



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

EFFECTO DE LA FECHA DE PLANTACIÓN, SOMBRA Y USO DE
MULCH EN UNA PLANTACIÓN EN NÚCLEO DE CINCO ESPECIES
ESCLERÓFILAS, REGIÓN METROPOLITANA

Memoria para optar a Título
Profesional de Ingeniera Forestal

VALERIA ANDREA BRAVO COFRÉ

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

Santiago, Chile

2021

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

EFFECTO DE LA FECHA DE PLANTACIÓN, SOMBRA Y USO DE
MULCH EN UNA PLANTACIÓN EN NÚCLEO DE CINCO ESPECIES
ESCLERÓFILAS, REGIÓN METROPOLITANA

Memoria para optar a Título
Profesional de Ingeniera Forestal

VALERIA ANDREA BRAVO COFRÉ

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

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, Jeannette, por su amor y apoyo incondicional en este camino, además de esforzarse cada día para que no me faltara nada, al igual que mi padre Juan, de quien aprendí a ser perseverante para seguir avanzando en este proceso. Y, obviamente, a mi hermana Nicole, que me ha acompañado en este viaje desde mucho tiempo antes, su ayuda, consejos, paciencia y amor me han llevado hasta aquí.

También le agradezco a mis amigas Constanza y Javiera, que siempre creyeron en mí y estuvieron en cada momento dándome ánimos para seguir adelante, entre otras amigas y amigos que han sido parte de esto. A quienes me dieron su amistad en la Universidad y un pedacito de su corazón, a Valeria, Gloria, Montserrat y Pedro. Y a tantas otras compañeras y compañeros con quienes tuve la oportunidad de compartir y aprender un poco más.

A mi profesor guía, Eduardo Martínez, por la entrega de conocimientos, apoyo, paciencia y contribución en este trabajo. Igualmente, a mis profesores consejeros Carlos Magni y Juan Ovalle, por su disponibilidad y consejos.

Finalmente, a Anglo American S.A. Operación Los Bronces, por financiar, apoyar y hacer la prestación de sus dependencias, en las que se estableció la plantación en núcleo de este estudio, que forma parte del proyecto “Gestión de Recursos Fitogenéticos”. Y, por supuesto, al Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales (CESAF) de la Universidad de Chile, por gestionar y llevar a cabo este proyecto, quienes me proporcionaron los datos para realizar este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Rehabilitación ambiental	2
1.1.1. Minería y medio ambiente	2
1.1.2. Reforestación en climas mediterráneos	3
1.1.3. Plantación en núcleo	4
1.2. Fecha de plantación	5
1.3. Sombra	5
1.4. Cobertura orgánica (Mulch)	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	7
2. MATERIAL Y MÉTODO	8
2.1. Material	8
2.1.1. Área de estudio	8
2.1.1.1. Clima y Meteorología	9
2.1.1.2. Suelo.....	9
2.1.1.3. Flora y vegetación	9
2.1.2. Base de datos	9
2.2. Método	10
2.2.1. Descripción del ensayo	10
2.2.2. Levantamiento de datos	11
2.2.3. Análisis estadístico	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
3.1. Supervivencia de la plantación	12
3.1.1. Núcleos	12
3.1.2. Individuos de borde	14
3.2. Supervivencia por especies	15
3.3. Crecimiento	17
3.1.1. Diámetro a la altura del cuello (DAC)	17
3.1.2. Δ Diámetro a la altura del cuello (Δ DAC)	21
3.1.3. Altura (H)	24
3.1.4. Δ Altura (Δ H)	28

4. CONCLUSIONES	31
5. BIBLIOGRAFÍA	32
6. ANEXOS	36
7. APÉNDICES	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de sobrevivencia de los núcleos en función de los distintos tratamientos.	12
Cuadro 2. Porcentaje de sobrevivencia de las especies con respecto al total de individuos vivos por tratamiento (Ac = <i>Acacia caven</i> , Sp = <i>Schinus polygamus</i> , Qs = <i>Quillaja saponaria</i> , Mb = <i>Maytenus boaria</i> y Ca = <i>Cryptocarya alba</i>).	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la plantación en núcleo, Sector Peldehue, Operación Los Bronces de Anglo American.	8
Figura 2. Porcentaje de sobrevivencia de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).....	14
Figura 3. Porcentaje de sobrevivencia de las especies (media \pm error estándar) en la plantación en núcleo (Ac = <i>Acacia caven</i> , Sp = <i>Schinus polygamus</i> , Qs = <i>Quillaja saponaria</i> , Mb = <i>Maytenus boaria</i> y Ca = <i>Cryptocarya alba</i>).	15
Figura 4. Diámetro a la altura del cuello final (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y la sombra (%).	19
Figura 5. Diámetro a la altura del cuello final (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).	20
Figura 6. Diámetro a la altura del cuello final (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la sombra (%) y el uso de mulch (con/sin).	21
Figura 7. Incremento del diámetro a la altura del cuello (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y la sombra (%).	22
Figura 8. Incremento del diámetro a la altura del cuello (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).....	23
Figura 9. Incremento del diámetro a la altura del cuello (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la sombra (%) y el uso de mulch (con/sin).....	24
Figura 10. Altura final (cm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y la sombra (%).	26
Figura 11. Altura final (cm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).	27
Figura 12. Altura final (cm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la sombra (%) y el uso de mulch (con/sin).	28
Figura 13. Incremento de la altura (cm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).	29
Figura 14. Combinación de los factores sombra y mulch en la plantación en núcleo, Sector Peldehue, Operación Los Bronces (CESAF, 2018).	36
Figura 15. Proceso de evaluación y estado de la plantación en núcleo a junio de 2019, Sector Peldehue, Operación Los Bronces (CESAF, 2019).	37
Figura 16. Esquema representativo de un núcleo.	38
Figura 17. Distribución espacial de los tratamientos y bloques de la plantación en núcleo, Sector Peldehue, Operación Los Bronces de Anglo American.....	39

RESUMEN

La restauración forestal en Chile se presenta en gran parte como una medida de compensación por la acción de despejes de bosques para el desarrollo de empresas de distintos rubros. Estas medidas no siempre resultan exitosas por no considerar todas las variables que son determinantes para este proceso, lo que culmina en replantaciones con el fin de no incurrir en multas, ya que la Ley 20.283 exige una sobrevivencia de al menos 75% tras 2 años del establecimiento de la plantación. En la zona central de Chile se puede encontrar el tipo forestal esclerófilo, el que para su establecimiento y desarrollo posee como una de las grandes limitantes la disponibilidad de agua. La plantación en núcleo corresponde a una técnica de rehabilitación que se ha usado con más frecuencia en los últimos años, principalmente en ecosistemas tropicales. Esta técnica busca imitar las condiciones naturales de regeneración en que actúan distintos organismos para obtener resultados más favorables a largo plazo. Sin embargo, se desconoce el efecto de la iluminación y las condiciones del agua del suelo sobre el desempeño de una plantación en núcleo. En este marco, el objetivo es evaluar el efecto de la fecha de plantación, sombra y uso de mulch en una plantación en núcleo de cinco especies esclerófilas, sobre la sobrevivencia y crecimiento de plantas. Este ensayo se estableció en 2018 con 54 núcleos. Cada núcleo con 9 individuos, de las especies *Acacia caven*, *Schinus polygamus*, *Quillaja saponaria*, *Maytenus boaria* y *Cryptocarya alba* en distintas proporciones, los cuales se regaron en el establecimiento y durante el periodo estival. Los núcleos se plantaron en enero, abril y junio, y se probó el efecto de la protección al sol (0%, 35% o 70% de sombra), y la aplicación de mulch (con y sin). Tras un año de la última plantación, solo uno de los tratamientos superó el mínimo exigido por la ley en cuanto a sobrevivencia y tuvo la presencia de las cinco especies, que corresponde al plantado en junio con 70% de sombra y mulch, que alcanzó una sobrevivencia de 78%, siendo significativa la fecha y el mulch. Para el DAC e incremento en DAC, resultaron significativos los tres factores, obteniendo mayor éxito en las interacciones Fecha x Sombra y Fecha x Mulch, en particular en los tratamientos plantados en junio, en que se aplicó sombra y mulch. Sobre la altura y su incremento, también son significativos los tres factores, pero no todas las interacciones. Aun así, nuevamente destacan las alturas de las plantaciones de junio, uso de sombra y aplicación de mulch, específicamente de la interacción Fecha x Mulch. Por lo tanto, para mejorar los resultados de sobrevivencia y crecimiento inicial de especies nativas plantadas en núcleo en la Comuna de Colina (Región Metropolitana), se recomienda plantar en época invernal, utilizar sombra artificial con malla raschel de 70% y mulch en base a fibra de coco.

Palabras claves: Rehabilitación, plantación en núcleo, fecha de plantación, sombra, mulch.

ABSTRACT

Chile's forest restoration is presented to a great opportunity to compensate the clearing forests, for the development of companies from different areas. Forest restoration is not always successful, particularly when it is not taken into account all of the variants which are determinants for this process, what culminates in replantings with the purpose of do not incur fines, as Law 20.283 demands a survival of at least 75% after 2 years from the establishment of the plantation. The sclerophyllous forest can be found on the central zone of Chile, and for its establishment and development the availability of water is one of the main limitations. The nucleation is a restoration technique quite used these last years, mainly on tropical ecosystems. This technique looks to imitate natural regeneration conditions, in which different organisms act, so they can get long-term favorable results. Nevertheless, is unknown the effect of lighting and soil water conditions over the performance of a nuclei plantation. The aim of this study is to evaluate the effect of the plantation date, shade, and mulch usage in a nuclei plantation with 5 different sclerophyllous species, measuring survival and growing rates. This experimental trial was set on 2018 with 54 nuclei. Each vegetation nuclei had 9 individuals, of the species *Acacia caven*, *Schinus polygamus*, *Quillaja saponaria*, *Maytenus boaria* and *Cryptocarya alba*, on various proportions, and these were watered at establishment, and during the summer period. The nuclei were planted on January, April and June, the effect of sun protection (0%, 35% or 70% shade), and the application of mulch (with and without) was tested. After a year, only one of the treatments exceeded the minimum required by law in terms of survival and had the presence of the five species, and corresponds to the treatment planted in June, with 70% shade and mulch usage, which reached a survival of 78%, being significant the date and the mulch. For the DAC and increment on DAC, the three factors were significant, obtaining major success with the Date x Shade and Date x Mulch interactions, particularly in the treatments planted in June, in which shade and mulch were applied. About height and increment on height, the three factors were significant, but not all the interactions. Still, again stand out the heights of the June plantations, use of shade and application of mulch, specifically of the interaction Date x Mulch. Therefore, to improve the survival and growth results of native species of nucleations in the Colina Commune (Metropolitan Region), it is recommended to plant in winter, use artificial shade with a 70% raschel mesh and fiber-based mulch coconut.

Keywords: Rehabilitation, nucleation, plantation date, shade, mulch.

1. INTRODUCCIÓN

Gran parte de la diversidad de ecosistemas que existen a nivel mundial ha sido degradada o deteriorada en distinto grado principalmente debido a la acción humana. Algunas de las actividades que destacan en el cambio de uso de suelo, entre ellos la modificación de los bosques son la agricultura, ganadería, sobreexplotación y deforestación para la instalación de carreteras, poblados o minas (Lanly, 2003; Rey-Benayas y Bullok, 2012).

La rehabilitación es una práctica que busca restaurar ecosistemas mediante la reparación de procesos, productividad y servicios, similares a las condiciones preexistentes, para lo que existen distintos mecanismos (Society for Ecological Restoration [SER], 2004). La revegetación se utiliza cuando se ha perdido biomasa vegetal del ecosistema a restaurar, para lo cual existen varias técnicas de restauración activa y pasiva. Entre las técnicas activas se encuentra la siembra directa y la plantación. La plantación puntual en casillas (un individuo por ahoyadura) se ha utilizado masivamente tanto con fines productivos o con fines de restauración, sin embargo, el grado de artificialización resultante puede no estar alineado con las metas y objetivos del plan de restauración (Marzo *et al.*, 2015). Alternativamente, la plantación en núcleo es una técnica que se ha utilizado con mayor frecuencia en los últimos años en la restauración forestal. La nucleación, consiste en el establecimiento de parches de plántulas que pretenden aproximarse a los procesos sucesionales, como las condiciones naturales de regeneración que poseen ciertos bosques, proponiéndose como una alternativa rápida, eficiente y económica para cumplir con el objetivo ya mencionado (Corbin y Holl, 2012).

En este marco, las especies poseen requerimientos particulares, ya sea en siembra o plantación. La fecha o época de plantación es un factor que se relaciona directamente con las condiciones climáticas a las que se van a enfrentar los individuos, principalmente en cuanto a temperaturas, las que según sus extremos y la forma en que varíen afectan las distintas etapas de desarrollo. Condiciones no favorables pueden causar el daño o muerte de los órganos que componen a los individuos, lo que pone en riesgo el enraizamiento, crecimiento y adaptación de la planta en el sitio (Bueno y Oviedo, 2014). La sombra es otra variable que influye en la temperatura del suelo y transpiración de las plantas, que pueden favorecer o perjudicar a los individuos, lo cual también puede variar entre estaciones (Holmgren *et al.*, 1997; Hastwell y Facelli, 2003). Asimismo, la materia orgánica le otorga diferentes propiedades al suelo. El mulch o cobertura orgánica, es una capa formada por distintos elementos orgánicos, que se aplica para modificar la humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes del suelo (Athy *et al.*, 2006).

En Chile, particularmente en ambientes mediterráneos, el método de plantación convencional de especies nativas consiste en la plantación puntual e individual en casillas con protección lateral para evitar el daño por herbivoría (Marzo *et al.*, 2015). En condiciones áridas y semiáridas el riego resulta esencial para lograr el establecimiento de las plantas (Green *et al.*, 2013). Las plantaciones con fines de compensación ambiental se realizan de acuerdo con un plan de manejo y según la Ley N° 20.283 se consideran establecidas cuando el prendimiento supera el 75% en campo. Sin embargo, no todas las especies arbóreas y arbustivas logran

este porcentaje de establecimiento, lo que obliga a replantar anualmente con el propósito de no incurrir en multas. Así, es común constatar que esos replantes se realizan en cualquier fecha del año. Se desconoce si la plantación en núcleos de especies nativas contribuye a aumentar la sobrevivencia en campo. Además, es escasa la información del efecto que tendría el nivel de sombra y la presencia de coberturas de suelo sobre el desempeño de especies arbóreas del bosque esclerófilo en plantación.

En relación con lo anterior, esta memoria evalúa el efecto de la fecha de plantación, sombra y uso de mulch en una plantación en núcleo de cinco especies esclerófilas ubicada en la Región Metropolitana, a través de un análisis estadístico de diseño factorial.

1.1. Rehabilitación ambiental

A nivel mundial, se ha observado históricamente un cambio de uso de suelo para satisfacer las necesidades humanas como la alimentación y el refugio, lo que con el aumento de la población ha incrementado el consumo de energía, agua y fertilizantes, siendo los bosques uno de los ecosistemas afectados. La suma de estas modificaciones ha dado como resultado cambios en el clima, biodiversidad, almacenamiento de carbono, ciclo hidrológico, conectividad ambiental y la dinámica de nutrientes en el suelo (Foley *et al.*, 2005). Esta pérdida de bosques es producto de diferentes causas y factores. Los factores pueden ser directos o indirectos y, entre los primeros se pueden encontrar actividades como la agricultura, ganadería, sobreexplotación e infraestructura. En este último caso, por ejemplo, se realiza para la instalación y desarrollo de actividades mineras (Lanly, 2003).

