



INFORME PRIMER MONITOREO

Monitoreo Reforestaciones,
Plantaciones Suplementarias y Vegetación en
Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (predio Pantanillos)



Alvaro Promis, Sofía Acuña, Sofía Olivares y Gustavo Cruz

Santiago, Noviembre 2018

INFORME PRIMER MONITOREO

Monitoreo Reforestaciones, Plantaciones Suplementarias y Vegetación en
Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (predio Pantanillos)

Alvaro Promis

Sofía Acuña

Sofía Olivares

Gustavo Cruz

COLABORADORES

Alejandro Carrasco

Alvaro González

Santiago, Noviembre 2018

INDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MATERIAL Y MÉTODO.....	4
2.1	Área de estudio.....	4
2.1.1	Clima	4
2.1.2	Geología y geomorfología	4
2.1.3	Hidrología	5
2.1.4	Suelo	5
2.1.5	Uso de suelo.....	5
2.1.6	Flora y vegetación	5
2.2	Plantación suplementaria y reforestaciones.....	6
2.2.1	Plantación suplementaria en bosque de hualo (<i>Nothofagus glauca</i>) afectado por el incendio	6
2.2.2	Reforestación para convertir tala rasa de pino (<i>Pinus radiata</i>) en bosque de hualo mixto (<i>Nothofagus glauca</i>).....	7
2.2.3	Reforestación para convertir tala rasa de pino (<i>Pinus radiata</i>) en plantación de quillay (<i>Quillaja saponaria</i>)	7
2.3	Diseño y establecimiento de parcelas de monitoreo permanente	9
2.4	Levantamiento de información	11
2.5	Análisis de datos	11
3.	RESULTADOS.....	12
3.1	Plantación suplementaria y reforestaciones.....	12
3.1.1	Evaluación plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio.....	12
3.1.2	Evaluación reforestación para convertir tala rasa de pino (<i>Pinus radiata</i>) en bosque maulino con composición de especies mixtas	16
3.2	Evaluación regeneración natural por semilla.....	23
3.2.1	Regeneración natural por semilla en zona de plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio	23
3.2.2	Regeneración natural por semilla en zona de reforestación para convertir tala rasa de pino (<i>Pinus radiata</i>) en bosque maulino con composición de especies mixtas	25
3.3	Evaluación regeneración natural vegetativa	27
3.3.1	Regeneración vegetativa en zona de plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio	27
3.3.2	Regeneración vegetativa en zona de reforestación para convertir tala rasa de pino (<i>Pinus radiata</i>) en bosque maulino con composición de especies mixtas	30

4.	CONCLUSIONES	33
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

ANTECEDENTES

Fundación Reforestemos (Fundación) ha iniciado un proyecto de reforestación con especies arbóreas nativas y desarrollo forestal sustentable, con financiamiento del Fondo de Protección Ambiental (FPA) del Ministerio del Medio Ambiente N°7-RE-004-2018, denominado “Reforestación nativa y desarrollo forestal sustentable”. Durante el año 2017, debido a la afectación de los incendios forestales de la temporada enero-febrero de 2017, la Fundación en coordinación con personal de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile comienzan un proyecto de reforestación con especies arbóreas nativas para recuperar bosques afectados por los incendios e influir en la matriz productiva forestal de manera sustentable. El proyecto se ha desarrollado en el Centro Experimental Dr. Justo Pastor León (predio de Pantanillos), perteneciente a la Facultad, que se encuentra ubicado en la Comuna de Constitución, en la región del Maule. Durante la temporada de invierno del año 2017 (julio y agosto) se plantaron 23 ha con especies arbóreas nativas que se pueden encontrar presente en bosques naturales de la zona, entre las que se cuentan hualo (*Nothofagus glauca*), quillay (*Quillaja saponaria*), peumo (*Cryptocarya alba*), litre (*Lithraea caustica*), radial (*Lomatia hirsuta*), maqui (*Aristotelia chilensis*) y arrayán (*Luma apiculata*)

Las reforestaciones se llevaron a cabo con diferentes objetivos: 1) cinco hectáreas de plantaciones suplementarias para recuperar bosque nativo dominado por hualo afectado por el incendio; 2) 10 hectáreas para convertir plantaciones de pino radiata (*Pinus radiata*), especie exótica, a bosque nativo dominado por hualo y 3) ocho hectáreas para diversificar la matriz productiva forestal de la región, la que está dominada por la existencia de plantaciones de pino, con plantaciones de quillay. Estas últimas plantaciones de quillay podrían, además, considerarse una acción adaptativa frente a los posibles efectos del cambio climático y la incertidumbre asociada a la posible disminución de las precipitaciones, lo que incidiría en un incremento de la ocurrencia y afectación de incendios forestales en el futuro.

Por tal motivo la Fundación solicitó llevar a cabo este estudio, que tiene como objetivos el establecer una red de parcelas de monitoreo permanente y evaluar el estado de actividades de reforestación y plantación suplementaria en Predio Pantanillos, después del primer período de crecimiento vegetativo.

De acuerdo a lo anterior, en este informe se exponen los alcances, la metodología llevada a cabo y los resultados de esta primera actividad de monitoreo.

Este trabajo consideró los siguientes alcances:

- Establecimiento de una red de parcelas de monitoreo permanente.
- Conteo de plántones vivos y muertos después del primer período de crecimiento vegetativo y medición de los plántones vivos.
- Evaluación de la invasión por especies arbóreas exóticas el área de reforestación.
- Caracterización de la recuperación natural de bosque maulino afectado por incendio.

RESUMEN

Los incendios forestales de la temporada estival 2016-2017 afectaron cerca de 518.174 ha entre las regiones de Coquimbo y La Araucanía. Específicamente en la región del Maule, los incendios forestales afectaron 215.466 ha de bosques, de las que 86,3% corresponden a plantaciones forestales de especies exóticas (principalmente pino) con fines industriales, 9,6% a bosque nativo y el 4,1% a bosques mixtos. Respecto al bosque nativo, el tipo forestal Roble-Hualo fue el más afectado por los incendios (55,3% de la superficie de bosque nativo). Por tal motivo, la Fundación Reforestemos en coordinación con la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza comenzaron un plan de reforestación con especies arbóreas nativas en la Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (predio Pantanillos) de la Universidad de Chile, durante la temporada de invierno de 2017. El plan tuvo por objetivo emprender actividades de conservación y manejo forestal sustentable. Esta Estación Experimental se encuentra próxima al poblado de Santa Olga, ambos fuertemente afectados por el incendio de Las Máquinas (enero 2017).

El plan de reforestación desarrollado por estas instituciones consideró tres actividades: 1) el establecimiento de una plantación suplementaria (se evalúan tres densidades de plantación, a 300, 500 y 900 plántones/ha) en 5 hectáreas de un bosque dominado por hualo (*Nothofagus glauca*) afectado por el incendio, con el fin de apoyar la regeneración del bosque; 2) el desarrollo de una reforestación en una superficie de 10 hectáreas, que había tenido plantación de pino radiata (*Pinus radiata*), pero que fue cosechada a tala rasa hace unos 14 años atrás, con el fin de convertir el uso de plantación a bosque nativo dominado por hualo (se plantó a tres densidades de 1.300, 1.700 y 2.500 árboles/ha) y 3) la reforestación de una superficie de 8 ha con quillay (*Quillaja saponaria*) (con distanciamientos entre plantas de 2x2, 4x2, 4x4 y 5x6), para convertir antigua tala rasa de pino a plantación con especie nativa, con miras de diversificar matriz forestal regional, considerando la incertidumbre que genera el paradigma de cambio climático global. Tanto en la plantación suplementaria como en la reforestación para convertir bosque nativo, se plantaron seis especies nativas.

Por tal motivo, la Fundación solicitó llevar a cabo este estudio, que tiene como objetivos el establecer una red de parcelas de monitoreo permanente y evaluar el estado de las actividades de reforestación y plantación suplementaria en la Estación Experimental, después del primer período de crecimiento vegetativo (2017-2018).

Durante marzo de 2018 se establecieron y marcaron 21, 42 y 24 parcelas de 100 m² en los tres tipos de actividades de plantación anteriormente descritos, respectivamente. En cada una de las parcelas se marcaron todos los plántones que fueron instalados, se les determinó la especie, se midió el diámetro a la altura del cuello y la longitud, y se estimó la longitud de crecimiento del primer período. Además, en subparcelas se contabilizó y midió la altura de las plantas de regeneración de especies leñosas, que espontáneamente se han instalado, a través de la germinación de semillas o por regeneración vegetativa.

Los resultados muestran que la supervivencia de plántones en bosque de hualo afectado por incendio fue entre 66,7 y 80,0% del total instalados. Las plantas tienen una altura que va entre 12 y 70 cm y el crecimiento fue mayor para las plantas de hualo (hasta 27,8 cm en promedio). En la reforestación de bosque de hualo para convertir plantación de pino, la

supervivencia de plántones varió entre 66,4 y 86,3% de los instalados inicialmente. Las plantas tienen una altura que va entre 14 y 73 cm, y el crecimiento en longitud fue mayor en plantas de hualo (promedio de hasta 16,1 cm). Por último, en la plantación de quillay, la supervivencia de plántones fue de hasta el 100%, las plantas tienen una altura que va entre 40 y 56 cm en promedio, y el crecimiento promedio fue de hasta 27,6 cm en longitud

La regeneración natural en el bosque de hualo afectado por incendio es en promedio de 66.000 plantas/ha regeneradas por semilla de las que el 98,5% corresponden a la especie exótica pino. Hualo tiene alrededor de 1.980 plantas/ha regeneradas provenientes de semilla. Mientras que la densidad de plantas que estarían regenerando vegetativamente serían 10.610 por hectárea, correspondiendo el 63,6% a murta (*Ugni molinae*) y hualo al 9,2% (971 plantas/ha).

