F)				
Urea y fosfato	32,87b	20,18b	18,76a	12,37a
Sin fertilizante químico	35,39a	22,65a	20,39a	12,53a
Valor F y nivel de significancia				
PC	2,16ns	21,72***	6,29***	0,78ns
F	6,95***	3,14*	1,63ns	0,52ns
PC x F	1,75ns	1,26ns	5,59***	1,16ns
bloque	109,78***	218,31***	16,07***	0,16ns

(***): $p < 0,01$; (**): $p < 0,05$; (*): $p < 0,10$; (ns): no significativo

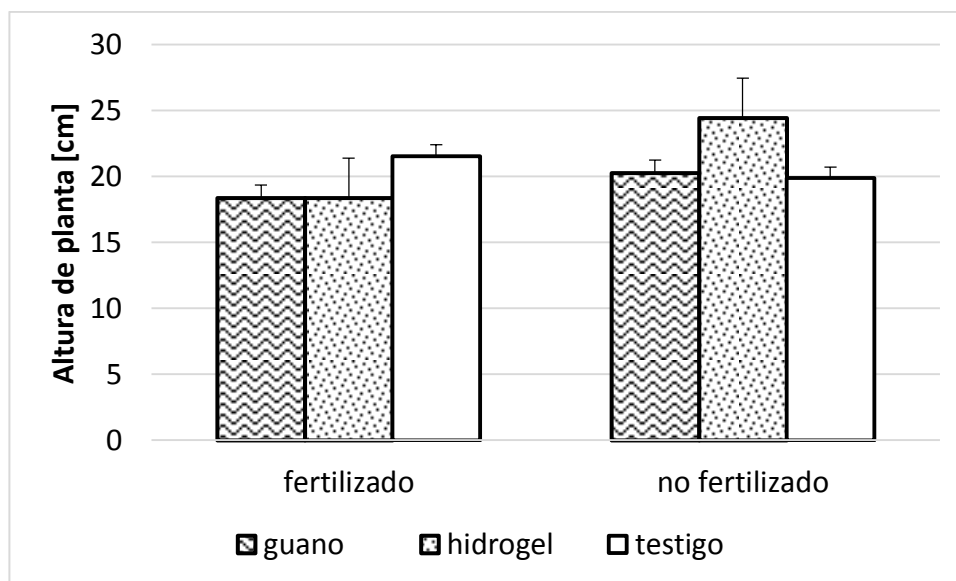


Figura 13. Altura de huigán según práctica cultural y fertilización

La supervivencia evaluada luego de cuatro meses de instalación del ensayo fue para todas las especies, menor al 75% (Cuadro 9), lo cual se podría considerar baja si se contrastan

estos resultados con el ensayo de prácticas de cosecha de agua. El estadístico de X^2 mostró efectos de la práctica cultural como de la fertilización. La sobrevivencia observada en tratamientos fertilizados es menor que en aquellos tratamientos sin fertilizar, para algarrobo, espino y huingán. Hidrogel tuvo la menor sobrevivencia en todas las especies mientras que el tratamiento testigo mostró mayor sobrevivencia para todas las especies; sin embargo, la diferencia fue estadísticamente significativa (95% de confianza) sólo para huingán. Hay interacción entre práctica cultural y fertilización está presente en algarrobo, espino y huingán (

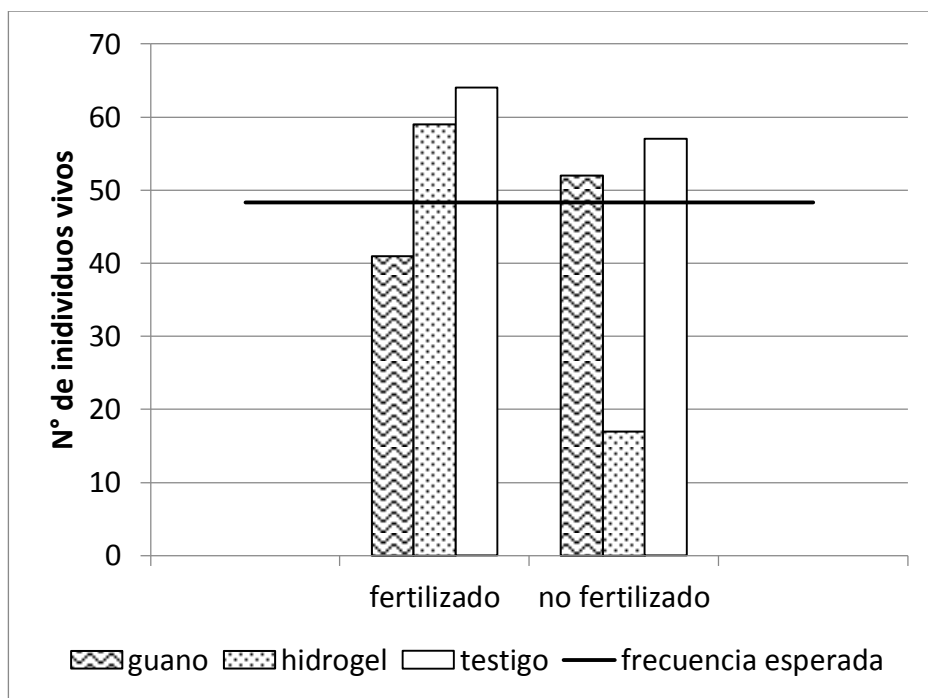


Figura 14). El mejor tratamiento fue el volteo y fertilización de la parcela, en contraste con el peor tratamiento de aplicación de hidrogel sin fertilizar.

Cuadro 9. Sobrevivencia en porcentaje para el método Miyawaki para cada especie

	Algarrobo	Espino	Huingán	Peumo
Práctica cultural (PC)⁺				
Testigo	73,0	61,7	51,9	21,0
Guano	64,3	51,7	39,9	15,0
Hidrogel	58,7	50,7	32,6	12,0
Frecuencia Esperada	65,3	54,7	41,6	16,5
Fertilización (F)				
Urea y fosfato	54,9b	43,8b	36,0b	11,0b
Sin fertilizante químico	75,8a	65,6a	46,9a	21,0a
Frecuencia Esperada	65,3	54,7	41,4	16,0

Valor X² y nivel de significancia

PC	4,79*	4,06ns	10,68***	1,75ns
F	15,03***	19,52***	4,98**	3,13*
PC x F	38,35***	25,29***	30,69***	8,88ns
Frecuencia Esperada	65,3	54,7	41,1	15,0

(***):p<0,01; (**):p<0,05; (*):p<0,10; (ns): no significativo

(⁺): no se realizaron comparaciones pareadas

Algarrobo fue la especie con mayor desempeño general, mientras que peumo tuvo la mayor mortalidad independiente del tratamiento, lo cual podría ser explicado porque peumo es una especie de sucesión tardía y las plántulas actuales no lograron crear un microclima diferenciado. Esto repercute en la diversidad de especies futura, favoreciendo a las especies más resistentes a la sequía; bajo esta premisa, se recomienda aumentar la presencia y diversificar las especies de sucesión intermedia como quillay y litre (Armesto y Pickett, 1985), debido a que estas especies presentan respuestas similares al huingán frente a restricción hídrica y son las especies esclerófilas que crecen en ambientes más áridos (Becerra *et al.*, 2013).