En Chile, la minería es una de las actividades económicas más importantes. Las instalaciones y procesos que se asocian a este rubro provocan diversos impactos ambientales, siendo la vegetación uno de los componentes del ecosistema afectado (Greene, 1997).

En relación con lo expuesto anteriormente, la rehabilitación es una actividad que pretende modificar la situación actual de un sitio, que ha sido afectado comúnmente por la acción humana, pero que puede tener origen o influencia natural. Para llevarla a cabo se considera un ecosistema de referencia, que puede ser un lugar y/o escrito semejante a las condiciones anteriores al deterioro o daño, y que constituye un modelo a seguir en la reparación de procesos, productividad y servicios. Posteriormente, es utilizado para la evaluación del proyecto de restauración (SER, 2004).

1.1.1. Minería y medio ambiente

La minería en Chile se destaca principalmente por liderar la producción y exportación de cobre a nivel mundial. Esta actividad se desarrolla en gran parte del territorio chileno, pero se concentra en el norte (Servicio Nacional de Geología y Minería [SERNAGEOMIN], 2019). Tal rubro, por motivos de instalación de infraestructura o desarrollo de las faenas

asociadas, impacta distintos componentes del medio ambiente, como el suelo, aire, agua y vegetación. En este último caso, por ejemplo, dependiendo del lugar en que se emplace la mina puede requerir el despeje de la vegetación para facilitar el desplazamiento y procesos de esta misma (Greene *et al.*, 1997). Por este motivo y otros, el artículo 10, numeral i) de la Ley N° 19.300 señala que los Proyectos de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Lo anterior, a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) según corresponda, de lo que se obtiene una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) en la que se indican las medidas de reparación, mitigación y/o compensación que se deben efectuar en un plazo determinado. Cuando hay daño a la componente flora que constituya bosque nativo, la reforestación es una de las medidas de compensación que se aplica, sujeta a un plan de manejo y que de acuerdo con la Ley N° 20.283 (Artículo 14°) se fiscaliza su cumplimiento tras dos años del establecimiento mediante plantación o regeneración natural, en que se debe comprobar la sobrevivencia de al menos 75% de los individuos comprometidos (Servicio de Evaluación Ambiental [SEA], 2017). No obstante, cuando no se consigue la sobrevivencia de la proporción de individuos comprometida previo a la fiscalización, se realiza una replantación de la cantidad requerida para no exponerse a las multas pertinentes.

1.1.2. Reforestación en climas mediterráneos

En climas mediterráneos como el de Chile central, Marzo *et al.* (2015) describe que la preparación del suelo para concretar la plantación se lleva a cabo generalmente de forma manual en casillas. Además, menciona que, es muy importante considerar dentro de las condiciones a pequeña escala, que la distribución espacial sea heterogénea en el establecimiento de las plantas y el uso de protectores individuales con el objeto de disminuir la mortalidad por sequía y ramoneo. Adicionalmente, recomienda aplicar técnicas que permitan retener el agua y regar, de tal manera que las plantas tengan una mayor probabilidad de sobrevivencia.

En este contexto, surgen distintas interacciones entre las plantas y su medio ambiente. En el primer caso, algunas de las relaciones que se pueden producir son la facilitación o competencia, que dependen de varios aspectos, como los requerimientos particulares de las especies, la proximidad entre las plantas y las características del lugar. La facilitación ocurre, por ejemplo, por el beneficio de la modificación del microambiente o la protección frente a herbívoros. Aunque, estos beneficios se pueden contrarrestar por diferentes situaciones, como el nivel de proximidad entre las plantas, tornando competitiva la interacción por la limitación de los recursos (Zamora *et al.*, 2008).

Por otro lado, se presenta la nucleación como una alternativa para la restauración ambiental, de la cual no hay suficiente información, pero en la que existe se describen resultados exitosos (Boanares y Schetini de Azevedo, 2014).

1.1.3. Plantación en núcleo

La plantación en núcleo o nucleación es una técnica de plantación que se ha empezado a utilizar en los últimos años con mayor frecuencia, como estrategia en la restauración forestal, debido a que los mecanismos actuales no satisfacen algunos aspectos como la rapidez y eficiencia (Corbin y Holl, 2012). La nucleación es una técnica alineada con la restauración ecológica, en que se considera el desarrollo natural del ambiente, por lo que involucra a productores, consumidores y descomponedores (Reis *et al.*, 2007). Consiste en plantar núcleos o parches de individuos arbóreos o arbustivos, con el tamaño suficiente para atraer agentes dispersores que incrementen el establecimiento de plántulas. Se caracteriza por representar condiciones similares a la regeneración natural de algunas formaciones vegetales y se cree que podría ser efectiva en diversos tipos de hábitat (Corbin y Holl, 2012).

En Chile, específicamente en el Parque Nacional Torres del Paine, se utilizó el método de nucleación en un plan de restauración ecológica en bosques incendiados con individuos de *Nothofagus pumilio* (lenga). La plantación se realizó con densidades altas, semejante al proceso natural de regeneración de la especie en claros de bosques. En el estudio se evaluaron distintos factores, pero a modo general se obtuvieron altos niveles de supervivencia de las plántulas (Vidal *et al.*, 2014).

Según Boaneres y Schetini de Azevedo (2014), Brasil es uno de los países en que se ha registrado una mayor cantidad de estudios con respecto a la plantación en núcleo. Los autores identificaron siete técnicas de nucleación en programas de restauración, estas son: perchas naturales, perchas artificiales, transposición del suelo, transposición de ramas, plantación en islas, grupos Anderson y regeneración natural, siendo la primera la más utilizada. Y, las alternativas más exitosas han sido las perchas naturales y artificiales, la transposición del suelo y la regeneración natural.

Las perchas, consisten en la instalación en áreas degradadas de pequeños árboles y arbustos, o bien, de estructuras artificiales que se asemejen a lo anterior, para que las aves principalmente tengan donde aterrizar, lo que aumentaría los propágulos del sitio. En la transposición de suelo, se retira la hojarasca y algunos centímetros de suelo para que sea recolonizado por microorganismos, semillas y propágulos de especies pioneras. En cuanto a la plantación en islas, se establecen plantas con diferentes formas de vida que tengan una floración y fructificación rápida para atraer depredadores, polinizadores, dispersores y descomponedores (Reis *et al.*, 2003). Los grupos de Anderson consisten en la plantación de grupos densos con grandes espacios entre sí, ya que uno de sus objetivos principales es obtener fustes limpios. Esta técnica puede ser muy variable en su procedimiento (Anderson, 1953). Por último, la regeneración natural, es una técnica en la que principalmente se suprime el desarrollo de actividades humanas como la agricultura, pastoreo y ganadería (Corbin y Holl, 2012). Sobre la transposición de ramas no se encontró información, pero se infiere que es similar a la técnica de la transposición de suelo.

1.2. Fecha de plantación

En el establecimiento de vegetación la fecha de plantación es fundamental, afecta el aprovechamiento adecuado del agua y el gasto económico de algunas actividades (Benedetti y Hormazábal, 2011). Dependiendo del clima y las características propias de las especies, hay épocas más favorables.

En especies de la zona central de Chile, como el quillay, se recomienda que la plantación se efectúe posterior a las primeras lluvias, entre mayo y julio, o sea, en otoño-invierno a fin de garantizar el suministro de este recurso a los individuos durante el establecimiento (Benedetti *et al.*, 2000). En las zonas semiáridas, la plantación es conveniente de realizar con las primeras precipitaciones para asegurar el arraigamiento de las plantas y disminuir el costo de la remoción del suelo (Benedetti y Hormazábal, 2011).

En otras especies de clima mediterráneo, se ha observado una influencia significativa en el crecimiento en altura y en la supervivencia según la fecha de plantación (Royo *et al.*, 2000; Navarro y Palacios, 2004). Además, según Bueno y Oviedo (2014), las temperaturas son una variable directamente relacionada con la fecha de plantación, por lo que se debe tomar precaución con respecto a la selección de la época en que se va a establecer una plantación, para que los órganos de las plántulas no se vean afectados y, en consecuencia, el enraizamiento, crecimiento y adaptación de la planta en el terreno.

Por otra parte, dependiendo del sistema de producción de los individuos en viveros, ya sea a raíz desnuda, cepellón o contenedor, varía en forma ascendente la amplitud de tiempo en que es factible plantar (Alvarado *et al.*, 2014).

1.3. Sombra

En diferentes estudios se ha documentado que el sombreado modifica las condiciones microclimáticas. La sombra, al reducir la luminosidad, incrementa la disponibilidad de agua del suelo y, reduce la temperatura y transpiración de las plantas, atenuando el estrés hídrico de las mismas (Holmgren *et al.*, 1997; Hastwell y Facelli, 2003).

La sombra puede obtenerse natural o artificialmente. Existen especies nodrizas que brindan las condiciones microclimáticas suficientes para el establecimiento de especies con menor tolerancia al estrés (Holmgren *et al.*, 2000). Y, para el mismo fin se han utilizado elementos como la malla raschel o telas de plástico perforadas (Benedetti y Perret, 1995).

Por otra parte, Jacobson y Jackson (2004) señalan que, en las primeras etapas de desarrollo, al disminuir la exposición al sol mediante la aplicación de sombra artificial con shelters, hay menos variación en el viento, al igual que en las tensiones mecánicas, lo que potencia el crecimiento en altura de las plántulas, pero el crecimiento en diámetro es menor. También, protegen a las plántulas del daño que podrían causarles los animales, como la herbivoría. Cabe

destacar que, las especies poseen un rango de tolerancia a la sombra amplio. Tal cualidad es determinante en la germinación, crecimiento, competencia y establecimiento de las especies en un hábitat (Donoso, 1989).

1.4. Cobertura orgánica (Mulch)

El mulch o acolchado corresponde a una capa de materia orgánica, como paja, compost o corteza de pino. Este mantillo se ha utilizado en plantaciones de áreas secas y semiáridas de la región Mediterránea, donde ha demostrado una influencia significativa en cuanto a supervivencia y concentración de nutrientes foliares, por lo que se recomienda su uso para un establecimiento y crecimiento favorable (Jiménez *et al.*, 2014). También se ha utilizado en ambientes empobrecidos (rellenos sanitarios), en que se ha verificado que modifica algunas propiedades del suelo como la capacidad de intercambio catiónico (Athy *et al.*, 2006).

Otras de las propiedades edáficas que varían con el uso del mantillo son el aumento de la materia orgánica, cantidades de P y Mg y, la reducción de la tasa de evaporación del suelo, mejorando las condiciones de humedad y temperatura. También, se han observado mejoras en la eficiencia del uso del agua. Además, proporciona nutrientes que pueden ser aprovechados tras su descomposición. Igualmente, ha sido utilizado para disminuir la competencia herbácea con especies invasoras y la erosión del suelo (Sharma *et al.*, 1998; Athy *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2010).

En ecosistemas degradados o con condiciones climáticas más extremas, como los ambientes mediterráneos, la presencia de materia orgánica es escasa y se reconoce la competencia vegetativa, por lo que en actividades de restauración o reforestación se deben utilizar técnicas de plantación que aseguren un establecimiento exitoso, entre ellas la aplicación de mulch, que se ha incorporado para evitar la pérdida de humedad y controlar las malezas (Fernández *et al.*, 2010; Navarro *et al.*, 2017).

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la fecha de plantación, sombra y uso de mulch en una plantación en núcleo de cinco especies esclerófilas, Región Metropolitana.

1.5.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la fecha de plantación en una plantación en núcleo.

Evaluar el efecto de la sombra en una plantación en núcleo.

Evaluar el efecto del uso de mulch en una plantación en núcleo.

Analizar la interacción entre la fecha de plantación, sombra y uso de mulch en una plantación en núcleo.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Material

2.1.1. Área de estudio

El ensayo se llevó a cabo en el sector Peldehue de la Operación Los Bronces perteneciente a Anglo American Sur S.A., ubicado en la Comuna de Colina, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. Se encuentra a una altitud de 684 m.s.n.m. aproximadamente, en las coordenadas geográficas 19H 340116, 6334400.

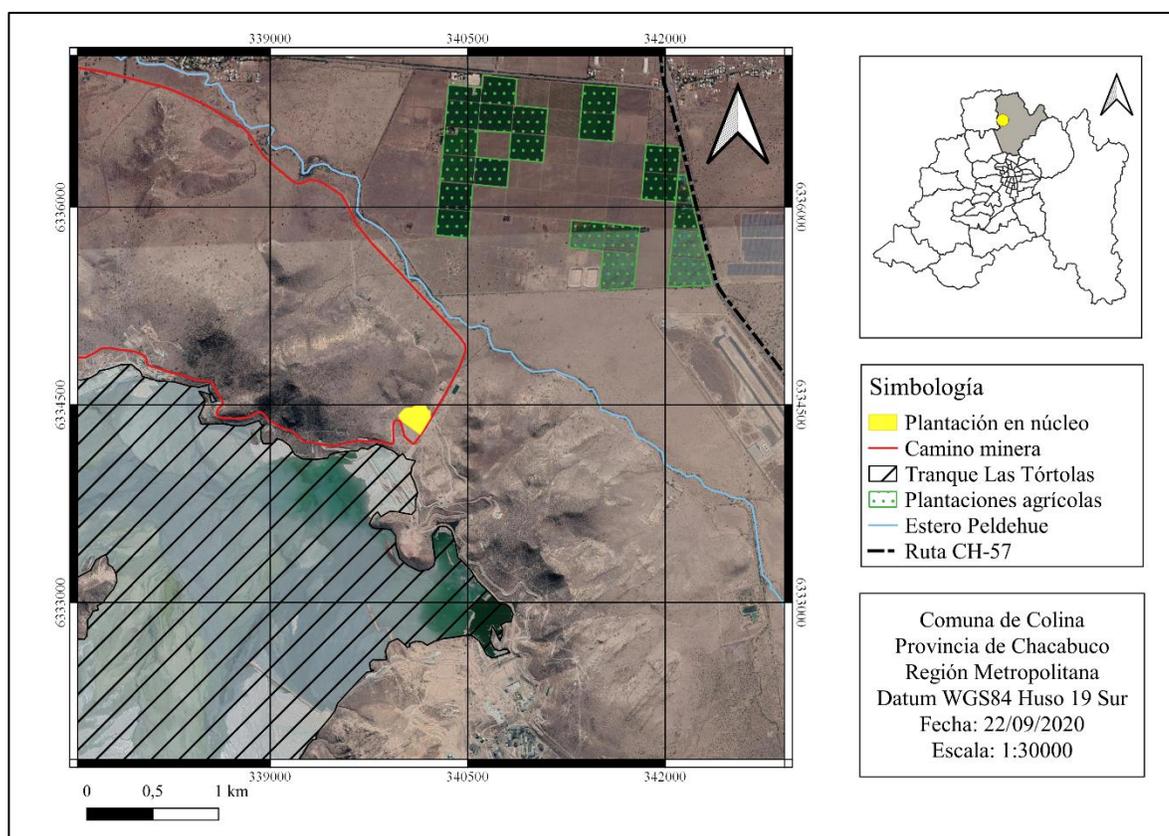


Figura 1. Ubicación de la plantación en núcleo, Sector Peldehue, Operación Los Bronces de Anglo American.