En la zona que se estaría reforestando con bosque de hualo para convertir antigua plantación de pino, la densidad de plantas de regeneración proveniente de semilla llega a un promedio de 5.000 plantas/ha, de las que el 42% corresponden a pino y el resto a ocho especies leñosas nativas, de las que la mayoría son de hábito arbustivo. No hay plantas de regeneración de semilla de hualo en este sector. La regeneración vegetativa en esta área alcanza 3.664 plantas/ha, en la que también murta es la de mayor abundancia (37,6%) y hualo representa el 17,7%.

Los registros de reforestaciones con hualo y el desempeño de plantas son escasos. Los resultados hasta la fecha muestran una buena supervivencia de los plántones instalados en actividades de reforestación y de respuesta en crecimiento. Además, la respuesta de regeneración natural, tanto por semilla como vegetativa es favorable para la conservación de estos bosques nativos. Eso sí, hay que considerar el control de la alta tasa de regeneración de pino, lo que puede provocar posteriores problemas por competencia con las plantas nativas. La sucesión vegetal en la zona de tala rasa de pino, que estaría dominada por especies de hábito arbustivo, muestra un patrón esperado según la literatura. El establecimiento y buena respuesta de crecimiento de plántones de especies arbóreas podría ser favorable, para acelerar proceso de establecimiento del bosque.

Quillay es una especie arbórea que debería ser promovida en la zona para diversificar la matriz forestal, considerando su capacidad de adaptación al ambiente, lo que podría promover actividades de manejo sustentable, por su alta tasa de supervivencia y crecimiento.

Finalmente, las actividades de marcaje de parcelas y plántones y su posterior monitoreo en el tiempo se evidencian como actividades necesarias para evaluar la tendencia del establecimiento, crecimiento y sucesión de las plantas en estos bosques nativos, en miras de su conservación y manejo forestal sustentable. Esta información es vital para mejorar la capacidad de adaptación de nuestros bosques y matriz productiva forestal ante la amenaza del cambio climático y la mayor ocurrencia y severidad de incendios forestales.

1. INTRODUCCIÓN

Aunque, en muchos bosques alrededor del mundo, los incendios forestales pueden ser considerados como disturbios naturales, tales como en bosques mediterráneos (Rundel, 1998), en bosques templados y en bosques boreales (Thom y Seidl, 2016), en las últimas décadas se ha documentado un incremento en la ocurrencia y severidad de ellos (Seidl *et al.*, 2017), algo que también ha sido señalado para Chile (Úbeda y Sarricolea, 2016). Los incendios forestales pueden constituir un problema social y ambiental (Úbeda y Sarricolea, 2016). La propagación descontrolada de los incendios puede ocasionar daños sociales y pérdidas económicas importantes, así como también pueden producir efectos negativos sobre los recursos naturales renovables, originando quizás cambios en la dinámica de los procesos que se producen en los bosques (Julio 2008).

En Chile, durante la temporada de incendios 2016-2017 se presentó uno de los mayores episodios registrados en cuanto a incendios forestales. Estos incendios forestales fueron denominados como la “Tormenta de Fuego” y afectó 518.174 ha, entre las regiones de Coquimbo y La Araucanía (Castellnou *et al.*, 2017; CONAF, 2017). Específicamente, la región del Maule se vio afectada en una superficie de 280.106 hectáreas, de las que el 65,7% son el resultado del incendio de “Las Máquinas”. Este incendio forestal se originó el día 20 de enero de 2017 y afectó las comunas de Empedrado, Cauquenes, Constitución y San Javier (Castellnou *et al.*, 2017; CONAF, 2017). Entre la superficie afectada por el incendio se encuentra la Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (predio Pantanillos) de la Universidad de Chile.

Respecto de las formaciones vegetales en la región del Maule, las más afectadas fueron los tipos forestales Esclerófilo y Roble-Hualo (6.578 y 10.496 ha, respectivamente) (CONAF, 2017). Específicamente el bosque de roble (*Nothofagus obliqua*) y hualo (*Nothofagus glauca*) se destaca por la diversidad de elementos endémicos que presenta y por ser considerado como una formación con graves problemas de conservación, debido a la degradación histórica a la que fue sometido en el pasado y a su escasa representatividad en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) (San Martín y Donoso, 1995; López, 2010; Donoso, 2015).

Históricamente, el bosque maulino costero ha sufrido impactos debido al uso antrópico, en que se quemaron bosques para habilitar suelos para el uso de la actividad agrícola y la ganadería, el bosque fue floreado para obtener madera de buena calidad (por ejemplo, para la construcción naval), para la obtención de leña para uso combustible y por último el bosque fue sustituido para el desarrollo de plantaciones forestales de uso industrial, especialmente de pino (San Martín y Gómez, 2010). Por ello, hasta antes de la temporada de incendios del período 2016-2017, el bosque maulino se encontraba fuertemente fragmentado y rodeado por plantaciones forestales de especies exóticas altamente conectadas (Echeverría *et al.*, 2016). También se ha documentado que luego del abandono agrícola, superficies que antiguamente podrían haber tenido bosques de hualo, han sido sustituidas por formaciones de matorral y bosque de especies esclerófilas (San Martín y Donoso, 1995; Luebert y Plissock, 2017). Por lo tanto, y debido a lo anteriormente expuesto, es que se considera que estos bosques estarían en un estado crítico de amenaza y se ha puesto en duda su continuidad en el tiempo (Donoso, 2015; Luebert y Plissock, 2017).

Se ha previsto en Chile que se producirá un calentamiento global, en que, desde el punto de vista pluviométrico, las precipitaciones disminuirán en todo el país, a excepción de la región altiplánica en verano y el extremo austral en invierno (CONAMA, 2006). El resultado de este efecto de cambio climático, asociado a un cambio de uso de suelo, será el incremento de la ocurrencia y área afectada por incendios forestales en la zona centro-sur del país (González *et al.*, 2011), algo que concuerda con un patrón de comportamiento global, ante un eventual clima que sea más seco y cálido (Seild *et al.*, 2017).

El cambio climático modificará las condiciones ecológicas y económicas del manejo forestal, así como también las funciones de los bosques para la sociedad (Jansen *et al.*, 2008). Es por esto que la adaptación a los efectos del cambio climático debe referirse a los ajustes en los sistemas ecológicos, sociales y económicos (Spittlehouse y Stewart, 2003). Por tal razón y considerando esta futura incertidumbre, la adaptación al cambio climático debería considerar el establecer objetivos para los bosques del futuro, bajo la existencia de este paradigma, y debido al posible cambio en el clima, se debería manejar los bosques para reducir su vulnerabilidad y aumentar el restablecimiento de regeneración, considerando el desarrollo de un monitoreo continuo (Promis, 2010).

En el marco de la degradación de los ecosistemas forestales en la región del Maule, sumado al proceso del cambio climático, es que se tiene como propuesta incorporar estrategias de adaptación, bajo la premisa que los ecosistemas mediterráneos constituyen una barrera natural contra el avance de la desertificación. El efecto general del cambio climático muestra que especies terrestres han cambiado rangos geográficos, abundancia e interacciones, lo que se evidencia en unidades vegetacionales esclerófilas que han presentado variación en sus rangos de distribución (CONAF, 2016).

Una especie característica de las formaciones esclerófilas es quillay (*Quillaja saponaria*), especie nativa con un amplio rango de distribución en el país (desde la región de Coquimbo hasta Biobío), por lo que forma parte de distintos ecosistemas. Esta especie presenta una alta plasticidad ecológica, pues tolera suelos pobres, altas fluctuaciones térmicas y condiciones extremas de sequía. Desde una perspectiva productiva, la especie también otorga un gran aporte en cuanto a productos forestales no madereros, caracterizada por ser fuente de saponina y otros compuestos químicos, además de ser una especie melífera y de uso ornamental (Cruz, 2013). Dichas características de la especie abren la posibilidad de indagar en un modelo de producción sustentable, mediante el aprovechamiento de la obtención de saponinas y la producción de miel, así como su contribución en la captura de carbono y protección del suelo, que dadas las características de la Estación Experimental del predio Pantanillos la hace bastante atractiva.

Las repercusiones a causa de la tormenta de fuego constituyen un desastre ecológico de gran magnitud, en que se hace complejo cuantificar la pérdida de diversidad biológica y la degradación de funciones ecosistémicas. Para contrarrestar los efectos del megaincendio y la degradación de los ecosistemas, se han propuesto acciones de restauración, a través de la reforestación y plantaciones suplementarias, para mejorar la cobertura vegetal y, posiblemente, la contención de suelo. Es por ello que la Fundación Reforestemos en coordinación con la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile han llevado a cabo acciones en favor de recuperar las zonas

afectadas, reforestando áreas quemadas de la región del Maule, con especies arbóreas nativas del bosque esclerófilo y del bosque maulino.

Dentro de este contexto, durante el invierno del 2017, se llevaron a cabo acciones de reforestación en tres sectores de la Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (predio Pantanillos). El primero corresponde, a un bosque dominado por la presencia de hualo que fue afectado por el incendio forestal, en el que se implementó una plantación suplementaria. El segundo, corresponde a un sector de tala rasa de pino, donde se reforestó con especies del bosque nativo de hualo. El tercero y último, corresponde una plantación de quillay, en un área donde se había efectuado una tala rasa a una plantación de pino. Las especies utilizadas para la reforestación y plantación suplementaria corresponden a seis especies propias del bosque maulino costero, como son hualo, peumo (*Cryptocarya alba*), radial (*Lomatia hirsuta*), maqui (*Aristotelia chilensis*), litre (*Lithraea caustica*) y arrayán (*Luma apiculata*) (Promis y Cruz, 2017).