En este sentido el método de Miyawaki tal como está pensado, *i.e.* acelerar la sucesión instalando especies tardías con un fuerte laboreo del suelo, y disminución de la evaporación mediante la adición de “mulch”, no cumplió con los resultados esperados.

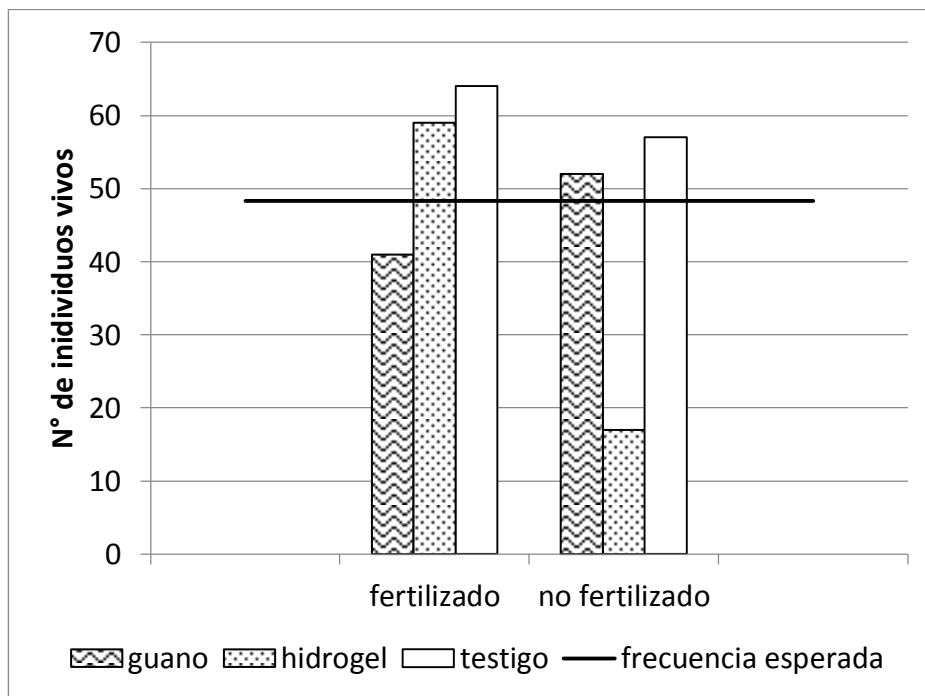


Figura 14. Supervivencia absoluta de la forestación Miyawaki

Para una aproximación a las proporciones adecuadas de cada especie, se recomienda una investigación del nicho local al momento de instalar la parcela, e investigar, particularmente, las praderas en ecosistemas mediterráneos, pues bosques densos disminuyen la biodiversidad de herbáceas en estas praderas (Alrababah *et al.*, 2007). Para Chile la presencia de bulbosas y su diversidad están asociadas a praderas, lo que significaría un tópico de importancia considerando el estatus de conservación de estas especies. Sin embargo, a pesar de que la creación de núcleos aumentaría la cobertura, este aumento sería marginal y no generaría cambios importantes en la cobertura a nivel de rodal, manteniendo el beneficio de la facilitación de especies arbóreas bajo la sombra parcial de estos núcleos (Root-Bernstein *et al.*, 2017; Maestre *et al.*, 2003).

La sombra parcial de los núcleos no representa el único beneficio, sin embargo, los otros efectos aparentemente no son tan importante como lo son en otros tipos de bosques, pues en bosques mediterráneos se ha observado que los árboles modifican el suelo, aumentando levemente el carbono y nitrógeno disponible (Laudicina *et al.*, 2012), además de aumentar la evapotranspiración por lo que es importante comprender en detalle el balance hidrológico para un uso sustentable del agua (Malagnoux *et al.*, 2007). Dicho lo anterior, el uso de compost es fundamental para generar condiciones aptas para un establecimiento rápido del bosque, aunque el efecto en la supervivencia se observa desde el segundo año (Larchevêque *et al.*, 2009; Hueso-González *et al.*, 2016).

3.3 Estimación de costos

La estimación de costos se realizó considerando una forestación de 120 ha, que es la superficie objetivo de la forestación actual (Apéndice V) con un espaciamiento de 5 m x 3m. El personal considerado es de 12 empleados, que son habitantes de poblados cercanos a la zona de forestación. Sólo se consideran operaciones manuales, pues gran parte de la forestación se encuentra sobre pendientes que dificultan la operación de subsoladores o bulldozers, además de la presencia de afloramientos rocosos.

El equipo de protección personal (EPP) corresponde a zapatos de seguridad, pantalones, polera manga larga, guantes de cabritilla y gorro tipo legionario, considerando telas con filtro de rayos UV; otro EPP de importancia que se excluye por la dificultad de cuantificar su uso es la crema con filtro solar. Dada la condición de alta radiación y baja nubosidad la protección de la radiación de UV es un tópico importante en forestación de zonas áridas. Se consideran otras herramientas genéricas como martillo, alicate, desatornillador entre otras.

Se considera un cercado de 1,8 m de altura con polines impregnados y 5 líneas de alambre de púas, para protección contra el ganado, y adicionalmente con malla hexagonal hasta 1,2 m de altura para la exclusión de lagomorfos. En la forestación adicionalmente se controlan

los lagomorfos mediante trampas que consisten en varetas de colihues o ramas de 30 cm aproximadamente que sustentan el alambre en forma de lazo.

La mayor parte del costo está representado por las plantas y sus protecciones que en conjunto representan el 68,2% de los costos, seguido por la mano de obra con 13,0% y combustible para transporte con 14,0%. Riego no es un costo porcentualmente importante en las forestaciones de Biocys, pero considerando el riego de 120 ha el gasto de agua se espera que sea de \$633,6 millones, que adicionalmente se extiende en el tiempo.