Los núcleos se establecieron al noreste del Tranque Las Tórtolas, junto a uno de los caminos de la minera Los Bronces.

2.1.1.1. Clima y Meteorología

La Mina Los Bronces ubicada en la zona montañosa del este de la Región Metropolitana, presenta en la zona de Las Tórtolas un clima Templado Mesotermal Superior Estenotérmico Mediterráneo Semiárido (Arcadis Geotécnica, 2006).

De acuerdo con la estación meteorológica Los Bronces, en el área mencionada se registra una temperatura del aire media anual de 15°C, con una media mensual mínima de 8,1°C en julio y una media mensual máxima de 21,6°C en enero. En Las Tórtolas se presenta un régimen hídrico mediterráneo, con siete meses secos. Según la misma estación meteorológica, las precipitaciones se concentran en 85% entre mayo y septiembre, con una precipitación media máxima mensual de 60 mm en junio y una media mínima mensual de 0,2 mm en diciembre. En este tipo de clima se presenta una precipitación media anual de 383 mm. Además, en el área los vientos predominan en gran parte del año desde la dirección Este (Arcadis Geotécnica, 2006).

2.1.1.2. Suelo

En las distintas áreas que componen la Mina Los Bronces, se presentan suelos en Clase de Capacidad de Uso VII. Se caracterizan por las pendientes pronunciadas, pedregosidad y rocosidad excesiva, elevada erodabilidad, entre otras condiciones, que solo permiten el desarrollo de pastoreo y/o actividades forestales. También se evidencian Suelos Misceláneos de Vega, Suelos de la Serie Rungue y Suelos de Clase de Capacidad de Uso II. Este último se localiza en el muro principal del tranque de relave, por lo que no puede ser aprovechado en actividades agrícolas (Arcadis Geotécnica, 2006). En zonas de mayor inclinación como cerros de clase VI y VII, es posible encontrar pedones de la asociación Mansel.

2.1.1.3. Flora y vegetación

En el sector aledaño a Las Tórtolas, se puede encontrar espinal, matorral esclerófilo, matorral esclerófilo con suculentas, pradera anual y plantaciones forestales, siendo identificadas 124 especies. Un 67% de la flora es nativa y lo restante corresponde a especies exóticas. Entre estas especies hay dos en categoría de conservación, *Prosopis chilensis* (algarrobo) y *Porlieria chilensis* (guayacán). En los otros sectores de la minera la vegetación presente es similar (Arcadis Geotécnica, 2006).

2.1.2. Base de datos

La base de datos es proporcionada por el proyecto “Gestión de Recursos Fitogenéticos” del Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales (CESAF) de la Universidad de Chile, financiado por Anglo American Operación Los Bronces, la cual incluye la información del ensayo colectada durante el año 2018 y 2019. Las variables que se registran sobre los núcleos, compuestos por *Acacia caven* (espino), *Quillaja saponaria* (quillay), *Maytenus boaria* (maitén), *Schinus polygamus* (huingán) y *Cryptocarya alba* (peumo) son la sobrevivencia, el

diámetro a la altura del cuello (DAC) y la altura (H) al término del ensayo, y el incremento de estas variables con respecto a los datos pre plantación.

2.2. Método

2.2.1. Descripción del ensayo

El proyecto comenzó el año 2018, estableciendo en total 54 núcleos en el sector Peldehue de la Operación Los Bronces. Cada núcleo se integra por nueve plantas de cinco especies distribuidas aleatoriamente. Las especies corresponden a tres individuos de espino, dos individuos de quillay, dos individuos de maitén, un individuo de huingán y un individuo de peumo. Además, para evitar el efecto de borde se agregaron 16 plantas de huingán alrededor de cada núcleo. Los ejemplares utilizados al momento de la plantación tenían dos temporadas de crecimiento y fueron cultivados en el Vivero Antumapu, Comuna de La Pintana, Región Metropolitana. Las semillas fueron colectadas en poblaciones cercanas al área de plantación.

La plantación fue manual, se hicieron casillas con 50 cm de profundidad y con 30 cm de espaciado entre sí, esperando obtener respuestas rápidas de las interacciones entre los individuos, ya sea competencia y/o colaboración entre especies. Las plantas del ensayo se situaron en tres filas con tres individuos cada una. Así, en conjunto con las plántulas de borde, se forma un polígono de 1,44 m². También, se realizaron zanjas entre cada línea de plantación con el fin de contener el escurrimiento del agua para ser aprovechada por las plantas. Por otra parte, se implementó un cerco con malla hexagonal de alambre galvanizado como medida de protección contra la depredación, abarcando cada núcleo un área total de 2,25 m². Y, entre núcleos hay una distancia de 2 m aproximadamente (ver Figura 16 y Figura 17 en Apéndices).

En cuanto al suministro hídrico, se aplicaron 2,5 l de agua a cada plántula inmediatamente después del establecimiento. En lo que respecta a la planificación de riego, a partir de octubre del 2018 las plántulas fueron regadas manualmente con 3 l de agua, cada dos semanas aproximadamente hasta marzo del 2019. Luego, se redujo la dosis a 2 l por individuo hasta la llegada de la primera lluvia del año.

En el ensayo de núcleos se evaluó el efecto de tres factores: fecha de plantación, sombra y mulch. Para evaluar la fecha de plantación, se establecieron núcleos en enero, abril y junio de 2018. En el caso de la sombra, se consideraron los niveles 0%, 35% y 70%, de tal manera que en el primer nivel los núcleos tienen exposición directa al sol y en los restantes se utiliza una malla raschel para reducir la luminosidad. En este último caso hay dos variantes, una malla simple que otorga un sombreado de 35% y una malla de 70% de sombra. Por último, se estudia el efecto de la presencia o no de coberturas de suelo (mulch), siendo aplicado o no a los núcleos. El mulch utilizado corresponde a una geomanta biodegradable GeoGreen C2 (GeoSistemas ®), compuesta de fibra de Coco con 400 g/m², entretejida con doble malla de polipropileno, una a cada lado, de abertura 10 x 10 mm, y a lo largo de la

manta lleva tendones de filamentos continuos de polipropileno cada 5 cm. Por lo tanto, del ensayo se obtienen 18 combinaciones de tratamientos representados en tres bloques.

2.2.2. Levantamiento de datos

A partir de junio de 2018, se realizó un monitoreo de la sobrevivencia y crecimiento, en específico del diámetro a la altura del cuello (DAC) y la altura (H) de la plantación en núcleo para obtener resultados preliminares, pero en este estudio solo se expone la información de junio de 2019 y los incrementos de las variables de crecimiento con respecto a las medidas realizadas al momento de la plantación (Δ DAC y Δ H). Sobre la medición del diámetro, se realizó con un pie de metro con precisión de 0,1 mm y para el crecimiento en altura se usó una huincha con precisión de 0,1 cm.

2.2.3. Análisis estadístico

La información colectada durante los años 2018 y 2019 se ordenó en una base de datos y se analizó mediante un modelo factorial de análisis de varianza (ANDEVA). El diseño factorial en bloques es de 3x3x2. El primer factor corresponde a la fecha de plantación, que posee tres niveles, estos corresponden a los meses de plantación de enero, abril y junio. El segundo factor es la sombra, con tres niveles: sin (0% de sombra), intermedio (35% de sombra) y doble (70% de sombra). El sombreado para los últimos dos niveles fue aplicado mediante el uso de una malla raschel. El factor restante es el mulch, con dos niveles, sin y con. Por lo tanto, se obtienen 18 combinaciones de tratamientos. El arreglo factorial permitió analizar los efectos de:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{array} \right.$$

Donde Y es la variable de respuesta, τ es el efecto Fecha de plantación, β es el efecto sombra y γ es el efecto mulch.

El nivel de confianza será de $\alpha = 0,05$. Cuando resultaron efectos significativos, se realizó una prueba de rango múltiple. Previamente se comprobaron los supuestos del ANDEVA de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas.

Cuando el modelo no cumplió con los supuestos del análisis de varianza (ANDEVA), se realizaron pruebas no paramétricas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Sobrevivencia de la plantación

3.1.1. Núcleos

Tras la medición efectuada en junio de 2019 se encontró que, de los 486 individuos plantados en los núcleos en distintas épocas del 2018, con diferentes niveles de sombra y aplicación de mulch, a la fecha sobrevivieron 95 individuos.

Cuadro 1. Porcentaje de sobrevivencia de los núcleos en función de los distintos tratamientos.

Fecha	Factores y niveles		Sobrevivencia total núcleos (%)
	Sombra	Mulch	
Enero	0%	Sin	0,0
		Con	0,0
	35%	Sin	0,0
		Con	25,9
	70%	Sin	18,5
		Con	33,3
Abril	0%	Sin	0,0
		Con	3,7
	35%	Sin	0,0
		Con	25,9
	70%	Sin	0,0
		Con	3,7
Junio	0%	Sin	3,7
		Con	40,7
	35%	Sin	11,1
		Con	74,1
	70%	Sin	33,3
		Con	77,8

En el Cuadro 1 se observa que, la sobrevivencia más alta es de 78% aproximadamente, cifra que corresponde al tratamiento de junio con sombra de 70% y uso de mulch. Esta combinación es la única que se ajusta a la normativa de la Ley 20.283, que exige que en los planes compensatorios de reforestación la sobrevivencia mínima que se debe alcanzar es de 75%, aunque la fiscalización se realiza al cabo de 2 años. En segundo lugar, está el tratamiento de junio con sombra de 35% y uso de mulch, el cual no difiere estadísticamente del tratamiento anterior, con 74% de sobrevivencia. Además, se obtiene que tras un año de la última fecha de plantación no hay individuos vivos en los tratamientos plantados en enero, con 0% de sombra y con 35% de sombra sin mulch y, en los tratamientos plantados en otoño sin mulch.

La fecha de plantación para la sobrevivencia resultó ser significativa. La mayor sobrevivencia se alcanzó para los núcleos plantados en el mes de junio. Como es posible observar, junio es el único mes que posee sobrevivientes en los núcleos de todos los tratamientos, además, alcanza valores superiores en todas las combinaciones en relación con las otras fechas (Cuadro 1). Sobre las plantaciones de enero y abril se puede ver que ambas presentaron individuos vivos en 16,7% de los tratamientos. Sin embargo, abril tuvo porcentajes inferiores en la mayoría de los casos con respecto a enero, esta variación podría estar dada por el riego que hubo en la época estival y la tardanza de las precipitaciones regulares de otoño en el periodo de plantación. Estos resultados concuerdan con lo obtenido en especies de clima mediterráneo, donde este factor ha tenido diferencias significativas en la supervivencia, alcanzando valores más altos en invierno, que es la época que se considera adecuada para plantar. Y cuando no ha resultado significativa, de todas formas, en invierno se logró una mayor sobrevivencia (Royo *et al.*, 2000; Navarro y Palacios, 2004). Por lo tanto, plantar en junio tendría resultados más exitosos por la disponibilidad hídrica asociada y las temperaturas más bajas, que permiten que la planta se pueda adaptar al sitio para posteriormente enfrentar el periodo estival. En especies esclerófilas, se ha evaluado principalmente el efecto del riego, factor que tiene un nivel de relación con la fecha de plantación, ya que el recurso agua involucra directamente a ambos. Becerra *et al.* (2018) en un experimento de riego con diferentes especies esclerófilas obtuvo que en todos los casos era significativo su uso, variando en la cantidad de agua requerida.

En cuanto a la sombra, se registraron individuos vivos en todos los niveles y estadísticamente no resultó ser un factor significativo en la sobrevivencia de los núcleos. A pesar de ello, se observa que existe una moderada tendencia a conseguir valores más altos en los núcleos que sí utilizaron algún nivel de sombra con la malla raschel. En contraste, en otros estudios ha resultado significativa y favorable, diferenciando sus resultados en su aplicación o no, épocas y especies (Hastwell y Facelli, 2003; Avendaño, 2006; Becerra *et al.*, 2018). En este caso pudo haber influido la cantidad de especies utilizadas, las cuales son variables con respecto a su tolerancia a la sombra, característica que puede ser determinante en el establecimiento y desarrollo de los individuos (Donoso, 1989), o bien, otro tipo de elemento podría tener resultados significativos, como las protecciones que se usan contra la herbivoría compuestas de policarbonato de color verde claro, con las que se han observado resultados favorables al evaluar el efecto de la sombra en especies leñosas de la zona central de Chile (Becerra *et al.*, 2018). Otra opción es plantar bajo sombra natural, es decir, en sitios donde especies de mayor tamaño puedan funcionar como nodrizas.

Por otro lado, el mulch presenta individuos vivos en ambos niveles y es significativo en la sobrevivencia de los núcleos, obteniendo porcentajes más altos al utilizarlo, tal y como se muestra en el Cuadro 1. En el estudio de Sepúlveda (2003), en que usó aserrín de pino como cobertura orgánica para quillay, al cabo de 7 meses obtuvo un 93% de sobrevivencia con mulch, diferenciándose significativamente del tratamiento sin mulch. Algo semejante ocurre con el estudio de Pardos *et al.* (2012), que usó corteza de pino en especies de clima mediterráneo y tras 1 año de la plantación obtuvo diferencias significativas con este elemento solo cuando estuvo combinado con riego. El mulch, además de reducir la evapotranspiración del suelo, puede mejorar la estructura del suelo.

Con respecto a las interacciones, solo la combinación de Fecha x Mulch obtuvo resultados significativos. De todas maneras, hay que considerar que las repeticiones por tratamiento son bajas, lo que podría incidir en que no se presenten efectos significativos en las otras interacciones.

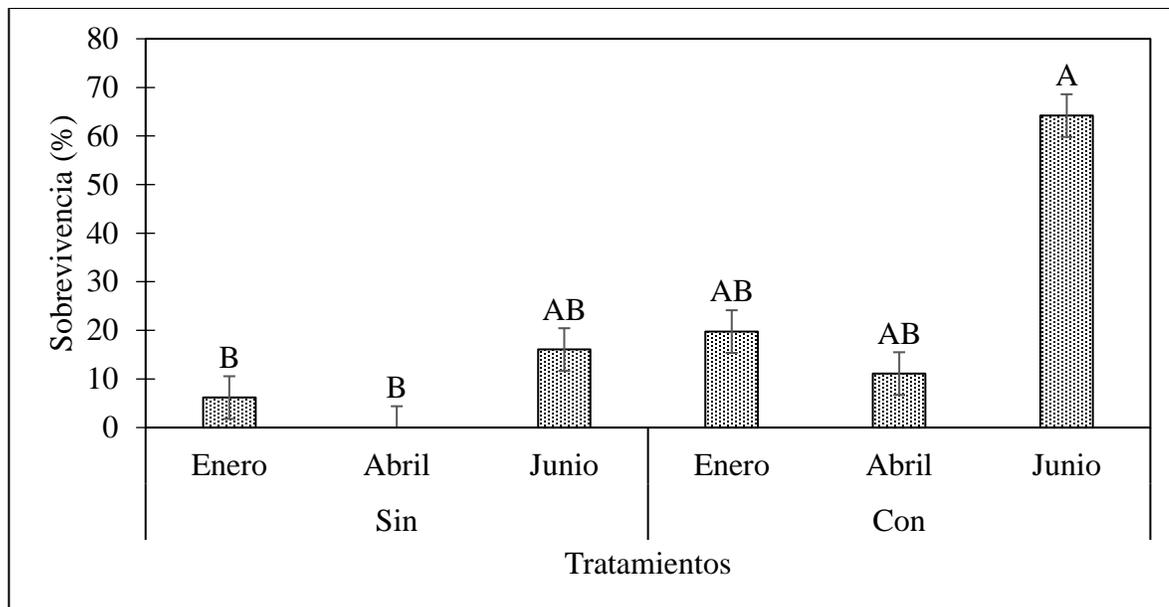


Figura 2. Porcentaje de sobrevivencia de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).