Es por ello, que el propósito de este informe es el de evaluar el primer período de monitoreo sobre el efecto de las reforestaciones y plantación suplementaria, así como el estado vegetacional actual del bosque y superficies aledañas, a una temporada de ocurrido el incendio forestal. Para tales efectos se estableció una red de parcelas permanentes de monitoreo, lo que permitirá evaluar de manera sostenida en el tiempo el desempeño de las plantas, la recuperación natural del bosque de hualo afectado por el incendio y la existencia o no de invasión por especies arbóreas exóticas dentro de las áreas de reforestación y plantación suplementaria.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra el Centro Experimental Dr. Justo Pastor León (predio Pantanillos), perteneciente a la Universidad de Chile y administrado por la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. El predio se encuentra ubicado en la comuna de Constitución, región del Maule 35° 43' S y 72° 29' O), aproximadamente a 25 km de la ciudad de Constitución y 63 km de San Javier (Figura 1). El predio tiene una superficie de 380 hectáreas, cuyo uso, antes del incendio, correspondía en su mayoría, a plantaciones exóticas de pino (*Pinus radiata*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*) y aproximadamente un 20% de la superficie a bosque nativo hualo (*Nothofagus glauca*).

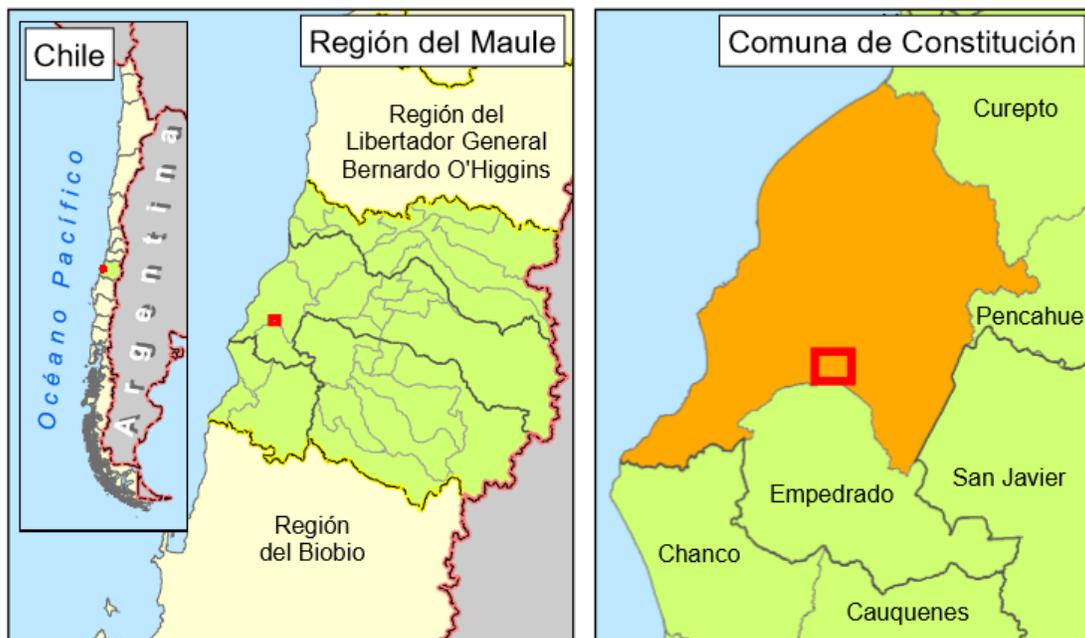


Figura 1: Mapa de ubicación predio Pantanillos. (Fuente: Olivares, 2017)

2.1.1 Clima

En el área de estudio presenta un clima Templado Cálido Supratemal con régimen de humedad sub húmedo seco (Csb2Shs), con temperatura máxima del aire en el mes de enero de 24,4 °C y mínima en el mes de julio de 6,3 °C. La precipitación media anual es de 920 mm y un período seco de 5 meses (AGRIMED, 2017).

2.1.2 Geología y geomorfología

El predio se ubica en la cordillera de la costa de la región del Maule, la que representa una unidad geológica de basamento rocoso metamórfico. Su relieve es un sistema montañoso con altitudes inferiores a 1.000 m.s.n.m., que se encuentra conectado por menores elevaciones, generando microcuencas, quebradas y pequeños valles. Dicha variación en el relieve genera gran heterogeneidad ambiental (San Martín y Donoso, 1995). El sector

donde se encuentra el predio Pantanillos posee una topografía variada, con terrenos planos tanto en sectores de alta como de baja elevación, las pendientes fluctúan entre 0 y 40%, llegando a presentar incluso pendientes de 100% en los límites hacia el este y oeste del predio (Márquez, 1992).

2.1.3 Hidrología

El predio se encuentra en la cuenca hidrogeológica del río Maule. De los afluentes presentes en la cuenca del Maule, el río Purapel es el principal curso de agua permanente en el predio, este atraviesa el predio bordeando su límite norte (Márquez, 1992; MOP, 2004). El río Purapel posee un régimen pluvial, presentando, en años húmedos, mayores caudales durante los meses de invierno (entre junio y julio) y una disminución de su caudal entre los meses de diciembre y de abril. Por otra parte, en años secos el mayor caudal se da entre los meses julio y agosto y los de menor caudal entre diciembre y mayo (MOP, 2004).

2.1.4 Suelo

Debido a su antigüedad y a la intemperización, los suelos de la cordillera de la costa presentan coloración rojiza y se caracterizan por su baja fertilidad. La mayoría de estos suelos fueron sometidos a un intensivo uso agrícola, lo que intensifica la susceptibilidad de estos a erosión de cárcavas por efecto de lluvias (San Martín y Donoso, 1995). En gran parte del predio, el suelo se encuentra caracterizado dentro de la asociación Treguaco (variaciones TG-2 y TG-4), que corresponde a franco arcillo limosa y hacia el sur en la asociación Alto Colorado Alto Colorado (variación ALT-7), que es franco arcillo arenosa (Saldías, 2017).

2.1.5 Uso de suelo

Al momento de donación a la Universidad de Chile (1978), la superficie del predio estaba cubierta de renovales de hualo, matorrales y 4,1 hectáreas con plantación de pino (*Pinus radiata*). Desde el predio se obtenía madera y carbón vegetal. A partir del año 1980 se comienzan a realizar actividades de reforestación, a través de plantaciones de pino y de eucaliptos (*Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus camaldulensis*). Para el año 1990 la superficie del predio tenía 214,5 ha de plantaciones forestales y 104 ha de renovales de hualo (Márquez, 1992). Para el año 2016 la superficie del predio, en cuanto a vegetación, consistía en 214,8 ha de plantación de pino, 30 ha de plantación de eucalipto; 74,4 ha de renovales de hualo; 40 ha de vegetación nativa de protección en quebradas y 15 ha con pradera y matorral (Saldías, 2017).

El incendio de Las Maquinas (verano 2017) afectó el predio en casi su totalidad. El incendio tuvo diferentes grados de severidad (daños), afectando la vegetación en las categorías extrema (81,3 ha); alta a muy alta (62,3 ha); alta (72,5 ha); moderada a alta (80,1 ha) leve a moderada (46,4 ha), leve (50,6) y sin daño aparente (2,7 ha) (Castillo *et al.*, 2017).

2.1.6 Flora y vegetación

La vegetación que potencialmente debería expresarse en el predio correspondería al Bosque Caducifolio Mediterráneo Costero de *Nothofagus glauca* y *Persea lingue* (hualo y lingue) (*sensu* Luebert y Pliscoff, 2017). El estrato arbóreo de este bosque se encuentra dominado

por la presencia de hualo, roble (*Nothofagus obliqua*), avellano (*Gevuina avellana*) y lingue, mientras que el estrato arbustivo por hued-hued (*Gaultheria insana*), murta (*Ugni molinae*) y corontillo (*Escallonia pulverulenta*). Actualmente es improbable encontrar un bosque maduro de este tipo, ya que se encuentra desplazado por las plantaciones de pino (San Martín y Donoso, 1995; Donoso, 2015). En este tipo de bosque destaca, además, la presencia de especies en categoría de amenaza En Peligro, tales como ruil (*Nothofagus alessandri*), queule (*Gomortega keule*) y pitao (*Pitavia punctata*) (San Martín y Donoso, 1995; MINSEGPRES, 2007).

En el bosque de hualo, en el predio Pantanillos, antes del incendio se podían encontrar litre, radial, hued-hued, murta, zarzaparrilla (*Ribes trilobum*), maqui, lingue, oreganillo (*Teucrium bicolor*), corontillo, arrayán (*Luma apiculata*) y pino (*Pinus radiata*), entre otras (Olave, 2011). Además, en situaciones donde hualo se presentaba con hábito arbustivo era posible encontrar litre, espino (*Acacia caven*), quillay, colliguay (*Colliguaja odorifera*) y rosa mosqueta (*Rosa rubiginosa*) (Márquez, 1992).