Considerando una superficie plana sin pendiente y con la densidad de 667 plantas/ha deberían excavar 2 Km de surcos por ha, mientras que para implementar negarines con un área de captación equivalente al espacio que tienen los árboles en microterrazza, los surcos deberían medir 5,8 Km; es decir, la implementación de negarines es 2,9 veces más costoso que microterrazza en estas condiciones y la cantidad de surcos siempre superior al doble de la cantidad necesaria de microterrazas.

3.4 Propuesta de mejoramiento en el control y monitoreo de plantaciones

La propuesta de mejoramiento, se basa sobre la regulación de los tamaños muestrales y calendarizar las mediciones, debido a que el experimento instalado previamente consta de una sobrerrepresentación de individuos en microterrazza. Se recomienda seleccionar aleatoriamente diez espinos y cuatro quillayes para su exclusión del experimento si se prefiere rescatar los datos actuales, o, utilizar métodos estadísticos *post-hoc* (Armstrong y Hilton, 2014). Adicionalmente, se plantea aumentar el tamaño muestral de algarrobo desde dos individuos a 21 individuos por práctica de cosecha de agua. Eventualmente se propone incorporar el seguimiento de guayacán. En particular para la sobrevivencia se plantea la calendarización del monitoreo y acople con el riego manual. Para el monitoreo de variables de temperatura se plantea concentrar el experimento a entre tres y seis muestras, adicionalmente a la medición del potencial hídrico de las mismas muestras (Contador, 2008; Petit-Breuilh 2016);

Respecto al potencial hídrico del suelo, se plantea mantener el monitoreo como se realiza en la actualidad, pero agregando la medición de variables respuesta potenciales como altura o temperatura foliar (Contador, 2008). Opcionalmente intentar homogeneizar la especie medida y en lo posible evaluar a diferentes profundidades; además, de la aplicación y validación de modelación hidrológica (Arbat *et al.*, 2003; Molina *et al.*, 2003; Arbat *et al.*, 2007).

Si bien, como forestación afecta a RCA, la sobrevivencia no puede bajar del 80%, se propone identificar los individuos muertos y excluirlos de monitoreos futuros, y diseñar un

monitoreo mediante manejo adaptativo de las plantaciones con objetivo de reducir el consumo de agua (O'Connor *et al.*, 2005). El modelo planteado consiste en la reducción del monto de riego hasta observar una disminución significativa en la sobrevivencia, planteándose como mortalidad máxima aceptada como aquella cuyo costo sea menor al ahorro en agua realizado desde el inicio del manejo adaptativo:

$$\begin{aligned} & \textit{mortalidad absoluta} \times \textit{costo por planta} \\ & \leq [\textit{monto total riego} - \textit{ahorro de riego}] \times \textit{costo por agua} \end{aligned}$$

Existen diferentes fuentes de error que provocan el fracaso de forestaciones, que Martínez y del Río (2012) mencionan; en este caso calidad de planta posiblemente inadecuada asociada a una mala gestión de las plántulas post-vivero, mala preparación de sitio, particularmente asociado a la fecha de plantación diferencial entre las prácticas de cosecha de agua al momento de su instalación, y, posiblemente las condiciones de sequía observadas, que de no afectar directamente a las plantas provocarían el mal funcionamiento de las prácticas de cosecha de agua.

4 CONCLUSIONES

Existe una relación estadística débil a moderada entre el crecimiento en los primeros dos años y la práctica de cosecha de agua. La mayor altura se registró en forestación tradicional (tratamiento testigo) probablemente debido a la fecha de plantación y a la construcción tardía de los captadores de agua (fuera de la temporada de lluvias).

En *Acacia caven*, no existe suficiente evidencia estadística para aseverar un efecto de las prácticas de cosecha de agua en la altura y crecimientos de las plantas, al menos durante los primeros dos años de crecimiento. La sobrevivencia en microterrazza fue mayor a negarín relacionado a mejores condiciones ambientales y de los individuos de espino. La altura al inicio de primavera es un buen indicador del crecimiento durante la temporada de crecimiento. En *Quillaja saponaria*, no existe suficiente evidencia estadística para aseverar un efecto de las prácticas de cosecha de agua en la altura y crecimientos de las plantas, al menos durante los primeros dos años de la plantación. La altura al inicio de primavera es un buen indicador del crecimiento durante la temporada de crecimiento.

La humedad del suelo depende tanto de las condiciones locales como de la práctica de cosecha de agua. Las prácticas de cosecha de agua, en la zona mediterránea semiárida evaluada son importantes en primavera y otoño, donde se observan diferencias estadísticas. En verano, se recomienda mantener un riego mínimo y homogéneo, que asegure la mantención de la sobrevivencia de las plantas en campo. Existe una influencia de las condiciones locales de topografía, suelo y vegetación, en la humedad del suelo por lo cual se recomienda dosis de riego diferenciada entre sectores altos de ladera y sectores bajos. El estudio del establecimiento de plantaciones de escala operativa de bosque nativo en la zona mediterránea semiárida de Chile central, haciendo un uso mínimo del riego y favoreciendo la captación de aguas lluvias es esencial con miras a la rehabilitación del bosque esclerófilo. Lo anterior cobra relevancia pensando en las faenas de cierre y abandono cuando las empresas dejen de seguir invirtiendo en cuidados y riego por término de operaciones.

El método Miyawaki no muestra mejoras del micrositio durante los primeros meses desde su implementación, se recomienda la utilización de plantas nodrizas o sombreadores, al menos durante verano hasta que las especies pioneras se establezcan. Se debe verificar el perfil químico del guano local para adecuarlo a las condiciones del suelo y obtener mejores resultados. Los beneficios de las prácticas de cosecha de agua y de la forestación Miyawaki son apreciables a mediano y largo plazo (aproximadamente desde los 10 años en adelante) y comparativamente poseen altos costos de implementación; sin embargo, poseen externalidades positivas como el mejoramiento de las condiciones de sitio para la facilitación de la vegetación natural y potencialmente aumento en la biodiversidad.