Como se muestra en la Figura 2, el tratamiento de junio con mulch es el que posee la sobrevivencia más alta y se diferencia significativamente de las combinaciones enero y abril sin mulch. En un estudio de España que evaluó el efecto de riego y mulch en especies mediterráneas, solo resultó significativo el riego (Pardos *et al.*, 2012), pero a diferencia de este ensayo, el establecimiento de la plantación se hizo en invierno y recién en la época estival se inició la aplicación de los factores.

En definitiva, los porcentajes de sobrevivencia más altos se concentraron en las plantaciones realizadas en época invernal, con una tendencia superior en las que utilizaron una malla raschel de cualquiera de los niveles de sombra evaluados y con significancia del uso de un mantillo de fibra de coco.

3.1.2. Individuos de borde

En la plantación de los núcleos se estableció un total de 864 individuos de borde que solo correspondían a huigán, de los cuales se registró en junio de 2019 la sobrevivencia de 141 individuos. Tales individuos estaban presentes en 48% de los núcleos, alcanzando un máximo de 16 individuos por núcleo. El tratamiento plantado en invierno, con aplicación de sombra de 70% y uso de mulch es el que posee una mayor cantidad de individuos de borde en los núcleos.

3.2. Supervivencia por especies

En la medición realizada luego de un año de la plantación de los núcleos en época invernal, se observó que sobrevivieron individuos de las cinco especies esclerófilas plantadas en este ensayo.

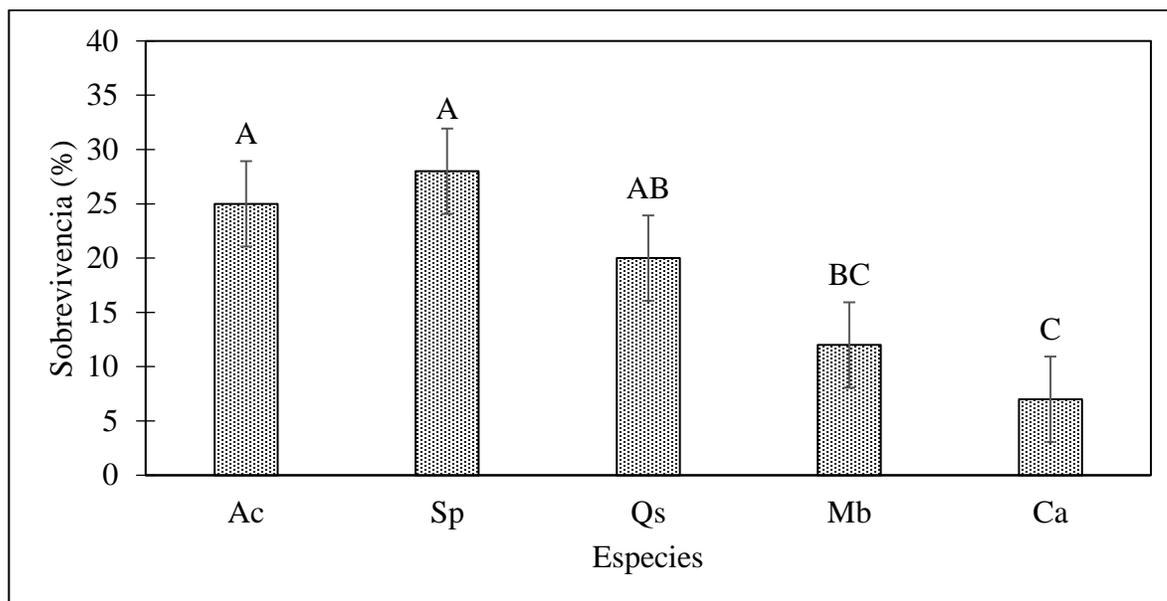


Figura 3. Porcentaje de supervivencia de las especies (media \pm error estándar) en la plantación en núcleo (Ac = *Acacia caven*, Sp = *Schinus polygamus*, Qs = *Quillaja saponaria*, Mb = *Maytenus boaria* y Ca = *Cryptocarya alba*).

La especie dentro del núcleo resultó ser significativa para la supervivencia. De las cinco especies que formaban parte de cada núcleo en diferentes proporciones, *Schinus polygamus* y *Acacia caven* fueron las que alcanzaron una mayor supervivencia en relación con el total plantado de cada una, diferenciándose del porcentaje alcanzado por peumo (Figura 3). Tanto huigán como espino tienen la capacidad de distribirse en un amplio rango de altitud, en zonas de escasa disponibilidad de agua y en suelos pobres. Por su parte, quillay se adapta a climas secos y cálidos, y otros que son frescos y húmedos, similar a maitén que se considera una especie plástica (Gutiérrez *et al.*, 2013). Y peumo, se ubica principalmente en zonas de mayor humedad y sombra (Martín, 1989). Por lo tanto, es razonable el orden descendente obtenido de la supervivencia a nivel de especie.

En cuanto a los otros factores estudiados, por especie, la fecha de plantación resultó tener efecto significativo en todas las especies, excepto para peumo. Al respecto, junio fue el mes de plantación que registró la supervivencia más alta y en la mayoría de los casos se diferenció significativamente de las fechas restantes, siendo abril el mes que obtuvo los porcentajes más bajos. En segundo lugar, la sombra solo resultó significativa para huigán. El uso de una malla raschel de cualquier nivel de sombra (35% y 70% de sombra), no obtuvo diferencias significativas entre sí y alcanzó porcentajes más altos de supervivencia en esta especie. Por último, el efecto del mulch fue significativo para espino, quillay y huigán, siendo en todos

los casos favorable la utilización de este elemento. Sin embargo, aunque no se identificaron diferencias significativas con maitén y peumo, igualmente el tratamiento con mantillo logró cifras superiores de sobrevivencia.

Cuadro 2. Porcentaje de sobrevivencia de las especies con respecto al total de individuos vivos por tratamiento (Ac = *Acacia caven*, Sp = *Schinus polygamus*, Qs = *Quillaja saponaria*, Mb = *Maytenus boaria* y Ca = *Cryptocarya alba*).

Factores y niveles			Sobrevivencia por especie (%)				
Fecha	Sombra	Mulch	Ac	Sp	Qs	Mb	Ca
Enero	0%	Sin	0	0	0	0	0
		Con	0	0	0	0	0
	35%	Sin	0	0	0	0	0
		Con	57	29	14	0	0
	70%	Sin	80	0	20	0	0
		Con	44	11	33	0	11
Abril	0%	Sin	0	0	0	0	0
		Con	0	0	100	0	0
	35%	Sin	0	0	0	0	0
		Con	57	14	0	14	14
	70%	Sin	0	0	0	0	0
		Con	0	100	0	0	0
Junio	0%	Sin	0	0	100	0	0
		Con	73	9	9	9	0
	35%	Sin	0	33	67	0	0
		Con	40	15	25	20	0
	70%	Sin	33	22	22	22	0
		Con	29	14	24	24	10

En el Cuadro 2 se puede apreciar que en cada tratamiento en que se registraron individuos vivos la composición fue de una o más especies, siendo este último caso el más frecuente. Si bien, quillay no es la especie con mayor porcentaje de sobrevivencia en la plantación en núcleo, es la que está presente en la mayoría de las combinaciones, seguida de huingán y espino.

A modo general se puede observar que, los tratamientos que tienen condiciones más favorables en cuanto a la conservación del agua del suelo y evitar el daño por insolación, es decir, en las plantaciones que se realizaron en junio, en las que se usa sombra artificial y en las que ocupan mulch, se identifica un aumento de especies en los núcleos. La combinación de la plantación en junio con 70% de sombra y uso de mulch, que se distingue por ser el tratamiento con mayor sobrevivencia, fue el único en que se encontraron individuos vivos de las cinco especies esclerófilas, compuesto principalmente por espino, maitén y quillay. De forma similar, los dos siguientes tratamientos con alta sobrevivencia, que corresponden a la plantación de junio con 35% de sombra y uso de mulch, y la plantación de junio con 0% de sombra y uso de mulch, cuentan con la presencia de cuatro especies, sobresaliendo espino,

huingán y quillay. Para las combinaciones en que las condiciones pudieron ser más adversas, en su mayoría no hubo sobrevivientes, a excepción de individuos de quillay, espino y huingán.

Cuando las condiciones son más favorables dan cabida a una mayor riqueza de especies, incluyendo a especies pioneras o que regularmente se encuentran en zonas más xerófitas como espino y huingán (Gajardo, 1992; Donoso, 1993), y otras que son más tolerantes a la sombra y se encuentran principalmente en etapas más tardías de la sucesión ecológica, como maitén, quillay y peumo (Donoso, 1993). En el caso de quillay, se ha descrito que es una especie con mayor plasticidad (INFOR, INDAP Y FIA, 2000), lo cual se evidencia en la variedad de tratamientos en los que está presente. En vista de lo observado, se infiere que en la sobrevivencia también influyen los procesos de facilitación que se pueden dar entre especies, que son más notables en condiciones menos adversas, asemejándose a lo que ocurre naturalmente en los bosques y que es uno de los principales objetivos de este tipo de plantación. A su vez, en condiciones de mayor estrés, ya sea por la escasez de precipitaciones o la radiación directa, la relación entre las especies se vuelve más competitiva, encontrando individuos vivos solo de las especies que son menos exigentes en sus requerimientos o más competitivas (Holmgren *et al.*, 1997; Zamora *et al.*, 2008; Corbin y Holl, 2012). De acuerdo con lo anterior, se recomienda que futuras plantaciones en núcleo en este sitio con fines de rehabilitación estén compuestas por individuos de espino, huingán, quillay y maitén, para el tratamiento que alcanzó la mayor sobrevivencia, es decir, la plantación de junio con sombra de 70% y uso de mulch.

3.3. Crecimiento

En adelante se presentan los resultados de crecimiento para las variables diámetro a la altura del cuello (DAC), incremento del diámetro a la altura del cuello (Δ DAC), altura (H) e incremento de la altura (Δ H) en relación con el efecto de los factores fecha de plantación, sombra y uso de mulch.

3.1.1. Diámetro a la altura del cuello (DAC)

Los resultados del ANDEVA para el DAC medio del núcleo indican que la fecha, la sombra y el mulch tienen efectos significativos. En el caso de la fecha, el crecimiento más alto en DAC se obtuvo en junio, el que fue distinto y mayor que el de enero, y a su vez el de enero fue significativamente diferente y mayor que el de abril, variando de 1,75 mm a 0,18 mm, respectivamente. Aunque en distintas publicaciones señalan la importancia de plantar en épocas con mayor disponibilidad hídrica (Benedetti *et al.*, 2000; Benedetti y Hormazábal, 2011), no se encontraron estudios comparativos de plantaciones de especies esclerófilas o semejantes en Chile u otras regiones de clima similar para esta variable en relación con la fecha de plantación, pero sí con riego, en que existe una relación por la disponibilidad hídrica (Benedetti y Hormazábal, 2011). En el estudio de Morales (2017) sobre el efecto del riego

en especies esclerófilas, no obtuvo diferencias significativas por lo que se infiere que la restricción hídrica fue de moderada a leve. En contraste a este caso, en este estudio la restricción hídrica no solo se da por la cantidad y periodicidad de los riegos, sino también por la época de plantación que está asociada a un promedio de precipitaciones. Además, Benedetti y Barros (2011), señalan que las restricciones hídricas tienen relación con el DAC. Por lo tanto, tiene sentido que el crecimiento haya sido superior en una época con mayor disponibilidad de agua.

Sobre el efecto del sombreamiento resultó que, con el uso de una malla raschel de 35% o 70% de sombra se alcanzan medias igual de positivas y superiores con respecto al tratamiento sin sombra, variando de un máximo de 1,2 mm a un mínimo de 0,31 mm. Los estudios de Holmgren *et al.* (1997) y Hastwell y Facelli (2003), que evaluaron la influencia de este factor en el crecimiento de especies mediterráneas, también obtuvieron un desempeño mayor con el uso de sombra. En tanto, otros estudios que utilizaron especies esclerófilas encontraron diferencias significativas, pero los valores superiores fueron de los grupos sin sombra (Avendaño, 2006; Becerra *et al.*, 2018). Esta variabilidad según lo que plantea Holmgren *et al.* (1997), se puede dar por la relación entre las condiciones hídricas y la luminosidad, que puede expresarse en facilitación o interacciones competitivas entre los individuos, según el costo que tenga los cambios de nivel en la radiación directa, lo que también posee relación con la tolerancia a la sombra asociada a cada especie según la etapa en que se encuentre.

En cuanto al mulch, estadísticamente se evidencia que tiene efectos significativos en el DAC, teniendo un crecimiento superior en el tratamiento que utiliza la geomanta de fibra de coco, con medias entre 1,40 mm y 0,29 mm. Comparativamente, un estudio que evaluó este factor sobre *Quillaja saponaria* obtuvo que el uso de mulch influye en el vigor de las plantas (Sepúlveda, 2003), lo que coincide con lo obtenido en este experimento. Por otra parte, Pardos *et al.* (2012), evaluó especies de clima mediterráneo y no obtuvo diferencias significativas, pero sí evidenció el aumento de contenido de agua del suelo con mulch (corteza de pino) y riego.

Referente a las interacciones, se constata que el efecto de la Fecha x Sombra, Fecha x Mulch y Sombra x Mulch es significativo en el crecimiento en diámetro.