Respecto a la dinámica de los bosques de hualo y lingue no existe mucha información (San Martín y Donoso, 1995; Luebert y Pliscoff, 2017). En bosques que han sido cortados y en donde no se ha alterado fuertemente el piso, hualo es capaz de rebrotar vigorosamente (Donoso, 2015). En cambio, en bosques fuertemente afectados por incendios y cultivos, la superficie es ocupada posteriormente por un matorral arborescente de especies esclerófilas (San Martín y Donoso, 1995; Donoso 2015; Luebert y Pliscoff, 2017). Después de la acción de un agente de perturbación, se ha descrito que la sucesión puede iniciarse con el establecimiento de un matorral de vauto (*Baccharis concava*) y murta, para posteriormente ser reemplazado por otro más de mayor altura con corcolén (*Azara integrifolia*), litre y quillay (San Martín y Donoso, 1995). No obstante, ante la existencia de una perturbación severa, el bosque podría ser invadido por un denso matorral secundario de espinillo (*Ulex europeus*), el que podría impedir la regeneración del bosque original (San Martín 1995; Luebert y Pliscoff, 2017).

2.2 Plantación suplementaria y reforestaciones

Los sectores evaluados corresponden a tres tipos de reforestaciones de especies nativas establecidas en los meses de julio y agosto del 2017, sobre superficies que difieren en el uso previo del sitio. La localización de las áreas reforestadas se observa en la Figura 2.

2.2.1 Plantación suplementaria en bosque de hualo (Nothofagus glauca) afectado por el incendio

La plantación suplementaria fue establecida sobre un renoval de hualo quemado (sector C, Figura 2) (Promis y Cruz, 2017). La plantación suplementaria se realizó con una mezcla de especies arbóreas típicas del bosque de hualo, distribuidas de manera aleatoria dentro de cuadrantes de 100 m² (Olivares, 2017). Se plantó hualo, peumo, radial, litre, maqui y arrayán, en proporciones que intentan imitar la proporción natural en este tipo de bosques (Promis y Cruz, 2017). Se realizó un ensayo de densidades de plantación considerando tres niveles: 2,0 ha con plantación a densidad de 300 árboles/ha; 1,5 hectáreas a densidad de 500 árboles/ha y 1,5 hectáreas con densidad de 900 árboles/ha. Los plantones fueron

instalados con protectores triangulares de polipropileno con tratamiento ultravioleta, para evitar daños por liebre y/o roedores.

2.2.2 *Reforestación para convertir tala rasa de pino (Pinus radiata) en bosque de hualo mixto (Nothofagus glauca)*

La conversión a través de reforestación con especies del bosque de hualo, corresponde a un sector de plantación de pino que fue cosechado a tala rasa en el año 2013, y que no había sido plantado posteriormente (Promis y Cruz, 2017). La reforestación abarca un total de 10 ha, separada en dos parches de 5 ha cada uno (sectores A y B, Figura 2). Las especies establecidas y el método de establecimiento es igual al utilizado en el caso de la plantación suplementaria. En este caso se realizó una variación en la densidad de plantación correspondiente a: 4,0 hectáreas con densidad de 1.300 árboles/ha; 3,0 hectáreas con densidad de 1.700 árboles/ha y 3,0 hectáreas con densidad de 2.500 árboles/ha.

Durante el mes de diciembre del 2017, se implementó en el sector un sistema de riego por goteo que estuvo en funcionamiento desde enero hasta abril del 2018. El riego se llevaba a cabo con una frecuencia de 15 días, y una distribución de 2 litros de agua por plantón.

2.2.3 *Reforestación para convertir tala rasa de pino (Pinus radiata) en plantación de quillay (Quillaja saponaria)*

Esta plantación se estableció en un área de tala rasa de pino (sector Q, Figura 2) (Promis y Cruz, 2017). La plantación abarca una superficie de 8 ha. La plantación se realizó en hileras, con una variación en la densidad en función del espaciamiento de plantación: 2,0 hectáreas plantadas a densidad de 2.500 árboles/ha (espaciamiento de árboles 2 x 2 m); 2,5 hectáreas de 1.250 árboles/ha (2 x 4 m); 2,5 hectáreas de 625 árboles/ha (4 x 4 m) y 1,0 ha de 333 árboles/ha (5 x 6 m).

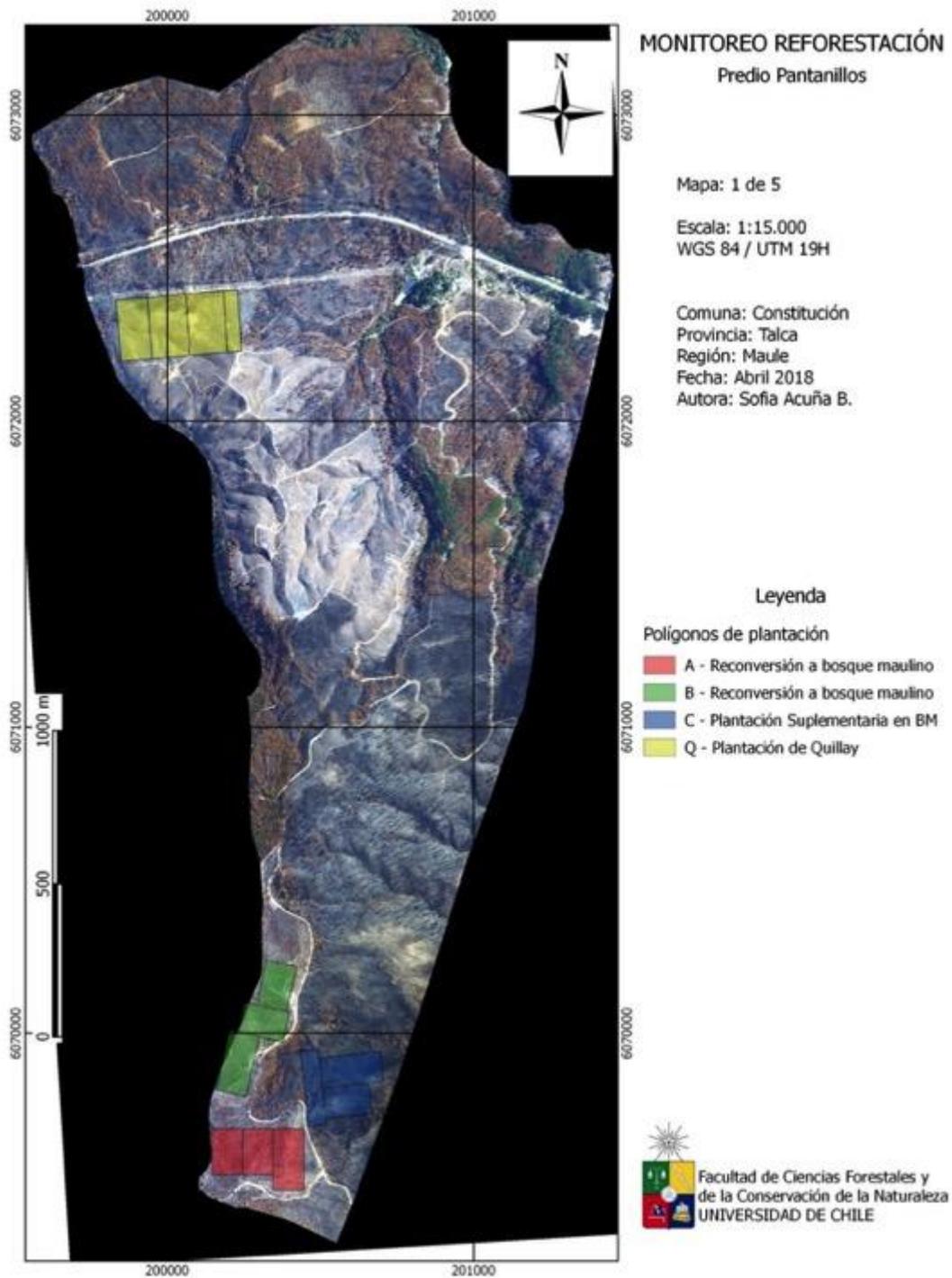


Figura 2: Superficie del Centro Experimental Dr. Justo Pastor León (predio Pantanillos) con la distribución espacial de los sectores con plantación suplementaria y reforestaciones.

2.3 Diseño y establecimiento de parcelas de monitoreo permanente

Los datos fueron colectados durante el mes de marzo del año 2018. Se realizó un muestreo aleatorio, que incluyó el establecimiento de parcelas permanentes de monitoreo. En total se establecieron 87 parcelas de 100 m², bajo el criterio de establecer al menos 7 parcelas en los sectores en que se reforestó o se plantó de manera suplementaria, que fueran igual o mayor a 1,5 hectáreas de superficie. Mientras que, se instalaron 3 parcelas en aquellas superficies en las que se plantó solo en una hectárea. De esta manera, en los sectores de plantación suplementaria en bosque de hualo afectado por incendio y en conversión de tala rasa de pino a bosque de hualo se establecieron 21 y 42 parcelas cuadradas de 100 m² (10 x 10 m), respectivamente (Cuadro 1, anexos 1, 2 y 3). Mientras que, para el sector de conversión de plantación de pino a plantación de quillay, se establecieron 24 parcelas circulares de 100 m² (Cuadro 1, anexo 4). Las parcelas cuadradas establecidas para el monitoreo de la plantación suplementaria y en la conversión de tala rasa de pino a bosque de hualo se debe al método establecido para la plantación (Promis y Cruz, 2017).

Cuadro 1: Número de parcelas establecidas en terreno para el monitoreo, de acuerdo al tipo de actividad de reforestación y plantación suplementaria, la densidad de plantación y la superficie.