5 BIBLIOGRAFÍA

- ACEITUNO, P. 1988. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part i: Surface Climate. *Monthly Weather Review* 116: 505-524
- ALRABABAH, M.; ALHAMAD, M.; SUWAILEH, A. y AL-GHARAIBEH, M. 2007. Biodiversity of semi-arid Mediterranean grasslands: Impact of grazing and afforestation. *Applied Vegetation Science* 10: 257-264
- ANTUNEZ, A.; MORA, D. y FELMER, S. 2010. Región de O'Higgins: Eficiencia en Sistemas de Riego por Goteo en el Secano. *Tierra Adentro* 88: 40-43
- ARBAT, G.; BARRAGAN, J.; PUIG, J.; POCH, R. y RAMIREZ, F. 2003. Evaluación de los Modelos Numéricos de Flujo de Agua en el Suelo HYDRUS-2D y SIMDAS en Riego Localizado. En: VI JORNADA de Investigación de la Zona no Saturada del Suelo. Córdoba, España. pp. 279-288
- ARBAT, G.; PUIG-BARGUES, J.; DURAN-ROS, M; BARRAGAN, J. y RAMIREZ, F. 2007. Distribución del Agua en el Suelo en Riego por Superficie: Aplicación del Código HYDRUS. En: VIII JORNADA de Investigación de la Zona no Saturada del Suelo. Córdoba, España. pp. 14-16
- ARROYO, M.; ZEDLER, P. y FOX, M. (Eds). 1995. *Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California, and Australia*. Estados Unidos. Springer. 449p. (Serie de Ecological Studies, volumen 108)
- ARMESTO, J. y PICKETT, S. 1985. A mechanistic approach to the study of succession in the Chilean matorral. *Revista Chilena de Historia Natural* 58: 9-17
- ARMSTRONG, R. y HILTON, A. 2014. Post Hoc Tests. En: *Statistical Analysis in Microbiology: Statnotes*. Estados Unidos de America. John Wiley & Sons. pp. 39-44
- ASHKENAZI, E.; AVNI, Y. y AVNI, G. 2012. A comprehensive characterization of ancient desert agricultural systems in the Negev Highlands of Israel. *Journal of Arid Environments* 86: 55-64
- BAI, W.; ZHANG, H.; LIU, B.; WU, Y. y SONG, J. 2010. Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. *Soil Use and Management* 26: 253-260
- BECERRA, P.; CRUZ, G.; RIOS, S. y CASTELLI, G. 2013. Importance of irrigation and plant size in the establishment success of different native species in a degraded ecosystem of central Chile. *Bosque* 334(1): 103-111
- BOERS, T.; ZONDERVAN, K. y BEN-ASHER, J. 1986. Micro-Catchment-Water-Harvesting (MCWH) for Arid Zone Development. *Agricultural Water Management* 12: 21-39

- BOSIER, J.; RONDANELLI, R.; GARREAUD, R. y MUÑOZ, F. 2015. Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters* 43: 413–421
- BOWN, H.; FUENTES, J.; PEREZ-QUEZADA, J. y FRANCK N. 2014. Soil respiration across a disturbance gradient in sclerophyllous ecosystems in Central Chile. *Ciencia e Investigación Agraria* 41(1): 89-106
- CAI, X.; ROSEGRANT, M. y RINGLER, C. Physical and economic efficiency of water use in the river basin: Implications for efficient water management. *Water Policy, Economics, and Systems Analysis* 39(1):
- CENTRO DE AGRICULTURA Y MEDIOAMBIENTE (AGRIMED). Atlas Agroclimático de Chile. Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y del Maule. Santiago, Chile. 2017. Tomo III.
- CERDA, J.; MEDINA, R. y JALIL, F. 2011. Manual de Plantaciones en Zonas Áridas. Coquimbo, Chile. 113p.
- CONTADOR, G. 1998. Caracterización del Status Hídrico del Palto (*Persea Americana* Mill.), en Función de la Humedad Disponible en el Suelo, en dos Tipos de Suelo y dos Sistemas de Riego. Memoria como requisito para optar al grado de Licenciado en Ciencias Agronómicas. Quillota, Universidad de Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 34p.
- DEHKORDI, D. 2018. Effect of hydrophilic polymers on seed germination and plant survival for sloping area. *Journal of soil and water conservation* 73(2): 173-178
- DEMIREL, K. y KAVDIR, Y. 2013. Effect of soil water retention barriers on turfgrass growth and soil water content. *Journal of Irrigation Science* 31:689-700
- Di CASTRI, F. y; MOONEY, H. (Eds.) Mediterranean Type Ecosystems: Origin and Structure. Berlin, Springer, 1970. 391p. (Serie de Ecological Studies)
- DONOSO, S.; PEÑA, K.; PACHECO, C.; LUNA, G. y AGUIRRE, A. 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Bosque* 32(2): 187-195
- DONOSO, S.; PEÑA-ROJAS, K.; PACHECO, C.; DURAN, S.; SANTALICES, R. y MASCARO, C. 2015. The physiological and growth response of *Acacia caven* under water stress and the application of different levels of biosolids. *Ciencia e investigación agrarian* 42(2): 273-283
- ELIZALDE, R. 1970. La Sobrevivencia de Chile. Segunda Edición. El Escudo, Santiago de Chile. 125 pp.
- EVENARI, M.; SHANAN, L. y TADMOR, N. Microcatchments (Negarín). *En su: The Nagev. The Challenge of a Desert.* 2^a ed. Estados Unidos, Harvard University Press, 2014. pp. 220-228

- FINKEL, H. y FINKEL, M. (1986). Engineering measures: water harvesting. En: FINKEL, H.; FINKEL, M. y NAVEH, Z. (Eds.) *Semi-arid Soil and Water Conservation*. Estados Unidos. CRC press. pp. 93-101
- GAJARDO, R. 1994. *La Vegetación Natural de Chile*. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 165p.
- GARREAUD, R.; ALVAREZ-GARRETON, C.; BARICHIVICH, J.; BOISER, J.; CHRISTIE, D.; GALLEGUILLOS, M.; Le QUESNE, C.; McPHEE, J. y ZAMBRANO-BIGIARINI, M. 2017. The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences* 21: 6307–6327
- GINSBERG, P. 2002. Planning and management of the afforestation process in Northern Israel. *New Forests* 24: 27–38
- GONZALEZ-REYES, A.; McPHEE, J.; CHRISTIE, D.; Le QUESNE, C.; SZEJNER, P.; MASIOKAS, M.; VILLALBA, R.; MUÑOZ, A. y CRESPO, S. 2017. Spatiotemporal Variations in Hydroclimate across the Mediterranean Andes (30°–37°S) since the Early Twentieth Century. *Journal of Hydrometeorology* 18 (7): 1929-1942
- GUERRA, E.; HERRERA, M. y DRAKE, F. 2010. Efecto de los Sistemas de Riego en la Rentabilidad de Plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*). *Agrociencia* 44: 99-107
- HATIBU, N.; YOUNG, M.; GOWING, J.; MAHOO, H. y MMZIRAI, O. 2003. Developing Improved Dryland Cropping Systems for Maize in Semi-Arid Tanzania. Part 1: Experimental Evidence for the Benefits of Rainwater Harvesting. *Experimental Agriculture* 39(3): 279-292
- HATTON, T. y WU, H. 1995. Scaling Theory to Extrapolate Individual Tree Water Use to Stand Water Use. *Hydrological Processes* 9: 527-540
- HIGHFILL, R. 1983. Modern Terrace Systems. *Journal of Soil and Water Conservation* 38(4): 336-338
- HUESO-GONZALEZ, P.; MARTINEZ-MURILLO, J. y RUIZ-SINOGA, J. 2016. Effects of topsoil treatments on afforestation in a dry Mediterranean climate (southern Spain). *Solid Earth* 7: 1479-1489
- HUSSEIN, M.; AMIEN, I. y KARIEM, T. 2016. Designing terraces for the rainfed farming region in Iraq using the RUSLE and hydraulic principles. *International Soil and Water Conservation Research* 4(1): 39-44
- INSTITUTO FORESTAL (INFOR). 2009. Informe Técnico N°176: Elaboración Proyectos Forestación/Reforestación bajo Mecanismo de Desarrollo Limpio en Chile. Santiago, Chile. 140p.
- JEDDI, K. y CHAIEB, M. 2012. Restoring degraded arid Mediterranean areas with exotic tree species: Influence of an age sequence of *Acacia salicina* on soil and vegetation dynamics. *Flora* 207: 693– 700
- JORDAN, A.; ZAVALA, L. y GIL, J. 2010. Effects of “mulch”ing on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Cetena* 81(1): 77-85