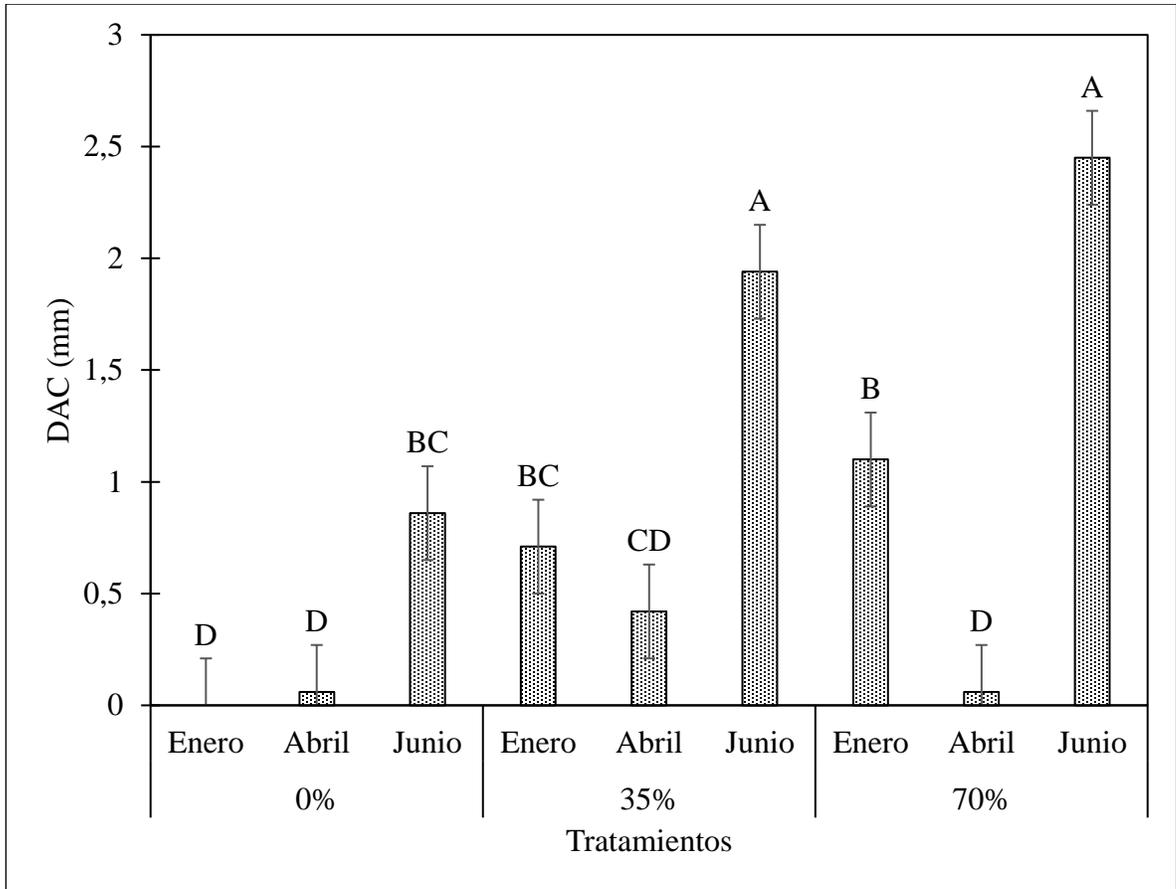


Figura 4. Diámetro a la altura del cuello final (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y la sombra (%).

En la interacción de Fecha x Sombra se visualiza que los diámetros más altos se concentraron en los grupos que utilizaron malla raschel. Y, en cuanto a fechas es el mes de junio el que logra medias superiores y significativamente diferentes al resto, mientras que abril obtiene los valores más bajos. Por lo tanto, la combinación de la reducción en luminosidad a través de la aplicación de sombra artificial con una malla raschel en conjunto con la plantación en una época de mayor disponibilidad hídrica, consiguieron cifras más altas, superando en 40% el valor más alto obtenido de forma independiente.

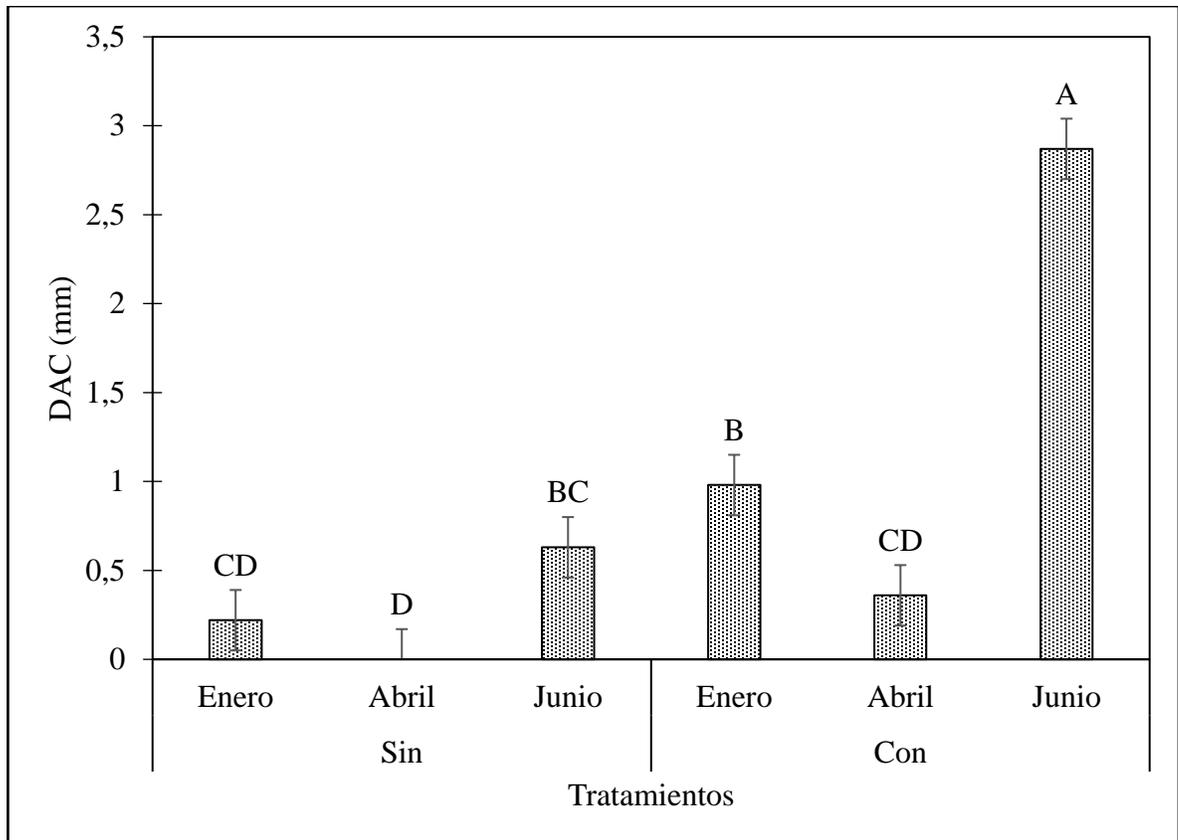


Figura 5. Diámetro a la altura del cuello final (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).

Se puede apreciar en la Figura 5 que en primera instancia las diferencias se centraron en la aplicación de mulch, siendo los tratamientos que utilizaron el mantillo los que obtuvieron en general cifras superiores, similar a lo visto en este factor de forma independiente. Por su parte, las plantaciones realizadas en invierno de este mismo grupo fueron las que alcanzaron un DAC máximo de 2,87 mm, superando al de la interacción de Fecha x Sombra. Por el contrario, Pardos *et al.* (2012), quien evaluó el riego y mulch en especies mediterráneas en campo no obtuvo efectos significativos en DAC. Sin embargo, el riego no representa en su totalidad todo lo que implica una época de plantación. A su vez, se infiere que el orden de las medias en forma descendente podría tener alguna relación con la disponibilidad hídrica a la que están expuestos los individuos.

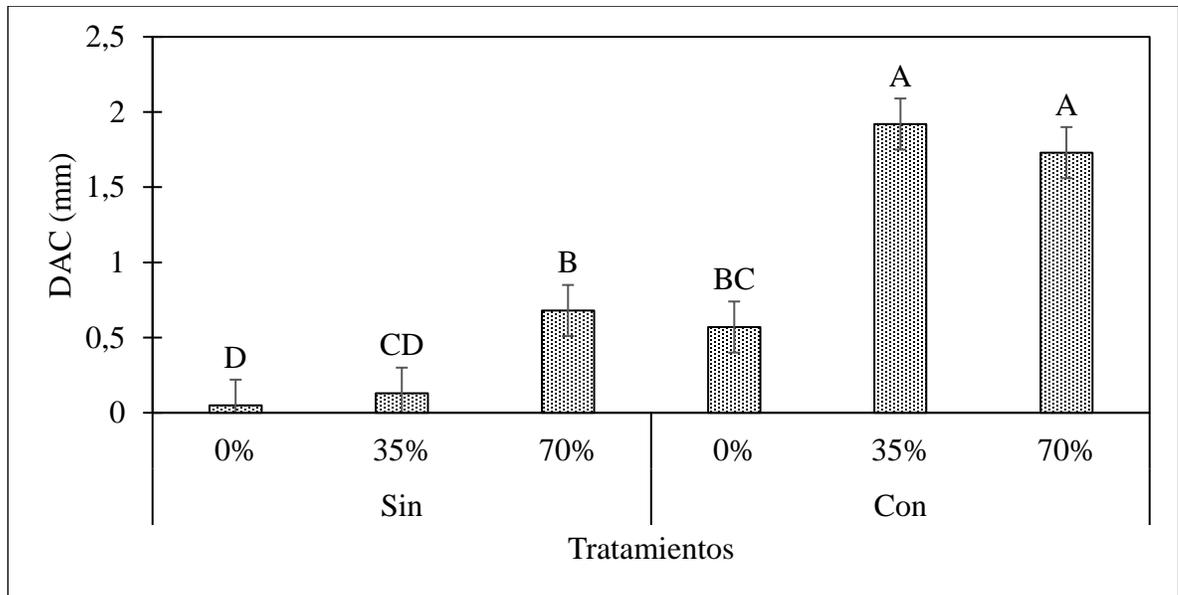


Figura 6. Diámetro a la altura del cuello final (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la sombra (%) y el uso de mulch (con/sin).

En la Figura 6 se evidencia claramente que los grupos que hacen uso del mantillo alcanzan en general medias superiores, específicamente en los que se utilizó sombra artificial. Aunque no se encontraron estudios comparativos, distintos autores recomiendan el uso de sombra, natural o artificial, y la utilización de cobertura orgánica como el mulch en plantaciones de climas áridos, semiáridos y mediterráneos, para conseguir un mayor éxito en la plantación de especies nativas, que pueden tener como fin la restauración forestal (Benedetti y Perret, 1995; Fernández *et al.*, 2010; Pérez y Bown 2015). En comparación a lo obtenido de forma independiente para cada factor, se superan las medias máximas, pero es la interacción que obtuvo cifras más bajas.

Por último, para el diámetro a la altura del cuello se obtuvo que la variedad de especies en el núcleo fue significativa, sobresaliendo los resultados de huingán, seguido de las cifras de espino. Lo anterior, tiene sentido por las características del lugar de la plantación que se asemejan a las condiciones en que se encuentran naturalmente estas especies. En tanto, maitén y peumo se diferenciaron del resto, con valores inferiores. En *C. alba*, es comprensible un menor crecimiento en DAC debido a que es más exigente en cuanto a sus requerimientos ecológicos (INFOR, 2012).

3.1.2. Δ Diámetro a la altura del cuello (Δ DAC)

En cuanto al incremento del diámetro, que considera los valores pre plantación y la medición de junio de 2019, se obtuvieron resultados semejantes con respecto al DAC final. Es importante señalar que estadísticamente se consideró la información de todos los individuos plantados, pero gráficamente solo se representa la de los individuos que sobrevivieron.

En lo que concierne a la fecha de plantación, resulta significativa y nuevamente se obtienen valores más altos en junio, alcanzando un incremento promedio de 0,8 mm. Mientras que en abril se registra un decrecimiento de 0,47 mm. Lo anterior, tiene sentido con lo que plantea Benedetti y Barros (2011), sobre los efectos negativos de la restricción hídrica en el DAC, que eventualmente pueden provocar decrecimientos por la pérdida de turgencia celular. Valenzuela (2007) y Morales (2017) estudiaron el efecto del riego en el Δ DAC en plantaciones de especies esclerófilas, obteniendo diferencias significativas, siendo los grupos con mayor disponibilidad de agua los que alcanzaron incrementos superiores, lo que podría compararse parcialmente con lo obtenido en este factor. En tanto, Donoso *et al.* (2011) en vivero obtuvo decrecimientos en grupos de mayor estrés. Y, como fue expuesto anteriormente, en el mes de otoño de este ensayo hubo escasez hídrica respecto a las otras fechas producto de la tardanza en las precipitaciones y, sumado a la planificación de riego que está enfocada en los meses secos, se explicaría el decrecimiento en esta fecha.

Además, el incremento en DAC es afectado por el sombreado de la plantación. El uso de una malla raschel que entregue cualquiera de los dos niveles de sombra estudiados es igual de útil para alcanzar un incremento mayor de los individuos con respecto al tratamiento sin sombra, variando de 0,79 mm a 0,47 mm. Estos resultados se sustentan en lo que plantean autores sobre el efecto en las plantas de la reducción en luminosidad, el cual disminuye la temperatura y transpiración de las plantas, lo que facilita y favorece su desarrollo (Holmgren *et al.*, 1997; Hastwell y Facelli, 2003).

Asimismo, el mulch también es significativo en el incremento del DAC, el cual aumenta con su aplicación, variando de 0,86 mm a 0,22 mm. Tales cifras se asemejan parcialmente a lo obtenido por Sepúlveda (2003), que tras 7 meses de la instalación de su ensayo obtuvo diferencias significativas, con un incremento de 0,74 mm en el tratamiento con mulch y un incremento inferior en el tratamiento sin mulch.

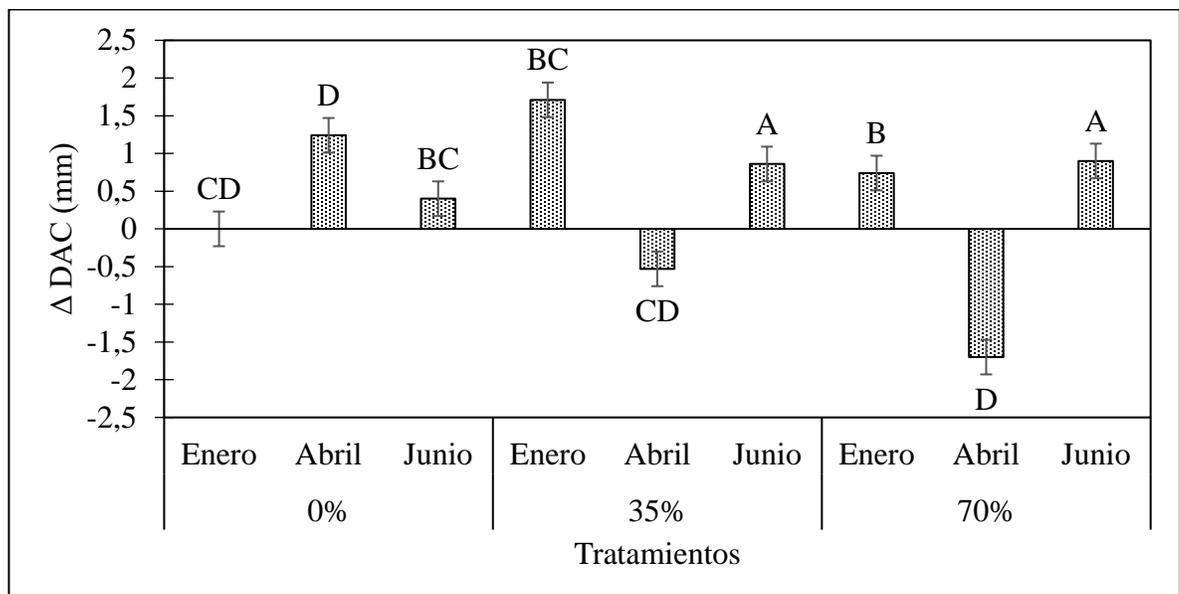


Figura 7. Incremento del diámetro a la altura del cuello (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y la sombra (%).