Actividad	Sector	Densidad de Plantación (árb/ha)	Superficie	Nº parcelas establecidas
Plantación Suplementaria	C	300	2,0	7
		600	1,5	7
		900	1,5	7
Conversión a bosque de hualo	A y B	1.300	4,0	14
		1.700	3,0	14
		2.500	3,0	14
Conversión a plantación de quillay	Q	333 (5 x 6)	1,0	3
		625 (4 x 4)	2,5	7
		1.250 (2 x 4)	2,5	7
		2.500 (2 x 2)	2,0	7

Cada una de las parcelas fue numerada y marcada. Las parcelas cuadradas fueron marcadas en sus esquinas por estacas rojas (Figura 3). A las parcelas circulares se les implementó una estaca central de PVC naranja con una etiqueta de aluminio que presenta los datos generales de la parcela (Figura 4). Se registró la ubicación espacial mediante GPS en el centro de cada parcela, su exposición respecto de puntos cardinales, porcentaje de la pendiente, cobertura vegetal, posición topográfica, forma de la pendiente, pedregosidad superficial y altitud sobre nivel del mar (Anexo 5).



Figura 3: Estaca roja que delimita cada vértice de las parcelas cuadradas. Parcela PVC de 1m^2 para medir regeneración por semilla.



Figura 4: Marca central utilizada para parcelas circulares. Se observa en la ficha: Unidad (N° parcela), tratamiento, cantidad de plantas y fecha.

2.4 Levantamiento de información

Para verificar el estado de los plantones y poder hacer seguimiento permanente, en cada una de las parcelas se identificó la totalidad de plantones establecidos en las actividades de plantación suplementaria y reforestación para conversión de plantación de pino. Cada uno de los plantones fueron marcados con una etiqueta de aluminio (Figura 4), que presenta la información de número de parcela, tratamiento y número de plantón. Además, cada plantón fue caracterizado mediante la medición del diámetro a la altura de cuello (DAC, mm), altura (cm), crecimiento en altura durante el primer período de crecimiento (cm) y porcentaje de daño (marchitez, herbivoría y daño sanitario por insecto o patógeno) (Anexo 6).

Para evaluar la invasión de especies arbóreas exóticas y caracterizar la recuperación natural de las áreas incendiadas, tanto en la plantación suplementaria de bosque maulino afectado por incendio como en la conversión de tala rasa de pino a bosque de hualo, se contó el número de plantas de regeneración natural proveniente de semillas y la que se encontraba regenerando vegetativamente, para cada una de las especies de características leñosas.

Para el conteo de las plantas de regeneración proveniente de germinación de semillas, se establecieron 5 subparcelas cuadradas de 1 m^2 ($1\text{ x }1\text{ m}$) en el interior de la parcela de 100 m^2 . Una de estas subparcelas se instaló al medio de la parcela cuadrada y las otras cuatro en cada uno de los vértices. Además de la cantidad de plantas instaladas, se registró la longitud de cada una de ellas (Figura 3 y Anexo 7).

Para evaluar los rebrotes que se encontraban regenerando vegetativamente, la superficie de la subparcela realizada correspondió a la mitad de la parcela cuadrada (50 m^2 , $5\text{ x }10\text{ m}$), que se encontraba en orientación hacia el este. Para cada una de las especies leñosas que se encontraban regenerando vegetativamente, se contó el número de rebrotes por planta y la longitud del rebrote más largo (cm) (Anexo 8).

2.5 Análisis de datos

Para cada una de las actividades de plantación suplementaria y conversión de tala rasa de pino a bosque nativo de hualo y plantación de quillay, se evaluó el desempeño de los plantones por superficie (parcela), calculando la supervivencia, el diámetro a la altura del cuello promedio (mm), longitud promedio (cm) y crecimiento promedio (cm), a través de estadística descriptiva (promedio, mínimo y máximo).

Para verificar la variación en supervivencia, patrones de tamaño (DAC y altura) y crecimiento, los valores calculados a nivel de especie y parcela para las distintas densidades de plantación y tipo de actividad de reforestación fueron comparados a través de la prueba estadística no paramétrica H de Kruskal-Wallis y la prueba U de Mann-Whitney posteriormente (Sokal y Rohlf, 2000). Se realizó el mismo análisis estadístico para comparar la densidad de plantas de regeneración que se están estableciendo naturalmente entre especies, en el bosque de hualo afectado por el incendio y en la tala rasa de pino que se estaría convirtiendo a bosque de hualo. Este análisis estadístico se realizó con el software SPSS para Windows.

3. RESULTADOS

3.1 Plantación suplementaria y reforestaciones

3.1.1 Evaluación plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio

La supervivencia de plántones después del primer período de crecimiento vegetativo no varió entre las diferentes densidades de plantación suplementaria (Figura 5). La supervivencia en promedio varió entre 66,7 (densidad de 300 plantas/ha) a 80,0% (500 plantas/ha) (Figura 5).

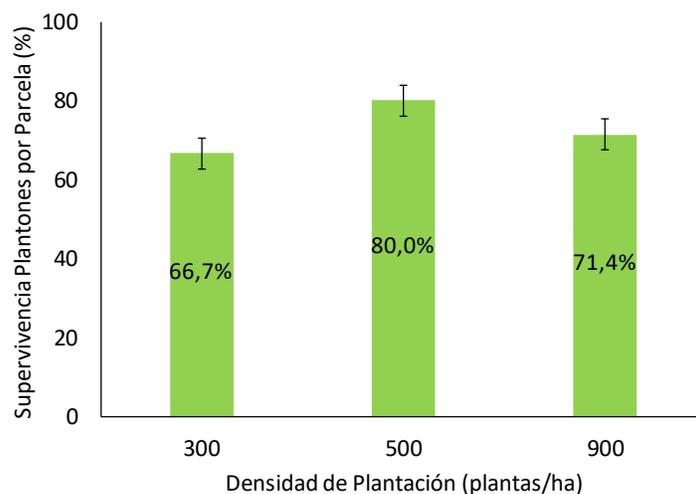


Figura 5: Supervivencia promedio de plántones total por parcela (%) respecto a densidades de plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Barras de error representan error estándar. No hubo diferencias significativas en supervivencia de plantas entre tratamientos de densidad de plantación (Prueba H de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

Al analizar la supervivencia de plántones a nivel de especie, hualo tuvo una supervivencia de 0 a 100 % de los plántones instalados por parcela, después del primer período de crecimiento vegetativo, con promedios entre 64 y 79% de supervivencia por tratamiento (Figura 6). Para las otras especies, en general se presentaron altos valores de supervivencia (100%). Radal fue la única especie que presentó menores valores de supervivencia, con registros desde 0 hasta 100% de supervivencia por parcela (Figura 6).

El diámetro a la altura del cuello (DAC) de los plántones después del primer período de crecimiento vegetativo fue similar entre los tratamientos de densidades de plantas (Figura 7), con valores promedio que van entre 4,56 y 5,41 mm por plánton a nivel de parcela. Las diferentes especies plantadas presentan valores de DAC promedio que van desde 2,22 hasta 5,75 mm. Hualo, de manera específica, tampoco presentó variaciones en el DAC entre tratamientos de densidades de plantación, con valores que van desde en promedio desde 4,85 a 5,75 mm (Cuadro 2).

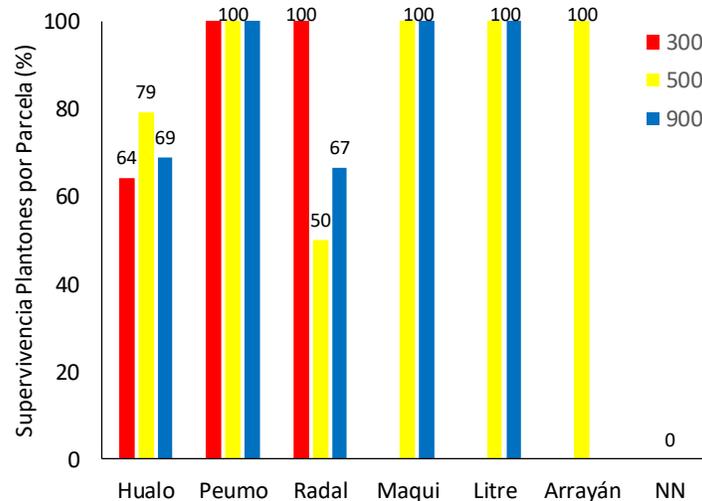


Figura 6: Supervivencia promedio de plantones total por parcela (%), para cada una de las especies, respecto a densidades de plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Hualo: *Nothofagus glauca*, Peumo: *Cryptocarya alba*, Radal: *Lomatia hirsuta*, Maqui: *Aristotelia chilensis*, Arrayán: *Luma apiculata*, NN: especies no determinadas, por no tener hojas presentes. Sólo hualo tuvo repeticiones mínimas necesarias para realizar análisis estadístico. No hubo diferencias significativas en la supervivencia de plantones de hualo (Prueba H de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

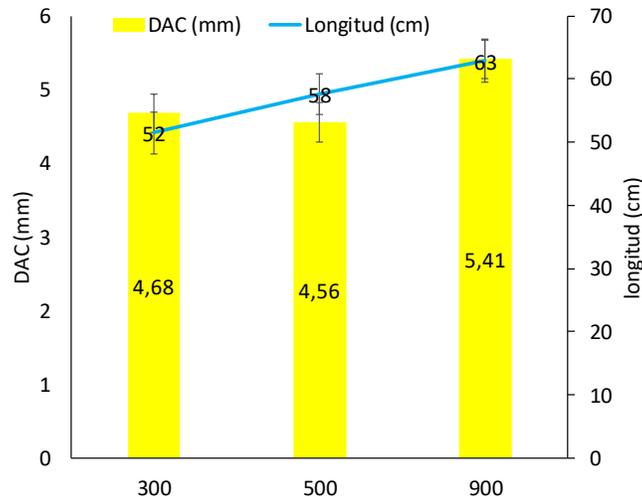


Figura 7: Diámetro a la altura del cuello (DAC) y altura promedio de plantones por parcela respecto a densidades de plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. No hubo diferencias significativas para ninguna de las variables medidas en los plantones entre densidades de plantación (Prueba H de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

La altura de los plantones después del primer período de crecimiento vegetativo también fue similar entre los tratamientos de densidades de plantas (Figura 7). Los registros en

promedio de las alturas se presentaron entre 52 y 63 cm (Figura 7). A nivel de especie la altura de las plantas de hualo son las más grandes (60 a 70 cm en promedio por densidad de plantación), las que no presentaron diferencias entre densidades de plantación (Cuadro 2). Los individuos de las otras especies tienen en promedio alturas entre 12 y 64 cm (Cuadro 2).