- KAVDIR, Y.; ZHANG, W.; BASSO, B. y SMUCKER, A. 2014. Development of a new long-term drought resilient soil water retention technology. *Journal of soil and water conservation* 69(5): 154-160
- KÖGLER, F. y SÖFFKER, D. 2017. Water (stress) models and deficit irrigation: System-theoretical description and causality mapping. *Ecological Modelling* 361:135–156
- LARCHEVEQUE, M.; BALLINI, C.; KORBOULEWSKY, N. y MONTES, N. 2009. The use of compost in afforestation of Mediterranean areas: Effects on soil properties and young tree seedlings. *Science of the Total Environment* 369: 220–230
- LAUDICINA, V.; De PASQUALE, C.; CONTE, P.; BADALUCCO, L.; ALONZO, G. y PALAZZOLO, E. 2012. Effects of afforestation with four unmixed plant species on the soil–water interactions in a semiarid Mediterranean region (Sicily, Italy). *Journal of Soils Sediments* 12:1222–1230
- LAUENSTEIN, D.; FERNANDEZ, M. y VERGA, A. 2012. Respuesta diferenciada a la sequía de plantas jóvenes de *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* y sus híbridos interespecíficos: implicancias para la reforestación en zonas áridas. *Ecología austral* 22: 43-52
- LUEBERT, F. y PLISCOFF, P. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. 2ª ed. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 2010. 381p.
- LI, J.; XIE, S.; COOK, E.; MORALES, M.; CHRIESTIE, D.; JOHNSON, N.; CHEN, F.; D'ARRIGO, R.; FOWLER, A.; GOU, X. y FANG, K. 2013. *Nature Climate Change* 3: 822-826
- LIU, X. y CHAN, Z. 2015. Application of potassium polyacrylate increases soil water status and improves growth of bermudagrass (*Cynodon dactylon*) under drought stress condition. *Scientia Horticulturae* 197: 706-711
- LOPEZ-ELIAS, J.; GARZA, S.; JIMENEZ, J.; HUEZ, M. y GARRIDO, O. 2016. Uso De Un Polímero Hidrófilo A Base De Poliacrilamida Para Mejorar La Eficiencia En El Uso Del Agua. *European Scientific Journal* 12(15):160-175
- MAESTRE, F.; CORTINA, J.; BAUTISTA, S. y BELLOT, J. 2003. Does *Pinus halapensis* facilitate the establishment of shrubs in Mediterranean semi-arid afforestations?. *Forest Ecology and Management* 176: 147-160
- MALAGNOUX, M.; SENE, E. y ATZMON, N. 2007. Forests, trees and water in arid lands: a delicate balance. *Unasylva* 229(58): 24-29
- MARTINEZ, A. y Del RIO, J. 2012. Los riesgos de apoyo y de socorro en repoblaciones forestales. *Foresta* (54): 32-44
- MASIOKAS, M.; VILLALBA, R.; LUCKMAN, B.; Le QUESENE, C. y ARAVENA, J. 2006. Snowpack Variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951–2005: Large-Scale Atmospheric Influences and Implications for Water Resources in the Region. *Journal of Climate* 19: 6334-6352
- MIYAWAKI, A. y GOLLEY, F. 1993. Forest reconstruction as ecological engineering. *Ecological Engineering* 2(4): 333-345

- MIYAWAKI, A. 1998. Restoration of urban green environments based on the theories of vegetation ecology. *Ecological Engineering* 11(3): 157-165
- MIYAWAKI, A. 2004. Restoration of living environment based on vegetation ecology: Theory and practice. *Ecological Research* 19: 83-90
- MOLINA, J.; GURIVICH, L. y VARAS, E. 2003. Modelación y Análisis Probabilístico del Balance Hídrico Superficial de un Sistema de Riego en Chile Central. *Ingeniería del Agua* 10(2): 135-147
- MONTECINOS, A.; KURGANSKY, M. y TAKAHASHI, K. 2011. Non-ENSO interannual rainfall variability in central Chile during austral winter. *Theoretical and Applied Climatology* 106(4): 557-568
- MWANGI, J.; SHISANYA, C.; GATHENYA, J.; NAMIREMBRE, S. y MORIASI, D. 2015. *Journal of soil and water conservation* 70(2): 75-90
- NEETHU, T.; DUBEY, P. y KASWALA, A. 2018. Prospects and Applications of Hydrogel Technology in Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7(5): 3155-3162
- NILES, M. y LUBELL, M. 2012. Integrative frontiers in environmental policy theory and research. *Policy Studies Journal* 40: 41-64
- O'CONNOR, S.; SALAFSKY, N. y SALZER, D. 2005. Monitoring Forest Restoration Projects in the Context of an Adaptive Management Cycle. En: MANSOURIAN, S. y VALLAURI, D. (Eds.) *Forest Restoration in Landscapes*. Estados Unidos de America. Springer-Verlag New York. pp. 145-149
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; ARTERO, F. y JACOBS, D. 2005. Nursery fertilization and tree “shelter”s affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in Mediterranean semiarid conditions. *Forest Ecology and Management* 215: 339–351
- OVALLE, O.; ARELLANO, E.; OLIET, J.; BECERRA, P. y 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: 758-765
- OVALLE, O.; GINOCCHIO, R.; ARELLANO, E. y 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(1): 19-27
- OWEIS, T. y TAIMEH, A. 1996. Evaluation of a Small Basin Water-Harvesting System in the Arid Region of Jordan. *Water Resources Management* 10: 21-34
- PEREZ-QUEZADA, J.; BOWN, H.; FUENTES, J.; ALFARO, F. y FRANCK, N. 2012. Effects of afforestation on soil respiration in an arid shrubland in Chile. *Journal of Arid Environments* 83: 45-53
- PETIT-BREUILH, A. 2016. Respuestas morfofisiológicas de *Quillaja saponaria* mol. y *Lithraea caustica* (mol.) et arn. a la eliminación paulatina del riego en una plantación, en

cerro El Roble, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza. 35p.