Por otra parte, la interacción Fecha x Sombra también es significativa, pero en la Figura 7 se muestran efectos relativamente diferentes a los expuestos en forma independiente. Si bien, las medias superiores y significativamente diferentes al resto nuevamente están representadas por las plantaciones de junio cualquiera sea el nivel de sombra proporcionado por la malla raschel, los mínimos corresponden a decrecimientos aún más negativos que lo visto en la fecha de plantación. Además, en la gráfica pareciera que las medias son similares entre varios de los tratamientos, pero se debe tener presente que solo están representados los valores de los individuos que sobrevivieron y, en algunos grupos, la cantidad de individuos es muy baja, lo que podría incidir en esta variación de resultados. En esta ocasión, la combinación de factores no aumentó el incremento en diámetro en relación con lo obtenido en forma independiente, lo que podría tener relación con lo señalado por Holmgren *et al.* (1997), que indica que las mejoras en la disponibilidad hídrica pueden no ser suficientes para contrarrestar los efectos de la pérdida de luminosidad.

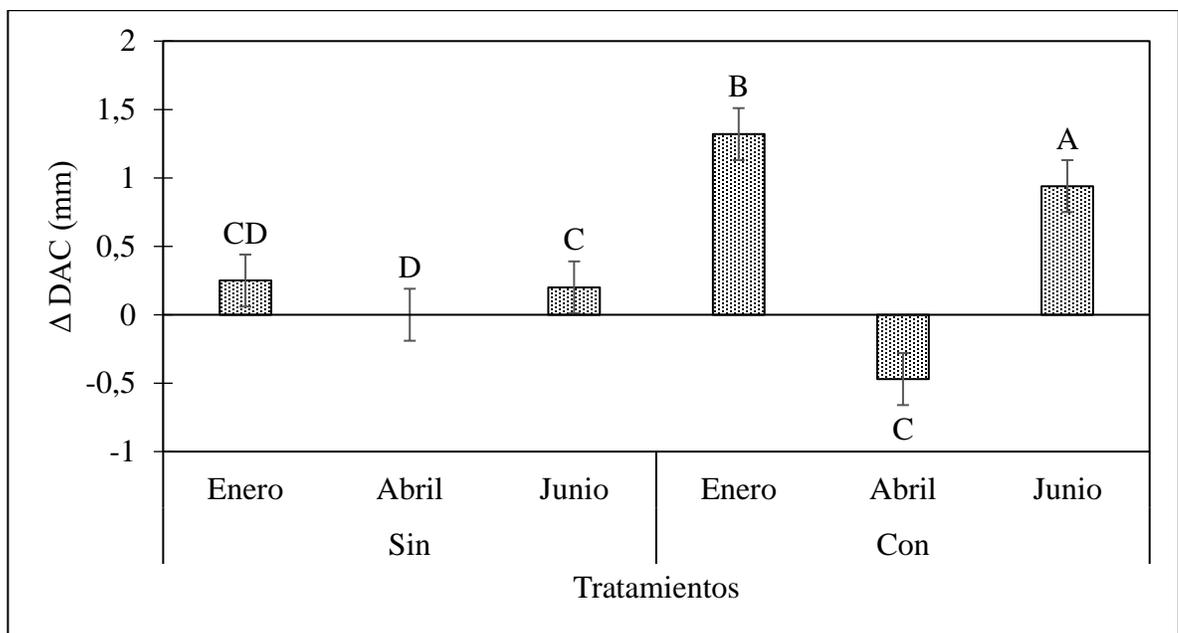


Figura 8. Incremento del diámetro a la altura del cuello (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).

La interacción Fecha x Mulch igualmente resulta significativa en el incremento del diámetro a la altura del cuello, en que se repite la obtención de un desempeño superior en el grupo con mulch, específicamente en las plantaciones de junio y enero. En esta misma línea, hay un decrecimiento en el mes de abril con mulch, valores que se asemejan a los que se alcanzaron en forma independiente. Tal decrecimiento se infiere que se debe a la alta escasez hídrica que hubo específicamente en esa época. En este caso, los beneficios que atañen a cada factor se potenciaron moderadamente en conjunto.

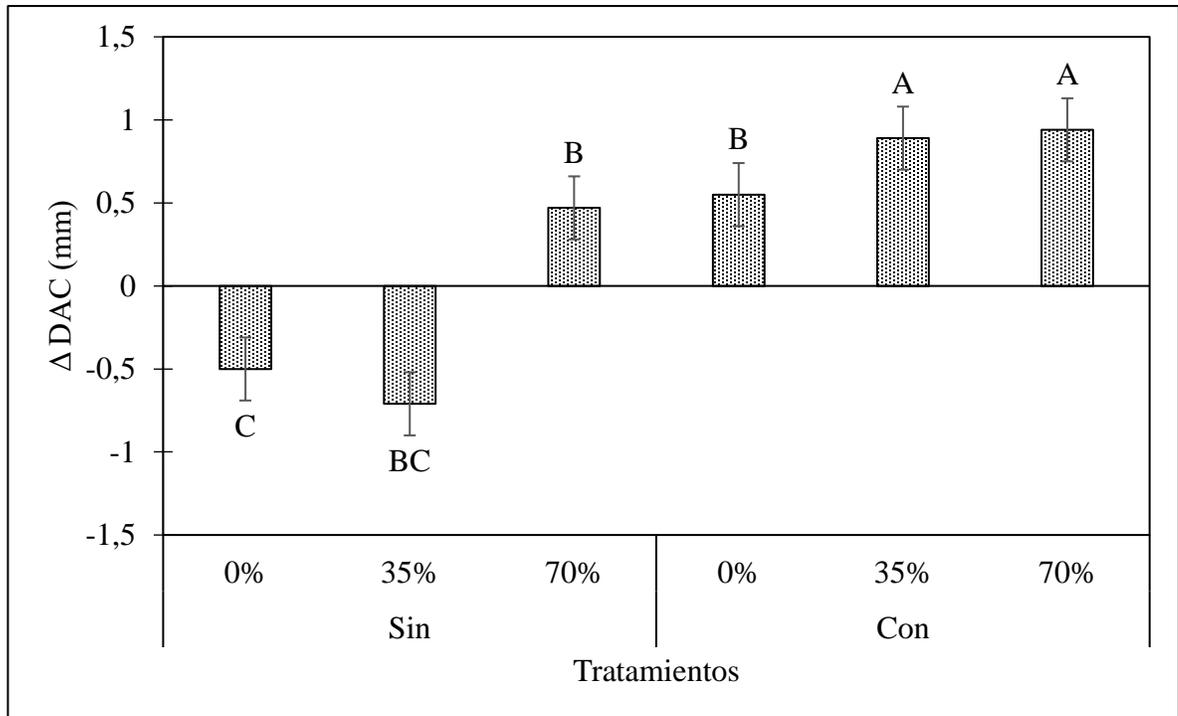


Figura 9. Incremento del diámetro a la altura del cuello (mm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la sombra (%) y el uso de mulch (con/sin).

Por último, la interacción doble de Sombra x Mulch también es significativa en el incremento del DAC. Una vez más es el tratamiento con mulch el que registra cifras más altas, en particular los que poseen malla raschel. Además, se observa que entre la combinación sin mulch con sombra de 70% y con mulch con sombra de 0% no hay diferencia entre medias. Se infiere específicamente para este caso, que el uso de una geomanta puede ser “compensado” con la aplicación de sombra de un 70% y viceversa. Por otro lado, los tratamientos sin mulch y sin sombra o con sombra de 35% experimentaron un decrecimiento de los individuos, lo que podría estar vinculado a déficits hídricos.

También se evidencia el efecto de la plantación de diferentes especies, en que espino, huigán y maitén consiguen un mayor incremento, las cuales se diferencian de quillay, y a su vez, esta última se diferencia de peumo. Esta tendencia es similar a lo anteriormente expuesto, en que las especies que se caracterizan por tener la capacidad de establecerse en condiciones adversas son más vigorosas que las que son tolerantes a la sombra, lo que sugiere la necesidad de recopilar la información suficiente de cada especie para lograr el crecimiento esperado.

3.1.3. Altura (H)

El análisis estadístico del crecimiento en altura en el núcleo indica que la fecha, la sombra y el mulch son factores significativos.

Para el caso de la fecha, otra vez se obtiene un crecimiento superior en la época invernal, con una media de 11,84 cm. Sin embargo, a diferencia de lo visto anteriormente, enero y abril no presentaron diferencias significativas entre sí, con una media mínima de 1,35 cm (considerar que hay influencia en los valores de los individuos que no sobrevivieron). Estos resultados tienen relación con lo que han documentado distintos estudios, es que se registra la sensibilidad del crecimiento en altura cuando los individuos se enfrentan a un déficit hídrico, existiendo una relación inversa entre las variables (Royo *et al.*, 2000; Luna, 2006; Becerra *et al.*, 2018).

En cuanto al sombreado, también se repiten los resultados con cifras más altas usando una malla raschel, independientemente del nivel de sombra que entregue, la que alcanza una altura media máxima de 8,3 cm y, el valor mínimo que se registra en el tratamiento sin sombra es 2,6 cm. Hastwell y Facelli (2003) evaluaron en campo el efecto de la sombra en especies mediterráneas, obteniendo tasas de crecimiento relativo (TCR) significativas en función de este factor, que atribuyeron en parte al mejoramiento de las condiciones ambientales, al reducir la brecha de temperaturas con la aplicación de sombra. A lo anterior se podría sumar la reducción en el viento y en las tensiones mecánicas que puede proporcionar la sombra, que permiten que las plantas puedan destinar sus recursos y energía al crecimiento en altura, más que en diámetro (Jacobson y Jackson, 2004).

En lo que respecta al uso de mulch vemos resultados semejantes a las otras variables, el uso del mantillo de fibra de coco tiene efectos significativos y aumenta el crecimiento en altura de los individuos, siendo al menos cuatro veces superior al tratamiento sin mulch, variando de 9,23 cm a 2,14 cm. Se infiere que, en este sitio, en que las condiciones son áridas y hubo menos precipitaciones que en otros años, el mantillo es un elemento de gran ayuda en la reducción de la evapotranspiración del suelo, lo que permite una mayor disponibilidad hídrica y, en consecuencia, el recurso puede ser utilizado por las plantas para su desarrollo.

Además, se presentan efectos significativos en todas las interacciones dobles de los factores estudiados.

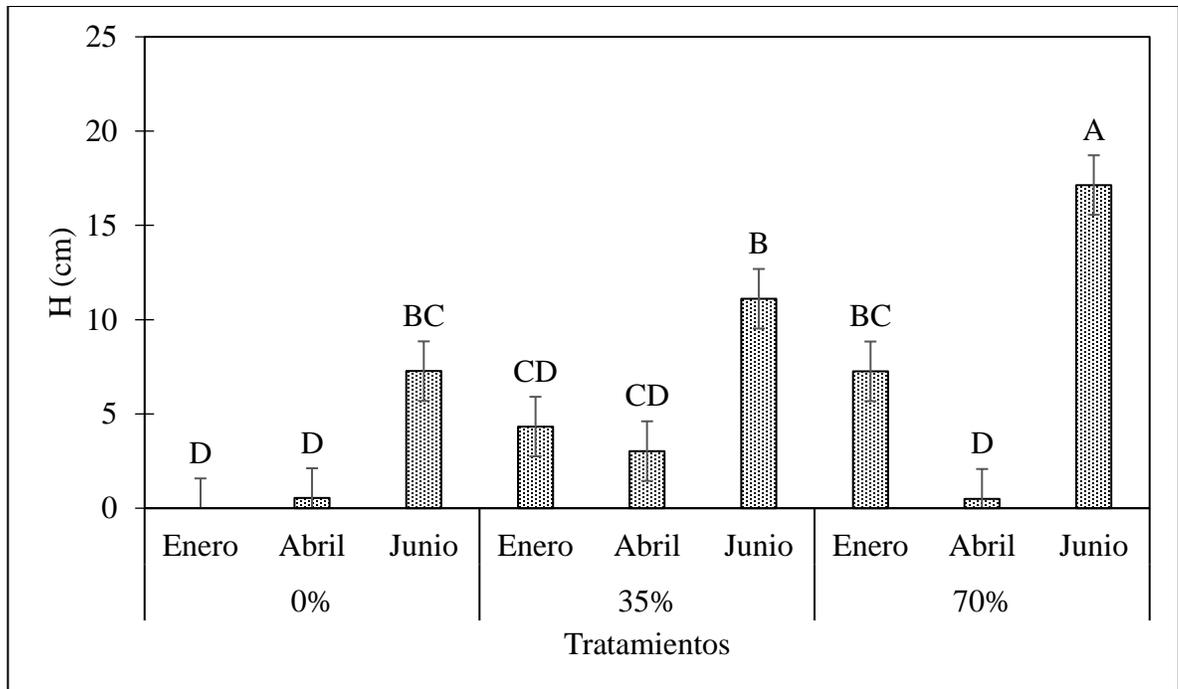


Figura 10. Altura final (cm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y la sombra (%).

Sobre la interacción Fecha x Sombra resulta significativa para esta variable. Una vez más, las cifras más altas se concentran en los tratamientos que utilizaron sombra artificial en la plantación. En esta ocasión junio con 70% de sombra alcanzó el máximo de 17,14 cm, diferenciándose significativamente de los tratamientos restantes. En el estudio de Becerra *et al.* (2018), el crecimiento en altura fue mayor con abundancia de riegos y sin sombra y redujo el crecimiento cuando los riegos fueron más escasos y había sombra. Mientras que, en este caso la tendencia fue obtener una altura superior en épocas de mayor disponibilidad hídrica combinado con sombras, en particular de mayor nivel. Tal contraste pudo darse por las diferencias en tolerancia a la sombra que tienen cada conjunto de especies (Donoso, 1989), demostrando que el costo de la reducción en luminosidad puede no ser importante hasta cierto nivel con las mejoras en la disponibilidad hídrica (Holmgren *et al.*, 1997). En comparación con los valores alcanzados por los factores en forma independiente, la combinación de ambos aumenta el crecimiento en altura, particularmente plantando en junio y usando una malla raschel de 70% de sombra.

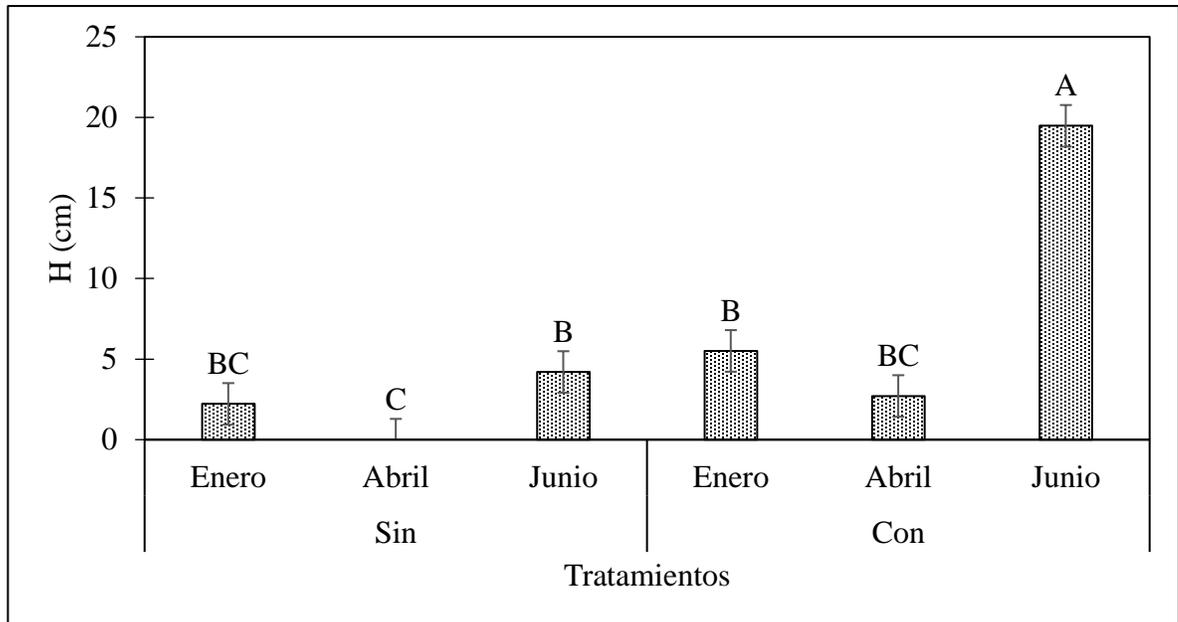


Figura 11. Altura final (cm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).