Cuadro 2: Características en diámetro a la altura del cuello (DAC), altura y crecimiento de plantas promedio por parcela por especie y densidad (300, 500 y 900 plantones/ha) en plantación suplementaria bosque maulino afectado por incendio, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Hualo: *Nothofagus glauca*, Peumo: *Cryptocarya alba*, Radal: *Lomatia hirsuta*, Maqui: *Aristotelia chilensis*, Arrayán: *Luma apiculata*. Sólo hualo tuvo repeticiones mínimas necesarias para realizar análisis estadístico. No hubo diferencias significativas en la supervivencia de plantones de hualo (Prueba H de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

Especie	DAC (mm)			longitud (cm)			Crecimiento longitud (cm)		
	300	500	900	300	500	900	300	500	900
Hualo	4,99	4,85	5,75	60	65	70	27,8	14,9	16,7
Peumo	4,28	3,88	4,28	33	31	33	9,0	9,0	8,8
Radal	3,04	2,22	2,94	16	12	20	9,5	-	6,0
Maqui	-	3,51	5,48	-	52	64	-	5,0	13,0
Litre	-	3,15	3,18	-	25	21	-	13,0	13,0
Arrayán	-	4,97	-	-	18	-	-	13,0	-

En general, hualo fue la especie que presentó el mayor crecimiento promedio de los plantones por parcela, con registros que van desde 14,9 hasta 27,8 cm por plantón promedio por parcela durante el primer período de crecimiento vegetativo, aunque sin diferencias significativas entre tratamientos de densidad de plantación (Cuadro 2 y Figura 8). Los individuos de las otras especies tienen en promedio crecimientos absolutos en altura absolutos entre 8,8 y 13,0 cm durante el período de crecimiento vegetativo (Cuadro 2).



Figura 8: Plantones de hualo (*Nothofagus glauca*) en la plantación suplementaria en bosque maulino.

3.1.2 Evaluación reforestación para convertir tala rasa de pino (*Pinus radiata*) en bosque maulino con composición de especies mixtas

La supervivencia total de plántones después del primer período de crecimiento vegetativo varió entre las diferentes densidades de plantación. En sistema de mayor densidad de plantación (2500 plantas/ha) la supervivencia de plántones fue estadísticamente mayor en 0,27 veces (70,7% supervivencia) respecto a lo registrado en plantación de 1700 plantas/ha (55,6%) (Figura 9). La supervivencia de plántones en plantación de 1300 plantas/ha fue similar a la registrada en las otras densidades (Figura 9).

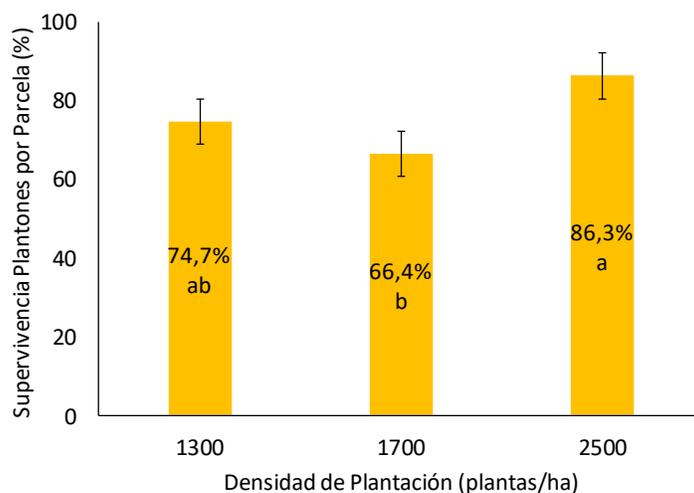


Figura 9: Supervivencia promedio de plántones total por parcela (%) respecto a densidades de plantación en reforestación para convertir tala rasa de pino en bosque maulino con composición de especies mixtas en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniños), después del primer período de crecimiento vegetativo. Barras de error representan error estándar. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

Sin embargo, al analizar la supervivencia de plántones a nivel de especie no se registraron diferencias entre densidades de plantación (Figura 10). Hualo tuvo una supervivencia de 25 a 100 % de los plántones instalados por parcela, después del primer período de crecimiento vegetativo, con promedios entre 68 y 85% de supervivencia por tratamiento (Figuras 10 y 11). Radal y Maqui tuvieron supervivencias que variaron entre 0 y 100% de los plántones instalados por parcela. Para Radal la supervivencia promedio por tratamiento de densidad fue 38, 50 y 79%, para densidades de 1300, 1700 y 2500 plántones/ha (Figuras 10 y 12). La supervivencia de Maqui se vio disminuida solamente en tratamiento de plantación con 1700 plántones/ha (Figura 10 y 12). Para el resto de las especies (peumo, litre, arrayán), la supervivencia de los plántones encontrados y caracterizados en terreno fue del 100%. Sin embargo, debido a que al 15% de los plántones muertos en el muestreo (26 plántones) no se les pudo determinar la especie a que corresponden, existe una incertidumbre sobre este último patrón de alta supervivencia.

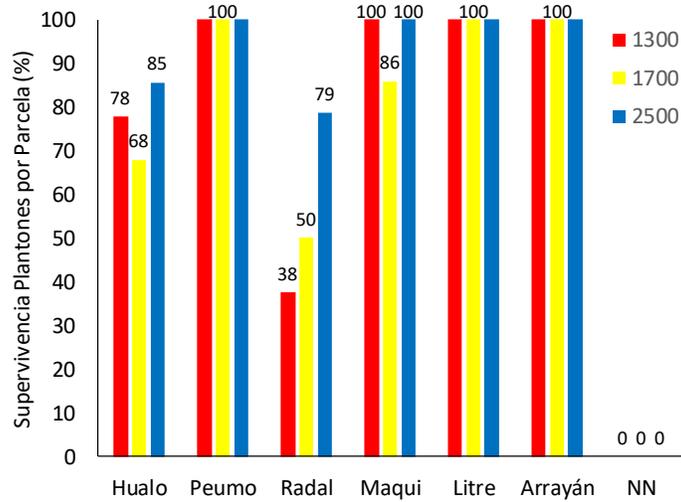


Figura 10: Supervivencia promedio de plántones total por parcela (%), para cada una de las especies, respecto a densidades de plantación en reforestación para convertir tala rasa de pino en bosque maulino con composición de especies mixtas en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Hualo: *Nothofagus glauca*, Peumo: *Cryptocarya alba*, Radal: *Lomatia hirsuta*, Maqui: *Aristotelia chilensis*, Arrayán: *Luma apiculata*, NN: especies no determinadas, por no tener hojas presentes. No hubo diferencias significativas en la supervivencia de plántones entre densidades de plantación para ninguna de las especies (Prueba H de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).



Figura 11: Plantones de hualo (*Nothofagus glauca*) vivos y muertos encontrados en el área de reconversión a bosque maulino.



Figura 12: Plantón de maqui (*Aristotelia chilensis*) vivo y plantones de radial (*Lomatia hirsuta*) vivos y muertos encontrados en el área de reconversión a bosque maulino.

El diámetro a la altura del cuello de los plantones después del primer período de crecimiento vegetativo fue similar entre los tratamientos de densidades de plantas (Figura 13), con valores promedio que van entre 5,17 y 5,55 mm por plantón a nivel de parcela. Las especies en particular no presentaron variaciones en el DAC entre tratamientos de densidades de plantación, con valores que van desde en promedio desde 3,24 a 6,28 mm/plantón (Cuadro 3).

La altura de los plantones después del primer período de crecimiento vegetativo también fue similar entre los tratamientos de densidades de plantas (Figura 13). Los registros en promedio de las alturas se presentaron entre 52 y 60 cm/plantón (Figura 13). A nivel de especie la altura de las plantas fue bastante similar, sin diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 3). Las plantas más altas fueron las de hualo (entre 56 y 60 cm/plantón promedio en la parcela) y maqui (57 a 73 cm/plantón) (Cuadro 3). Los individuos de las otras especies tienen en promedio alturas de entre 30 y 40 cm o menores (Cuadro 3).