PRINZ, D. 1996. Water Harvesting: Past and Future. En: PEREIRA L., FEDDES R., GILLEY J. y LESAFFRE B. (Eds.) Sustainability of Irrigated Agriculture. Holanda. Springer (Serie de NATO ASI, volumen 312).

PRINZ, D. y SINGH, A. 2000. Technological Potential for Improvements of Water Harvesting. [en línea] <http://web.stanford.edu/~cbauburn/basecamp/dschool/homeproject/water_harvesting_improvements_technology.pdf> [consulta: 15 de mayo de 2018]

QUINTANA, J. y ACEITUNO, P. 2012. Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S. *Atmósfera* 25(1): 1-22

QUEREJETA, J.; ROLDAN, A.; ALBALADEJO, J. y CASTILLO, V. 1997. The Role of Mycorrhizae, Site Preparation, and Organic Amendment in the Afforestation of a Semi-Arid Mediterranean Site with *Pinus halepensis*. *Forest Science* 44(2): 203-211

QUEREJETA, J.; RODAN, A.; ALBALADEJO, J. y CASTILLO, V. 2001. Soil water availability improved by site preparation in a *Pinus halapensis* afforestation under semiarid climate. *Forest Ecology and Management* 149: 115-128

RAZZAGHI, M. 2011. Rain Water Harvesting Systems is a Way for Water Conservation. *International Journal of Water Resources and Arid Environments* 1(4): 277-284

ROLDAN, A.; QUEJERETA, I.; ALBADEJO, J. y CASTILLO, V. 1996. Survival and growth of *Pinus halepensis* Miller seedlings in a semi-arid environment after forest soil transfer, terracing and organic amendments. *Annals of Sciences Forest* 53: 1099-1112

ROOT-BERNSTEIN, M.; VALENZUELA, R.; HUERTA, M.; ARMESTO, J. y JAKSIC, F. 2017. *Acacia caven* nurses endemic sclerophyllous trees along a successional pathway from silvopastoral savanna to forest. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15(4): 271-281

ROSEGRANT, M.; RINGLER, C.; MCKINNEY, D.; CAI, X.; KELLER, A. y DONOSO, G. 2000. Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: the Maipo river basin. *Agricultural Economics* 24: 33-46

SANTOS, L.; de JUAN, J.; PICORNELL, M. y TARJUELO, J. 2010. El Riego y sus Tecnologías. Portugal. Editora Europa-América. 296 pp

SHARMA, S. 2016. ¿Cómo hacer crecer un bosque en tu patio trasero? [archivo de video] <https://www.ted.com/talks/shubhendu_sharma_how_to_grow_a_forest_in_your_backyard?language=es> [5 junio 2018]

SCHIRONE, B.; SALIS, A. y VESSELLA, F. 2011. Effectiveness of the Miyawaki method in Mediterranean forest restoration programs. *Landscape and Ecological Engineering* 7:81-92

SCHUCK, A.; PÄIVINEN, R.; HYTÖNEN, T. y PAJARI, B. 2002. Compilation of Forestry Terms and Definitions. [archivo PDF] Joensuu, Finlandia

<https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/ir_06.pdf> [15 de febrero de 2019]

SCHWAB, G.; FANGMEIER, D.; ELLIOT, W. y PREVERT, R. 1993. Soil and water conservation engineering. John Wiley and Sons, New York. 507p

SHACHAK, M.; SACHS, M. y MOSHE, I. 1998. Ecosystem Management of Desertified Shrublands in Israel. *Ecosystems* 1(5): 475-483

SINGH, A.; MACGOWAN, B.; O'DONNELL, M.; OVERSTREET, B.; ULRICH-SCHAD, J.; DUNN, M.; KLOTZ, H. y PROKOPY, L. 2018. The influence of demonstration sites and field days on adoption of conservation practices. *Journal of soil and water conservation* 73(3): 276-283

SINGH, C.; DAS, T. y SEKHON, N. 2018. “mulch”ing effects on selected soil physical properties. “mulch”ing effects on selected soil physical properties 55(2): 274-281

STAVI, I.; FIZIK, E. y ARGARMAN, E. 2015. Contour bench terrace (shich/shikim) forestry systems in the semi-arid Israeli Negev: Effects on soil quality, geodiversity, and herbaceous vegetation. *Geomorphology* 231: 376-382

SZULECKA, J. y SECCO, L. 2014. Local institutions, social capital and their role in forest plantation governance: lessons from two case studies of smallholder plantations in Paraguay. *International Forestry Review* 16(2): 180-190

VALLADARES, F.; DOBARRO, I.; SANCHEZ-GOMEZ, D. y PEARCY, R. 2004. Photoinhibition and drought in Mediterranean woody saplings: scaling effects and interactions in sun and shade phenotypes. *Journal of Experimental Botany* 56(411): 483-494

VERBIST, K. 2011. Climatic and soil physical constraints for efficient rain water harvesting in degraded lands of Chile. Tesis para optar al grado de Doctor in Applied Biological Sciences. Bélgica, Universidad de Ghent, Facultad de Ingeniería en Biociencias. 224p

VOGEL, H. 1987. Terrace farming in Yemen. *Journal of Soil and Water Conservation* 42(1): 18-21

WANG, J.; GHIMIRE, R.; FU, X.; SANJU, U. y LIU, W. 2018. Straw “mulch”ing increases precipitation storage rather than water use efficiency and dryland winter wheat yield. *Agricultural Water Management* 206: 95-101

YASAR, A.; KAZUCU, M.; ÇELIK, I.; SEZEN, S. y JACOBSEN, S. 2014. Water Harvesting for Improved Water Productivity in Dry Environments of the Mediterranean Region Case study: Pistachio in Turkey. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200(5): 361-370