Asimismo, la interacción Fecha x Mulch resulta significativa para el crecimiento en altura. En la Figura 11 se evidencia que las combinaciones con mulch presentaron en general las medias superiores, siendo notable el éxito de la plantación de junio, mes que se diferencia significativamente del resto. Además, se visualiza que las medias de los tratamientos junio sin mulch y enero con mulch son similares. Tal resultado podría indicar que, para este caso en específico, el uso de un mantillo podría ser “compensado” con plantar en la época adecuada para estas especies y viceversa. En relación con lo observado en los factores de forma independiente, la media máxima aumentó en 65%, por lo tanto, para obtener individuos de mayor altura es recomendable considerar ambos factores en una plantación en este sitio con especies esclerófilas.

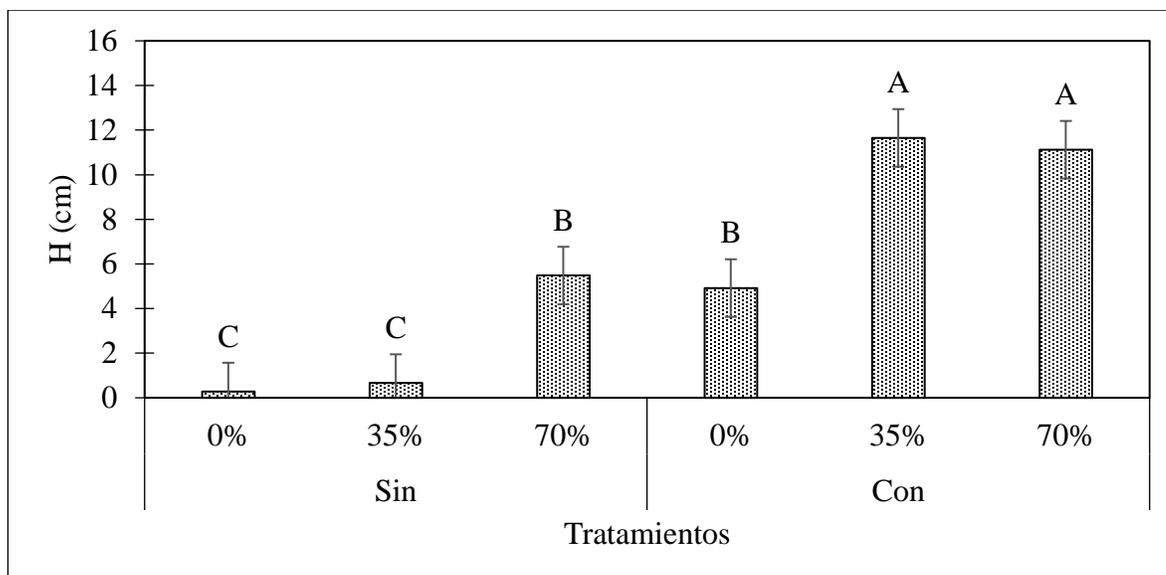


Figura 12. Altura final (cm) de los núcleos (media \pm error estándar) en función de la interacción entre la sombra (%) y el uso de mulch (con/sin).

Por su parte, en la interacción Sombra x Mulch se reitera la importancia de utilizar un mantillo para conseguir alturas más altas. Lo anterior, sumado al uso de una malla raschel, cualquiera sea el nivel de sombra que otorgue, alcanza un máximo de 11,65 cm. Y, nuevamente observamos una relación de tipo “compensatoria”, donde la combinación de 70% de sombra sin mulch y 0% de sombra con mulch no tienen diferencias significativas y poseen medias muy similares, por lo que dependiendo de si se usa o no mulch, se puede elegir entre una plantación sin sombra o con sombra de 70% para obtener una altura final semejante, y viceversa.

En relación con la variedad de especies en la plantación, hubo efectos significativos, alcanzando un crecimiento en altura mayor en huingán, que se diferencia de maitén y peumo, que obtuvieron los valores más bajos. Previamente se citó la importancia del efecto del estrés hídrico sobre la altura, por lo que es de esperar que una especie como huingán, que se caracteriza por habitar este tipo de sitios (Gutiérrez *et al.*, 2013), sea la que alcanza un mayor crecimiento en altura. En contraste, peumo requiere de condiciones más húmedas, por lo que se infiere que la limitación de este recurso en el sector Peldehue, restringió su crecimiento en altura.

3.1.4. Δ Altura (ΔH)

En lo que concierne a esta variable, que utiliza los datos pre plantación y los de la medición de junio de 2019, es la única que no presenta efectos significativos en todas las interacciones dobles. Es importante señalar que estadísticamente se consideró la información de todos los individuos plantados, pero gráficamente solo se representa la de los individuos que sobrevivieron.

En el incremento en altura la fecha de plantación presenta efectos semejantes a la altura final. Junio es el mes que alcanzó un incremento superior con 4,82 cm, el cual se diferencia significativamente de enero y abril, donde el incremento mínimo fue casi cinco veces inferior (0,99 cm), cifra que corresponde al mes de otoño. Tal y como se planteó para la altura final, este crecimiento es sensible al estrés hídrico, al menos en especies de clima mediterráneo, por lo que los resultados son coherentes.

Otro elemento que es significativo para esta variable es la sombra, en que se repite el patrón de cifras más altas con el uso de cualquiera de las mallas estudiadas en este experimento, las que se diferencian significativamente del tratamiento sin sombra. Como ya se mencionó, Hastwell y Facelli (2003) obtuvieron resultados similares evaluando la tasa de crecimiento relativo con respecto al uso de sombra, lo que tiene sentido con lo que señala Holmgren *et al.* (1997), en que según el nivel de reducción de luminosidad se presentan procesos de facilitación o competencia en el establecimiento y crecimiento de las plantas.

Por otro lado, el mulch también posee efectos en esta variable, obteniendo cifras más altas utilizando el mantillo, alcanzando un incremento de 4,11 cm, a diferencia del tratamiento sin mulch que obtuvo una media en el incremento de 2,53 cm. En el estudio de Sepúlveda (2003), el efecto del mulch en quillay fue significativo, el que al cabo de 7 meses alcanzó un incremento de 5,1 cm. Tal diferencia, considerando el tiempo que transcurre en cada medición, podría tener relación con la diferencia de precipitaciones que hay en cada zona, siendo al menos 4 veces inferior la de la Comuna de Colina.

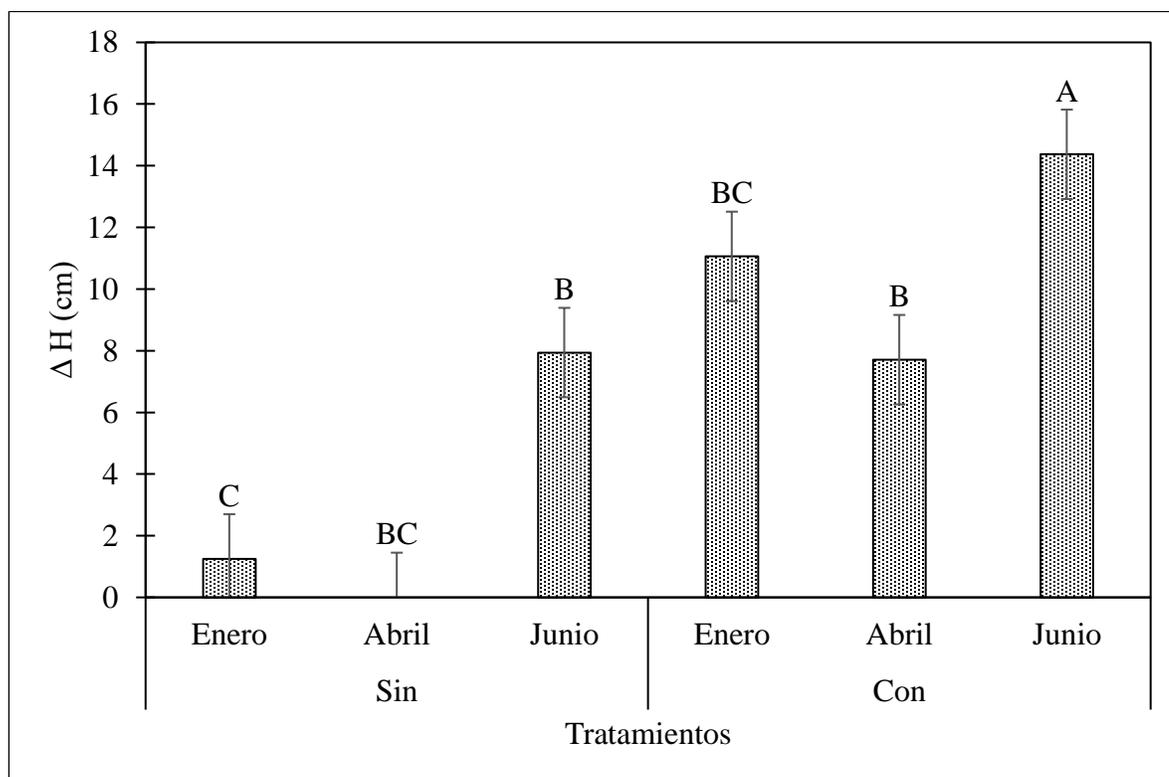


Figura 13. Incremento de la altura (cm) de los núcleos (media ± error estándar) en función de la interacción entre la fecha de plantación (mes) y el uso de mulch (con/sin).

Por último, en la Figura 13 se representa el efecto significativo que ejerce la interacción Fecha x Mulch sobre esta variable. Se aprecia nuevamente que el grupo con mulch concentra las medias superiores, específicamente el mes de junio. En el estudio de Pardos *et al.* (2012), se obtuvieron diferencias significativas con respecto al uso de riego y mulch en el crecimiento en altura en una de las especies de clima mediterráneo, aunque esta respuesta según los valores obtenidos estuvo dada principalmente por el riego, mientras que en este caso la combinación de factores aumentó notablemente el incremento con respecto a las cifras descritas en forma independiente, lo que conlleva a recomendar que en la plantación de especies de clima mediterráneo se consideren ambos factores para favorecer el incremento en altura de las plantas.

Por su parte, la especie también es significativa en el incremento de esta variable, pero hay una leve variación respecto a lo visto anteriormente. En esta ocasión, huingán, peumo y quillay lograron un mayor incremento, en comparación con maitén y espino. Un estudio muestra que quillay y maitén en relación con esta variable, se diferencian en cuanto a sus requerimientos hídricos (riego), siendo la primera especie capaz de soportar una mayor escasez del suministro (Morales, 2017). En este caso, ambas especies también se exponen a condiciones limitantes del recurso agua, de lo que se obtiene un resultado similar al estudio mencionado.

4. CONCLUSIONES

En los proyectos de restauración, como las reforestaciones, es necesario considerar elementos y factores que pueden incidir en el establecimiento y desarrollo de las plantas, lo que evitaría requerir de replantaciones en el futuro.

Los resultados de este estudio sobre la plantación en núcleo ubicada en la Comuna de Colina, Región Metropolitana, muestran que, en cuanto a sobrevivencia, plantar en la época adecuada es fundamental y el uso de mulch también es importante, siendo significativa la interacción de ambos factores. La sombra en el núcleo, por su parte tiende a aumentar el porcentaje de sobrevivencia. El uso combinado de mulch, sombra y plantación en invierno obtuvo una mayor riqueza de especies dentro del núcleo. En relación con el crecimiento inicial, para el DAC y su incremento, los tres factores son significativos. Por último, la altura y su incremento también es influenciada por todos los factores destacando los resultados de las plantaciones de junio, en que se aplicó sombra y mulch. Se observó que, el efecto de cada especie sobre las variables mencionadas fue significativo en todos los casos, destacando el desempeño de *Acacia caven* y *Schinus polygamus*, ambas especies de menores requerimientos hídricos, que dominan la vegetación natural del lugar.

En definitiva, la plantación en núcleo, del punto de vista de la sobrevivencia exigida sobre 75%, en este sitio, fue exitosa para el tratamiento plantado en invierno con aplicación de sombra y mulch. En torno a esto, con el fin de ir más allá que el cumplimiento de las medidas de compensación y avanzar hacia una silvicultura más cercana a lo natural se recomienda que las reforestaciones que se lleven a cabo en este lugar con especies esclerófilas consideren en primer lugar plantar a inicios de invierno para que las plantas cuenten con la disponibilidad hídrica suficiente y disminuir costos de la remoción de suelo. Adicionalmente, en ambientes desprovistos de árboles o arbustos, se sugiere aplicar sombra artificial mediante una malla raschel. Además, en ambientes semiáridos se recomienda el uso de mulch, con el fin de reducir la evapotranspiración del suelo. En relación con la composición de especies en los núcleos, el ensayo aquí analizado es el único que cuenta con la presencia de cinco especies esclerófilas plantadas simultáneamente.

Por último, de los resultados obtenidos se propone realizar futuras plantaciones solo con las especies de mayor éxito, *i.e.* espino, huigán, quillay y maitén, debido a que peumo no tuvo efectos de ningún factor. Así mismo, se sugiere hacer un seguimiento en el largo plazo de esta plantación. Es conveniente acotar que el riego es un elemento fundamental en las plantaciones de este tipo de clima, el cual se debe aplicar inmediatamente después de la plantación y durante la época estival.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO, A., GUAJARDO, F y DEVIA, S. 2014. Manual de plantación de árboles en áreas urbanas. Santiago, CONAF. 89p.
- ANDERSON, M. 1953. Plantación en grupos espaciados. *Unasylva* 7(2), 61-70.
- ARCADIS GEOTÉCNICA. 2006. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Desarrollo Los Bronces. (Tomo 1 de 3). Chile. 723p.
- ATHY, E., KEIFFER, C. y STEVENS, H. 2006. Effects of Mulch on Seedlings and Soil on a Closed Landfill. *Restoration Ecology* 14(2), 233-241.
- AVENDAÑO, K. 2006. Ensayo de viverización de dos especies nativas arbustivas recuperadoras de suelos degradados. Memoria de Ingeniero Forestal. Talca, Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 47p.
- BECERRA, P., SMITH-RAMÍREZ, C. y ARELLANO, E. 2018. Evaluación de técnicas pasivas y activas para la recuperación del bosque esclerófilo de Chile central. Santiago. 92p.
- BENEDETTI, S. y BARROS, S. 2011. Boldo (*Peumus boldus* Mol.) rescate de un patrimonio forestal chileno. Manejo sustentable y valorización de sus productos. Santiago, INFOR. 235p.
- BENEDETTI, S., DELARD, C. y ROACH, F. 2000. Quillay: una alternativa multipropósito para la zona central. Santiago, INFOR. 12p.
- BENEDETTI, S. y HORMAZÁBAL, M. 2011. Guía Silvicultura, Manejo y Procesos para la Obtención de Hojas de Boldo. Santiago, INFOR. 44p.
- BENEDETTI, S. y PERRET, S. 1995. Manual de Forestación: Zonas Áridas y Semiáridas. (Manual N° 21). Santiago, INFOR y CORFO. 135p.
- BOANARES, D. y SCHETINI DE AZEVEDO, C. 2014. The use of nucleation techniques to restore the environment: a bibliometric analysis. *Natureza y Conservação* 12(2), 93-98.
- BUENO, L. y OVIEDO, A. 2014. Plantación del Olivo. San Juan Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 29p.
- CORBIN, J. y HOLL, K. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265, 37-46.
- DONOSO, C. 1989. Antecedentes básicos para la silvicultura del tipo forestal siempreverde. *Bosque* 10(1), 37-53.