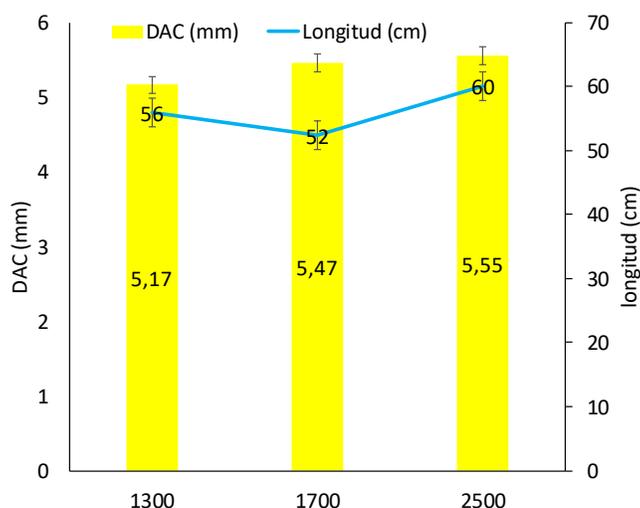


Figura 13: Diámetro a la altura del cuello (DAC) y altura promedio de plantones por parcela respecto a densidades de plantación en reforestación para convertir tala rasa de pino en bosque maulino con composición de especies mixtas, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. No hubo diferencias significativas para ninguna de las variables medidas en los plantones entre densidades de plantación (Prueba H de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

En general no hubo diferencias significativas en crecimiento absoluto en altura de los plantones promedio por parcela en las especies (Cuadro 3). Solamente para maqui se presentaron diferencias, siendo significativamente mayores cuando se plantó en condiciones mixtas de 1300 y 2500 plantones/ha, respecto a los registros en densidad de 1700 plantones/ha (Cuadro 3). En general, hualo fue la especie que presentó el mayor crecimiento promedio de los plantones por parcela, con registros que van desde 12,6 a 16,1 cm por plantón promedio por parcela durante el primer período de crecimiento vegetativo (Cuadro 3). Individuos de radial y maqui también presentaron valores altos de crecimiento, con registros iguales o superiores a los 10 cm/plantón promedio por parcela (Cuadro 3). Litre, peumo y arrayán presentaron menores tasas de crecimiento en el período (Cuadro 3).

Cuadro 3: Características en diámetro a la altura del cuello (DAC), altura y crecimiento de plantas promedio por parcela por especie y densidad de plantación (1300, 1700 y 2500 plantones/ha) en reforestación para convertir tala rasa de pino en bosque maulino con composición de especies mixtas en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Hualo: *Nothofagus glauca*, Peumo: *Cryptocarya alba*, Radal: *Lomatia hirsuta*, Maqui: *Aristotelia chilensis*, Arrayán: *Luma apiculata*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$). Para maqui y arrayán no se pudo realizar pruebas estadísticas por no presencia de individuos de las especies en un mínimo número de parcelas en alguno de los tratamientos.

Especie	DAC (mm)			longitud (cm)			Crecimiento longitud (cm)		
	1300	1700	2500	1300	1700	2500	1300	1700	2500
Hualo	5,34	5,67	5,67	60	56	64	16,1	12,6	14,9
Peumo	4,54	5,14	4,56	34	38	35	8,0	7,6	6,8
Radal	3,63	4,75	4,69	38	15	32	13,3 a	1,6 b	13,5 a
Maqui	3,78	4,52	6,28	57	61	73	12,0	10,0	14,6
Litre	4,10	4,22	4,50	33	26	32	7,71	7,20	9,43
Arrayán	4,19	4,64	3,24	35	14	28	6,00	7,00	9,00

3.1.3 Evaluación reforestación para convertir tala rasa de pino (*Pinus radiata*) en plantación de quillay (*Quillaja saponaria*)

La supervivencia total de plántones de quillay después del primer período de crecimiento vegetativo fue casi del 100%, y fue similar estadísticamente entre densidades de plantación (Figura 14). Solamente en el sistema de plantación de mayor densidad (2x2) se produjo la muerte de una planta en una parcela (Figura 14).

El diámetro a la altura del cuello de los plántones establecidos en la plantación de mayor densidad (2x2) fue entre 1,3 y 1,5 veces estadísticamente más grande respecto al resto de tratamientos (Figura 15), después del primer período de crecimiento vegetativo. En cambio, la altura de los plántones después del primer período de crecimiento vegetativo fue estadísticamente similar ($p > 0,05$) entre los tratamientos de densidades de plantas (Figura 15), con registros promedios de altura que van entre 40 y 56 cm.

En general para quillay no hubo diferencias significativas en crecimiento absoluto en altura de los plántones promedio por parcela (Figura I). El crecimiento en altura promedio de los plántones varió entre 18,6 y 27,6 cm durante el primer período de crecimiento vegetativo (Figuras 16 y 17).

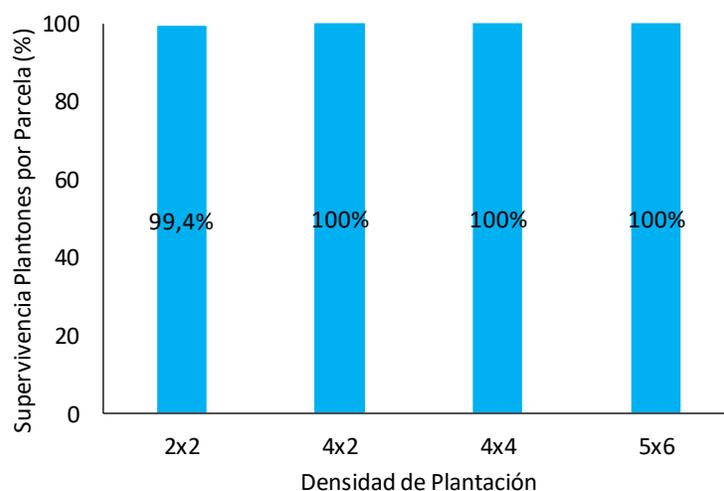


Figura 14: Supervivencia promedio de plántones de total por parcela (%) respecto a densidades de plantación en reforestación de *Quillaja saponaria* (quillay) sobre tala rasa de pino, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. No hubo diferencias significativas para la supervivencia de los plántones entre densidades de plantación (Prueba H de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

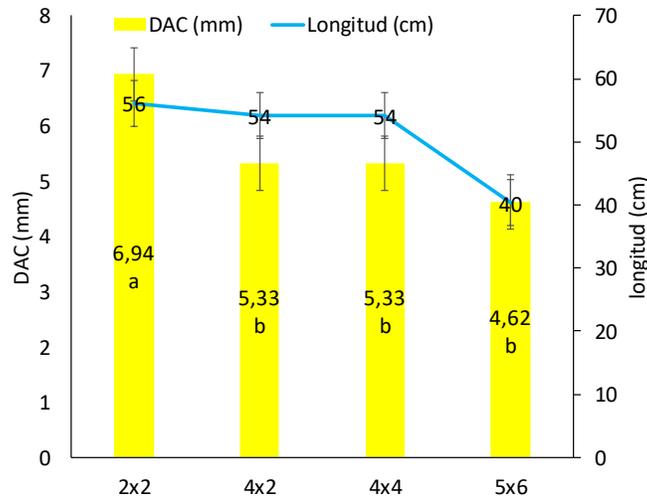


Figura 15: Diámetro a la altura del cuello (DAC) y altura promedio de plántones por parcela respecto a densidades de plantación en reforestación de *Quillaja saponaria* (quillay) para convertir tala rasa de pino, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

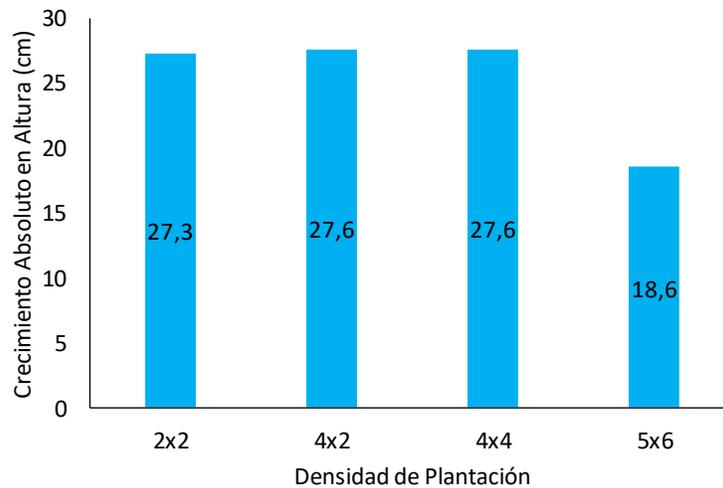


Figura 16: Crecimiento absoluto en altura (cm) de plántones promedio por parcela respecto a densidades de plantación en reforestación de *Quillaja saponaria* (quillay) para convertir tala rasa de pino, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. No hubo diferencias significativas para la supervivencia de los plántones entre densidades de plantación (Prueba H de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).



Figura 17: Plantones de quillay (*Quillaja saponaria*) con distintas longitudes.

3.2 Evaluación regeneración natural por semilla

3.2.1 Regeneración natural por semilla en zona de plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio

Después del primer período de crecimiento vegetativo, la densidad de regeneración natural de plantas leñosas que se ha comenzado a instalar alcanza en promedio 6,6 plantas/m², en un rango que va entre 0,2 y 24,2 plantas/m². Estadísticamente, la mayor cantidad corresponden a plantas de altura menor a 20 cm (promedio de 5,02 plantas/m²), posteriormente se presentan en promedio 1,57 plantas/m² que tienen entre 20 y 50 cm de longitud y finalmente, la menor cantidad de plantas de regeneración se presenta en la categoría mayor a 50 cm de altura (Figura 18).