ZURYAK, R. Rehabilitating the ancient terraced lands of Lebanon. *Journal of soil and water conservation* 49(2): 106-11

6 APÉNDICE

APÉNDICE I: FICHAS DE PRÁCTICAS DE COSECHA DE AGUA

APÉNDICE II: COSTOS DE FORESTACIÓN

APÉNDICE I: FICHAS DE PRÁCTICAS DE COSECHA DE AGUA



REFORESTACIÓN EN ZONAS MEDITERRÁNEAS-SEMIÁRIDAS

BOSQUE ESCLERÓFILO Y ESPINOSO

Fabián Esteban Rojas Mundaca
Licenciado en Ciencias Forestales

Santiago, Chile
Diciembre, 2018

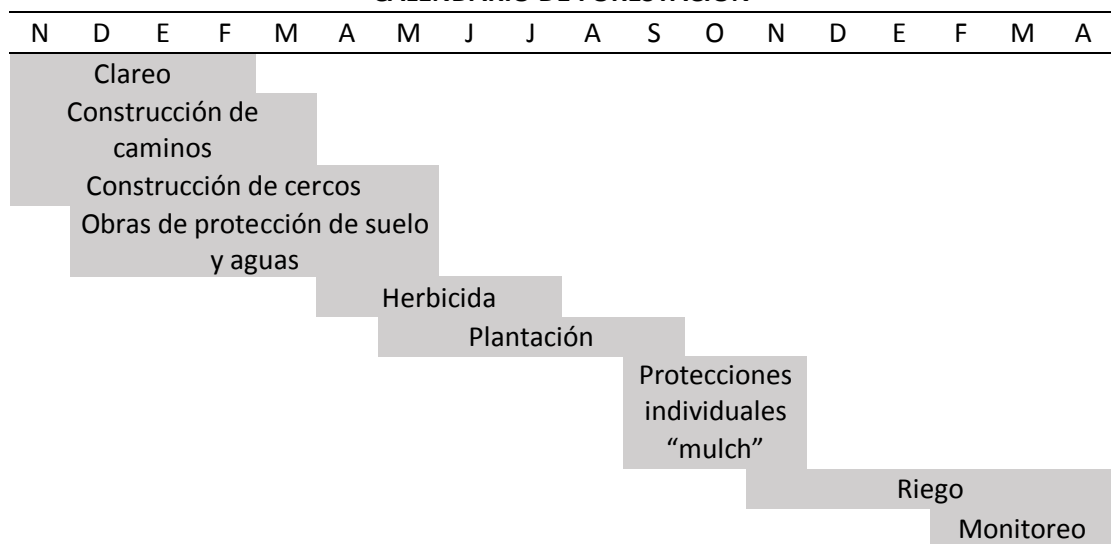
Forestación

El proceso de poblar un sitio con especies arbóreas es forestación, si en el sitio de forestación existió un bosque previamente se habla de reforestación. Para lograr una forestación exitosa debe considerarse el sitio y sus características:

Suelos	Los suelos proveen nutrientes necesarios para las plantas y es la fuente desde donde obtienen el agua necesaria, además son el medio de anclaje de las raíces. La principal característica del suelo, en esta zona, es la porosidad, relacionada a la capacidad de almacenar agua.
Topografía	La disposición espacial se relaciona con la exposición solar, que repercute en la evapotranspiración de las plantas, prefiriendo pendientes con dirección sur; además el flujo subterráneo del agua y escurrimiento superficial tienden a acumular agua en los sectores bajo de las laderas. En tanto a las prácticas culturales una topografía más accidentada presenta mayores dificultades a la hora de implementar las prácticas culturales
Clima	La precipitación y temperatura son importantes para definir las necesidades de riego de la forestación: mayores temperaturas provocan mayor evapotranspiración, mientras que la precipitación recarga el agua contenida en el suelo. Cada evento de precipitación debe ser mayor a 5mm para lograr permear al suelo.
Vegetación	En primer lugar, la vegetación local permite reconocer las especies con potencial para forestar, y en caso de árboles, puede dificultar la aplicación de tratamientos al suelo. Por otro lado, la biocenosis puede servir para facilitar el establecimiento de los arboles al generar microclimas aptos para las plantas.

Además del sitio es importante el momento en que se realizan las operaciones, siendo el momento crítico la primera lluvia que representa la fecha ideal para la plantación:

CALENDARIO DE FORESTACIÓN



FICHA TECNICA N°1 de 4 – PLANTACIÓN TRADICIONAL

El método básico de plantación de especies forestales corresponde a extracción de cierto volumen de suelo (hoyadura) y colocación de los árboles; tradicionalmente estas hoyaduras se distribuyen de manera uniforme, considerando los accidentes de terreno, dependiendo de la densidad de plantación el distanciamiento típico en forestaciones en esta zona es de 3x4.

La estrategia de ordenación clásica corresponde a subdivisión del bosque o predio en subunidades internamente homogéneas, tanto en edad, especie y tratamientos, y en lo posible, condiciones ambientales homogéneas; denominándose cada una de estas unidades como rodal.

Clima	Climas oceánicos, en general con condiciones óptimas para el crecimiento de árboles.
Especies recomendadas	Especies de mayor resistencia: espino
Recomendación de riego	5 L/mes durante meses secos
Control de plagas	Controlar lagomorfos mediante cepos, aparentemente las perchas para aves no funcionan
Periodo de plantación	Antes de la primera lluvia de la temporada, lo que corresponde a mayo aproximadamente
Costo	\$2.132.380 por hectárea y densidad de plantación de 666 árboles/ha
Ventajas	Menor costo de instalación
Desventajas	En climas con restricciones de crecimiento es necesario complementar con riego.



FICHA TECNICA N°2 de 4 – MICROTERRAZA FORESTAL

Método de cosecha de agua consistente en una serie de camellones perpendicular a la pendiente y paralelos entre sí. El método de construcción de la microterrazza, es decir, manual o usando maquinas no presenta grandes impactos en los resultados.

Clima	Climas oceánicos.
Especies recomendadas	Especies locales de sucesión media: algarrobo
Recomendación de riego	5 L/mes durante meses secos
Control de plagas	Controlar lagomorfos mediante cepos, aparentemente las perchas para aves no funcionan La aplicación de enmiendas de suelo, en especial biosólidos, mejora el crecimiento.
Periodo de plantación	Antes de la primera lluvia de la temporada, lo que corresponde a mayo aproximadamente
Costo	\$3.169.180 por hectárea y densidad de plantación de 666 árboles/ha
Ventajas	Ayuda a controlar la erosión
Desventajas	Las tormentas deben ser mayores a 15mm



Método de cosecha de agua consistente en superficies de captación romboidales. Se origina en métodos tradicionales de cosecha de agua en zonas semiáridas en las costas mediterráneas, de hecho, “negarin” es una palabra de origen hebreo y su popularización moderna es por un académico israelita.