- DONOSO, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y dinámica. Santiago, Ed. Universitaria. 484p.
- 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.
- FERNÁNDEZ, I., MORALES, N., OLIVARES, L., SALVATIERRA, J., GÓMEZ, M. y MONTENEGRO, G. 2010. Planificación de la Restauración para las Formaciones Vegetacionales Prioritarias. En: Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. Santiago, Olivares, L. y Fernández, I. pp. 104-113.
- FOLEY, J., DEFRIES, R., ASNER, G., BARFORD, C., BONAN, G., CARPENTER, S., STUART, F., COE, M., DAILY, G., GIBBS, H., HELKOWSKI, J., HOLLOWAY, T., HOWARD, E., KUCHARIK, C., MONFREDA, C., PATZ, J., PRENTICE, C., RAMANKUTTY, N. y SNYDER, P. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science* 309, 570-574.
- GAJARDO, R. 1992. La vegetación natural de Chile, proposición de un sistema de clasificación y representación de la distribución geográfica. Santiago, Ed. Universitaria. 52p.
- GREENE, J. 1997. Procesos mineros e impactos ambientales en Chile. Santiago, Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales. 37p.
- GREEN, D., MOURE, D., GARRIDO, E. y CHOQUE, A. 2013. Ensayos de establecimiento y mantención de especies xerófitas en una plantación al norte de la IV Región de Coquimbo. *Ambiente Forestal* 13, 39-47.
- GUTIÉRREZ, C., CURIMIL, M., GACITÚA, S., PERRET, S. y SANDOVAL, A. 2013. Propagación de especies forestales nativas de las zonas áridas y semiáridas de Chile. Manual n°13. Chile, INFOR. 138p.
- HASTWELL, G. y FACELLI, J. 2003. Differing effects of shade-induced facilitation on growth and survival during the establishment of a chenopod shrub. *Journal of Ecology* 91(6), 941-950.
- HOLMGREN, M., SCHEFFER, M. y HUSTON, M. 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78(7), 1966-1975.
- HOLMGREN, M., SEGURA, A. y FUENTES, E. 2000. Limiting mechanisms in the regeneration of the Chilean matorral: Experiments on seedling establishment in burned and cleared mesic sites. *Plant Ecology* 147, 49-57.
- INFOR, INDAP y FIA. 2000. Monografía de quillay. Quillaja saponaria. Santiago. 73p.
- INFOR. 2012. Monografía de peumo. Cryptocarya alba. Santiago, Benedetti, S. 77p.

JACOBSON, M. y JACKSON, D. 2004. Tree Shelters: A Multipurpose Forest Management Tool. Pensilvania, Penn State College of Agricultural Sciences. 7p.

JIMÉNEZ, M., RIPOLL, M., SÁNCHEZ-MIRANDA, A., GALLEGO, E. y NAVARRO, F. 2014. Efecto del mulch de paja y de piedras sobre la supervivencia, desarrollo y el contenido en nutrientes foliares de una plantación de encinas. En: SUÁREZ-REY, E. y ROMERO-GÁMEZ, M. V Jornadas de Fertilización. Actas de horticultura. Granada, España. pp. 218-222.

LANLY, J.P. 2003. Los factores de la deforestación y de la degradación de los bosques [En línea] <<http://www.fao.org/3/xii/ms12a-s.htm>> [Consulta: 26 de agosto 2020].

LUNA, G. 2006. Evaluación de parámetros fisiológicos y de crecimiento en plantas de Quillaja saponaria Mol. bajo condiciones de déficit hídrico. Memoria de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 35p.

MARTIN, F. 1989. Extraíbles químicos de especies nativas en zonas áridas y semiáridas. Documento de Trabajo N°24. Santiago, CONAF. 43p.

MARZO, A., HERREROS, R. y ZREIK, C. 2015. Guía de Buenas Prácticas de Restauración en Hábitat Mediterráneos. Unión Europea, Ecoplantmed, ENPI, CBC-MED. 128p.

MORALES, A. 2017. Evaluación de parámetros hídricos y de crecimiento bajo dos condiciones de riego en una plantación de Quillaja saponaria Mol. y Maytenus boaria Mol. en la comuna de Limache. Memoria de Ingeniera Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 36p.

NAVARRO, J., GOBERNA, M., GONZÁLEZ, G., CASTILLO, V. y VERDÚ, M. 2017. Restauración ecológica en ambientes semiáridos. Recuperar las interacciones biológicas y las funciones ecosistémicas. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 159p.

NAVARRO, R.M. y PALACIOS, G. 2004. Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de Pinus pinea L. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 17, 199-204.

PARDOS, M., CALAMA, R., MAYORAL, C., MADRIGAL, G. y SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M. 2012. Efecto del riego estival y del mulch orgánico en la supervivencia inicial y el crecimiento de una plantación de Pinus pinea y Quercus ilex en una zona quemada. En: MARTÍNEZ, C., LARIO, F. y FERNÁNDEZ, B. Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación. Madrid, SECF-AEET. pp. 41-47.

PÉREZ, J. y BOWN, H. 2015. Guía para la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago. Santiago, Universidad de Chile y CONAF. 115p.

- REIS, A., BECHARA, F., BAZO DE ESPÍNDOLA, M., VIEIRA, N. y LOPES DE SOUZA, L. 2003. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. *Natureza Conservação* 1, 28–36.
- REIS, A., TRES, D.R. y SCARIOT, E.C. 2007. Restauração na Floresta Ombrófila Mista através da sucessão natural. *Pesquisa Florestal Brasileira* 55, 67-73.
- REY-BENAYAS, J. y BULLOK, J. 2012. Restoration of Biodiversity and Ecosystem services on Agricultural Land. *Ecosystems* 15(6), 883-899.
- ROYO, A., GIL, L. y PARDOS, J.A. 2000. Efecto de la fecha de plantación sobre la supervivencia y el crecimiento del pino carrasco. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 10, 57-62.
- SEA. 2017. Guía para la Descripción de Proyectos de Desarrollo Minero de Cobre y Oro-Plata en el SEIA. Chile. 204p.
- SEPÚLVEDA, C. 2003. Efecto del mulch orgánico y enmiendas de carbón vegetal en el establecimiento artificial de quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) en la precordillera de Vilches, Región del Maule. Memoria de Ingeniero Forestal. Talca, Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 43p.
- SER. 2004. Principios de SER International sobre la Restauración Ecológica. (Versión 2). Tucson, Arizona. 15p.
- SERNAGEOMIN. 2019. Anuario de la Minería de Chile 2018. Santiago, Servicio Nacional de Geología y Minería. 269p.
- SHARMA, N., SINGH, P., TYAGI, P. y MOHAN, S. 1998. Effect of leucaena mulch on soil-water use and wheat yield. *Agricultural Water Management* 35(3), 191-200.
- VALENZUELA, L. 2007. Evaluación de un ensayo de riego y fertilización de quillay (*Quillaja saponaria* Mol.), en la Comuna de San Pedro, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Memoria de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 66p.
- VIDAL, O., BAUK, V., AVENDAÑO, N. y KUSANOVIC, M. 2014. Plan ONG AMA Torres del Paine de Restauración Ecológica en Bosques Incendiados de Torres del Paine. Informe Final. Chile. 123p.
- ZAMORA, R., GARCÍA-FAYOS, P., y GÓMEZ-APARICIO, L. 2008. Las interacciones planta-planta y planta animal en el contexto de la sucesión ecológica. En: VALLADARES, F. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid, Ministerio del Medio Ambiente y EGRAF S.A. pp. 371-393.

6. ANEXOS



Figura 14. Combinación de los factores sombra y mulch en la plantación en núcleo, Sector Peldehue, Operación Los Bronces (CESAF, 2018).



Figura 15. Proceso de evaluación y estado de la plantación en núcleo a junio de 2019, Sector Peldehue, Operación Los Bronces (CESAF, 2019).

7. APÉNDICES

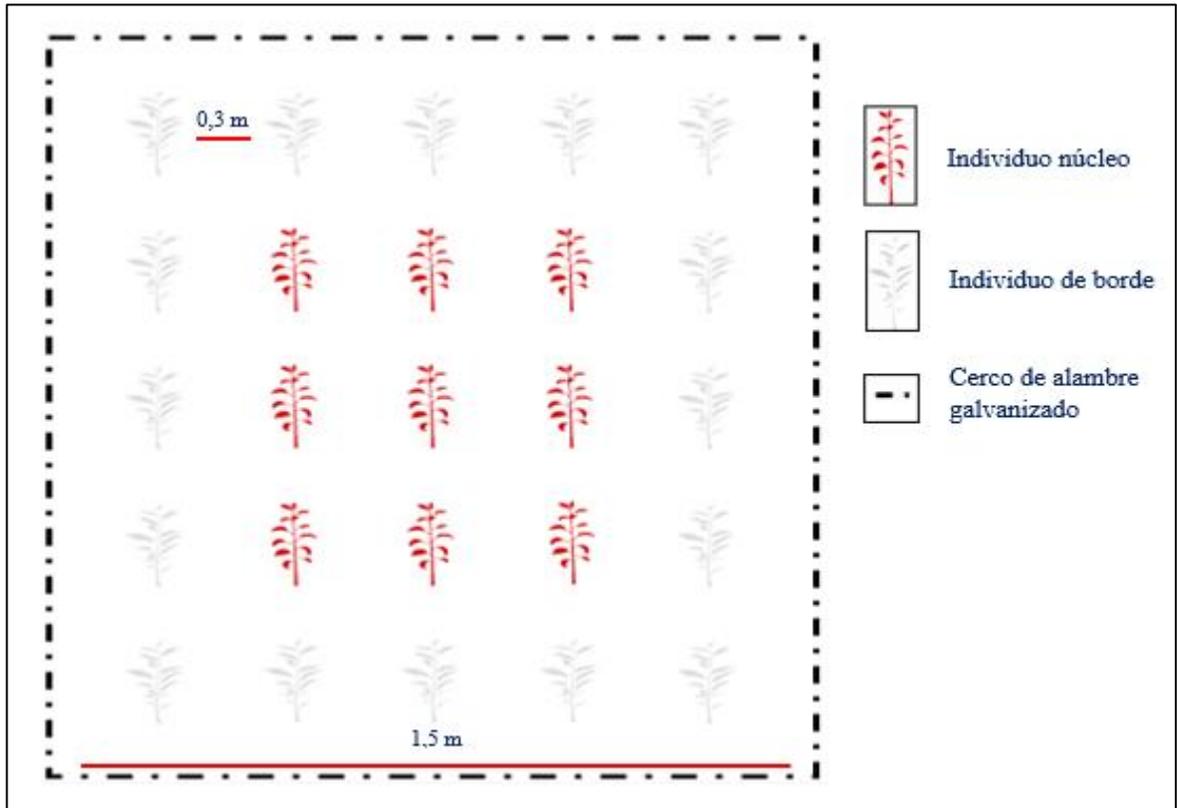


Figura 16. Esquema representativo de un núcleo.

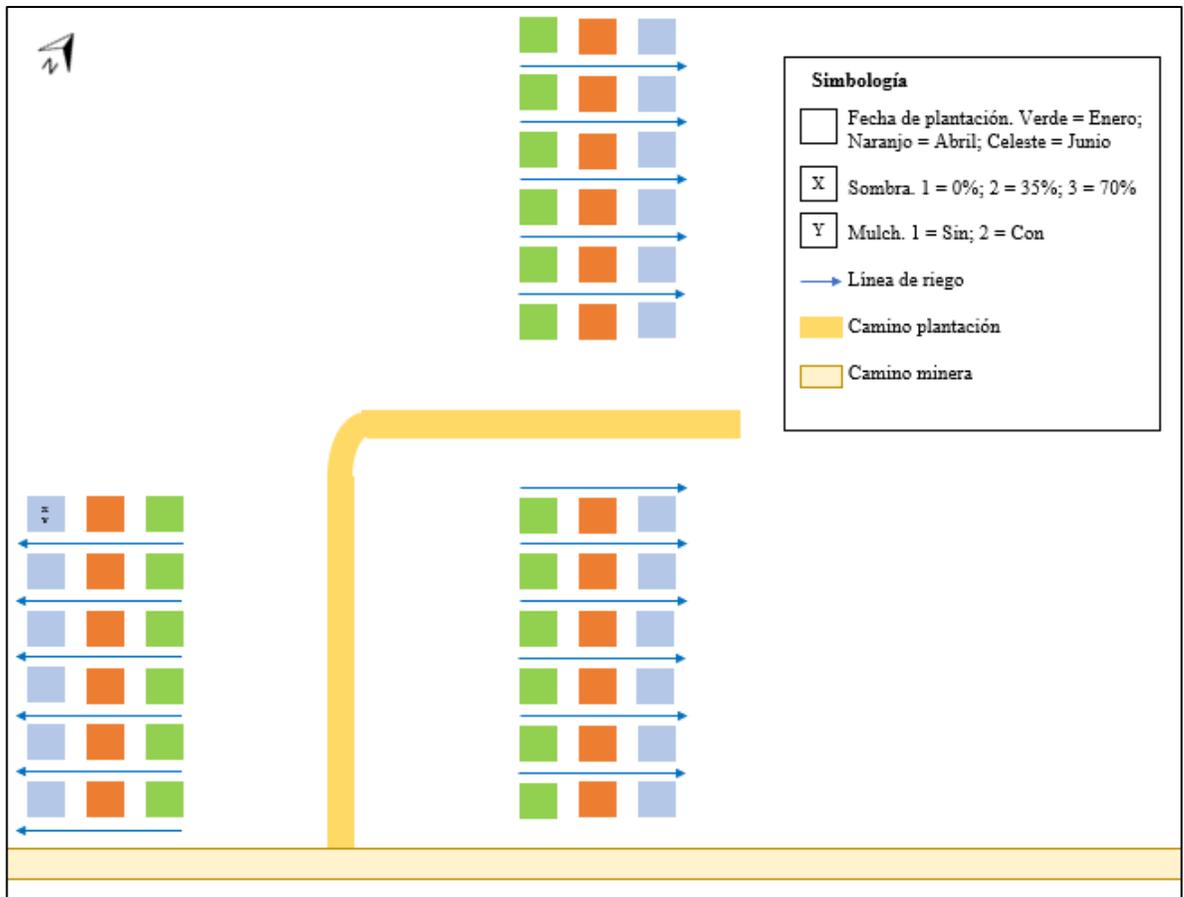


Figura 17. Distribución espacial de los tratamientos y bloques de la plantación en núcleo, Sector Peldehue, Operación Los Bronces de Anglo American.