Clima	Climas mediterráneos asociado a sistemas montañosos.
Especies recomendadas	Especies locales menos resistentes a sequía: quillay
Recomendación de riego	5 L/mes durante meses secos
Control de plagas	Controlar lagomorfos mediante cepos, aparentemente las perchas para aves no funcionan
Periodo de plantación	Antes de la primera lluvia de la temporada, lo que corresponde a mayo aproximadamente
Costo	\$5.136.877 por hectárea y densidad de plantación de 666 árboles/ha
Ventajas	Mayor costo de instalación
Desventajas	Los requerimientos topográficos son mayores.



FICHA TECNICA N°4 de 4 – FORESTACION DE MIYAWAKI

Sistema de diseñado para la restauración ecológica consistente en la forestación en núcleos de alta densidad para fomentar la generación de un microclima y la inclusión simultanea de especies de diferentes fases de sucesión. El método es relativamente exitoso en zonas tropicales semiáridas mediante la aplicación de tratamientos culturales al sitio de plantación.

En principio la estrategia de ordenación pretende acelerar la sucesión natural para restauración de microbosques urbanos o islas de vegetación en áreas silvestres; también se aplica en rehabilitación con enfoque en la preparación de intensiva de las condiciones de sitio. En este caso, los rodales deben considerar las condiciones de micrositio para la selección de especies, especialmente en las cercanías de cursos de agua.

Clima	Climas oceánicos y monzónicos, en climas de menor precipitación se debe considerar riego de apoyo después del segundo año
Especies recomendadas	Se debe maximizar el número de especies.
Recomendación de riego	Riego mensual durante los dos primeros años.
Control de plagas	El control de lagomorfos es más efectivo al cercar el bosque con malla hexagonal a 1,2 m de altura.
Periodo de plantación	Antes de la primera lluvia de la temporada, lo que corresponde a mayo aproximadamente
Costo	\$559.236 en parcelas de 100m ² con densidad de 3 plantas/m ² ; sólo considera espino, algarrobo y huingán.
Ventajas	Ideal para superficies pequeñas
Desventajas	Alto costo de instalación.



BIBLIOGRAFÍA

GINSBERG, P. 2002. Planning and management of the afforestation process in Northern Israel. *New Forests* 24: 27–38

LARCHEVEQUE, M.; BALLINI, C.; KORBOULEWSKY, N. y MONTES, N. 2009. The use of compost in afforestation of Mediterranean areas: Effects on soil properties and young tree seedlings. *Science of the Total Environment* 369: 220–230

ROLDAN, A.; QUEJERETA, I.; ALBADEJO, J. y CASTILLO, V. 1996. Survival and growth of *Pinus halepensis* Miller seedlings in a semi-arid environment after forest soil transfer, terracing and organic amendments. *Annals of Sciences Forest* 53: 1099-1112

SIYAG, P. 2013. Planting, Regeneration, Aftercare and Maintenance. En: *Afforestation, Reforestation and Forest Restoration in Arid and Semi-arid Tropics*. Países Bajos. Springer Dordrecht. pp. 109-124

SIYAG, P. 2013. Costing and Estimation of Works. En: *Afforestation, Reforestation and Forest Restoration in Arid and Semi-arid Tropics*. Países Bajos. Springer Dordrecht. pp. 127-200

VALLEJO, R. 2005. Restoring Mediterranean Forests. En: MANSOURIAN, S. y VALLAURI, D. (Eds.) *Forest Restoration in Landscapes*. Estados Unidos de America. Springer-Verlag New York. pp. 313-319

VITA, A. 1996. Los tratamientos silviculturales. Santiago, Chile. 147p.

APÉNDICE II: COSTOS DE FORESTACIÓN

Ítem		Costo		Fuente
Herramientas	Cantidad	5831	\$/ha	
Rozón	5 uds	15990	\$/ud	Sodimac (2018)
Lima plana	5 uds	4790	\$/ud	Sodimac (2018)
EPP	12 set	29388	\$/set	Sodimac (2018)
Pala	5 uds	6490	\$/ud	Sodimac (2018)
Chuzo	5 uds	12150	\$/ud	Sodimac (2018)
Otras herramientas	5 set	30000	\$/set	
Cercado y trampas	Cantidad	19383	\$/ha	
Polines	274 uds	3992	\$/ud	INFOR (2018)
Alambre de púas	5477.2 M	148.9	\$/m	Sodimac (2018)
Malla hexagonal	1095.4 M	375.9	\$/m	Sodimac (2018)
Cepos	480 Uds	11.2	\$/ud	Sodimac (2018)
Riego	Cantidad	76680	\$/ha	
Estanques	30 Uds	118990	\$/ud	Sodimac (2018)
Motobomba	1 Uds	199990	\$/ud	Sodimac (2018)
Manguera fija	1500 M	76.0	\$/m	Sodimac (2018)
Manguera portable	500 M	76.0	\$/m	Sodimac (2018)
Agua	480 m3	11000	\$/m3	Biocys (2018)
Forestación	Cantidad	1453600	\$/ha	
Plantas	96000 Uds	860	\$/ud	Vivero Antumapu (2018)
Protección individual	96000 Uds	957	\$/ud	Forestry Suppliers (2018)

Ítem		Costo		Fuente
Jornales	Cantidad	278049.9	\$/ha	
Roce liviano	240 jornada	14400	\$/jornada	INFOR (2018) Ley N° 21.112 (2018)
Desmalezado	181 jornada	14400	\$/jornada	INFOR (2018) Ley N° 21.112 (2018)
Plantación	435 jornada	14400	\$/jornada	INFOR (2018) Ley N° 21.112 (2018)
Riego	453 jornada	14400	\$/jornada	INFOR (2018) Ley N° 21.112 (2018)
Cerco	960 jornada	14400	\$/jornada	INFOR (2018) Ley N° 21.112 (2018)
Control de lagomorfos	48 jornada	14400	\$/jornada	Biocys (2018) Ley N° 21.112 (2018)
Transporte	Cantidad	298835	\$/ha	
Plantas	8000 Km	59	\$/Km	CNE (2018) Ministerio de Energia (2018)
Materiales	763.2 Km	59	\$/Km	CNE (2018) Ministerio de Energia (2018)
Personal	599037.8 Km	59	\$/Km	CNE (2018) Ministerio de Energia (2018)
Total		2132380	\$/ha	