A partir del monitoreo existen al menos siete especies de plantas leñosas con plantas de regeneración (Figura 19), de las cuáles seis son nativas y propias del bosque maulino. Sin embargo, pino radiata sería la especie que presenta estadísticamente la mayor cantidad de plantas de regeneración provenientes de semilla, con un promedio de 6,5 plantas/m² (Figura 19). Pino radiata presenta plantas en todas las categorías de altura, hualo en las dos primeras y mitique solo en la clase de 20-50 cm de altura. Para el resto de las especies solo se presentaron plantas menores a 20 cm de altura (Figura 20).

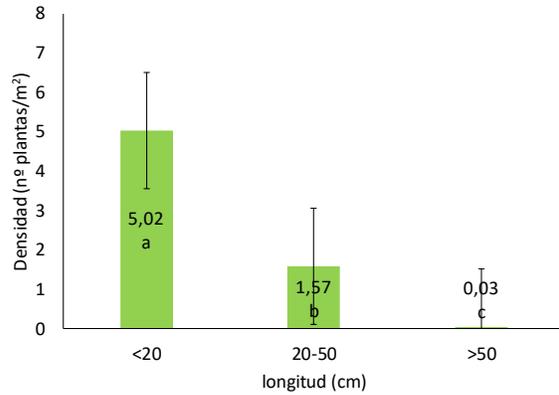


Figura 18: Densidad de plantas de regeneración provenientes de semilla, que se encuentran instaladas en bosque maulino afectado por incendio, distribuidas por clase de altura, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

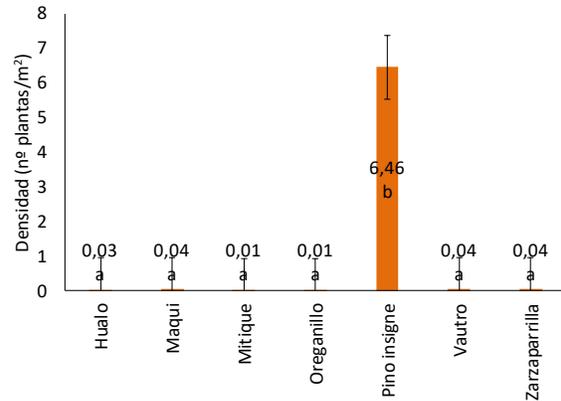


Figura 19: Densidad de plantas de regeneración provenientes de semilla, que se encuentran instaladas en bosque maulino afectado por incendio, distribuidas por especie, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Hualo: *Nothofagus glauca*, Maqui: *Aristotelia chilensis*, Mitique: *Podanthus mitiqui*, Oreganillo: *Teucrium bicolor*, Pino radiata: *Pinus radiata*, Vautro: *Baccharis macraei*, Zarzaparrilla: *Ribes trilobum*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).



Figura 20: Regeneración por semilla en zona de plantación suplementaria.

3.2.2 Regeneración natural por semilla en zona de reforestación para convertir tala rasa de pino (*Pinus radiata*) en bosque maulino con composición de especies mixtas

En la tala rasa de pino que se estaría convirtiendo a bosque maulino con composición de especies mixtas la densidad de regeneración natural de plantas leñosas que se ha comenzado a instalar alcanza en promedio 0,5 plantas/m², en un rango que va entre 0,0 y 2,6 plantas/m². Estadísticamente, la mayor cantidad corresponden a plantas de altura menor a 20 cm (promedio de 0,37 plantas/m²), posteriormente se presentan en promedio 0,16 plantas/m² entre 20 y 50 cm de longitud y finalmente, la menor cantidad de plantas de regeneración se presenta en la categoría mayor a 50 cm de altura (Figura 21).

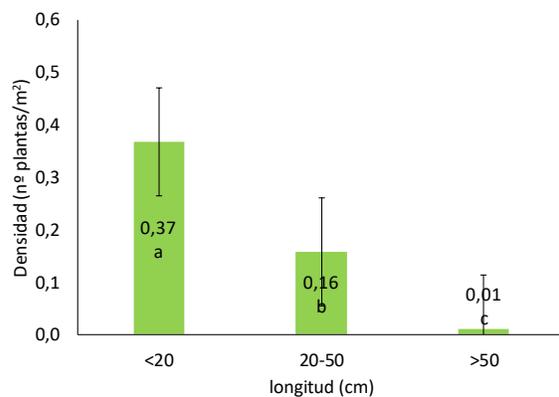


Figura 21: Densidad de plantas de regeneración provenientes de semilla, que se encuentran instaladas en tala rasa de pino que estaría siendo convertida a bosque maulino con especies mixtas, distribuidas por clase de altura, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

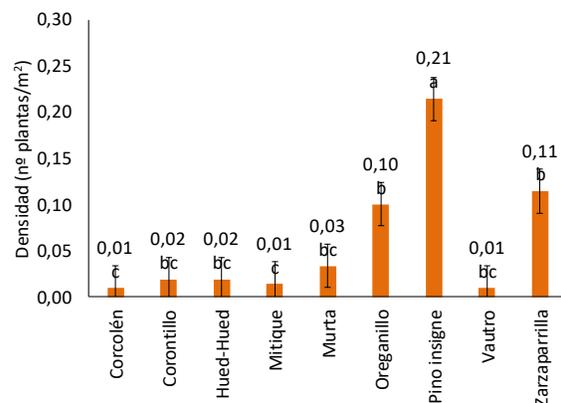


Figura 22: Densidad de plantas de regeneración provenientes de semilla, que se encuentran instaladas en tala rasa de pino que estaría siendo convertida a bosque maulino con especies mixtas, distribuidas por especie, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Corcolén: *Azara integrifolia*, Corontillo: *Escallonia pulvurulenta*, Hued-Hued: *Gaultheria insana*, Mitique: *Podanthus mitiqui*, Murta: *Ugni molinae*, Oreganillo: *Teucrium bicolor*, Pino radiata: *Pinus radiata*, Vautro: *Baccharis macraei*, Zarzaparrilla: *Ribes trilobum*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

En este sector habría al menos nueve especies de plantas leñosas con regeneración (Figura 22), de las que ocho son nativas y propias del bosque maulino. Pino radiata, la única

especie alóctona que estaría regenerando desde germinación de semilla, sería la especie que presenta estadísticamente la mayor cantidad de plantas de regeneración de semilla por superficie (0,21 plantas/m²), respecto a las otras especies (Figuras 22 y 23). Zarparrilla (*Ribes trilobum*) y Oreganillo (*Teucrium bicolor*) son las dos especies leñosas nativas que también presentarían una alta densidad de plantas de regeneración (0,11 y 0,10 plantas/m²) (Figura 22). Pino radiata presenta plantas en todas las categorías de altura, mientras que hueso-hueso (*Gaultheria insana*), murta (*Ugni molinae*) y zarzaparrilla en las dos primeras categorías de altura (< 20 y 20-50 cm). El resto de las especies solo se presentaron plantas menores a 20 cm de altura.



Figura 23: Regeneración por semilla en zona de reconversión a bosque maulino.

3.3 Evaluación regeneración natural vegetativa

3.3.1 Regeneración vegetativa en zona de plantación suplementaria en bosque maulino afectado por incendio

Hay 18 especies leñosas (hábito arbóreo y arbustivo) que estarían regenerando vegetativamente en el bosque maulino quemado. El número promedio de plantas que están regenerando vegetativamente es de 10.61 plantas/ha, siendo murta la especie que tiene estadísticamente una mayor densidad de plantas regenerando vegetativamente por superficie (6.752 plantas/ha). Otras especies con alta densidad de plantas con rebrote son: hued-hued (1.286 plantas/ha), hualo (971 plantas/ha) y corcolén (495 plantas/ha) (Figura 24 y 25).

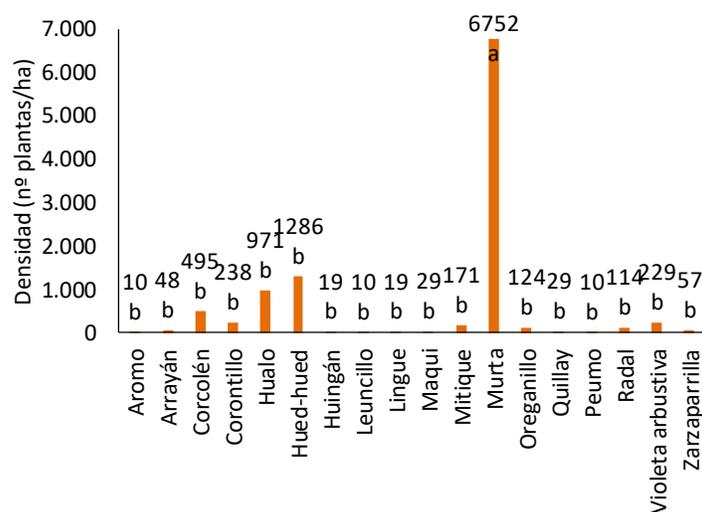


Figura 24: Densidad de plantas que se encuentran regenerando vegetativamente en bosque maulino afectado por incendio, distribuidas por especie, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Aromo: *Azara lanceolata*, Arrayán: *Luma apiculata*, Corcolén: *Azara integrifolia*, Corontillo: *Escallonia pulvurulenta*, hualo: *Nothofagus glauca*, Hued-Hued: *Gaultheria insana*, Huingán: *Schinus polygamus*, Leuncillo: *Escallonia leucantha*, Lingue: *Persea lingue*, Maqui: *Aristotelia chilensis*, Mitique: *Podanthus mitiqui*, Murta: *Ugni molinae*, Oreganillo: *Teucrium bicolor*, Quillay: *Quillaja saponaria*, Peumo: *Cryptocarya alba*, Radal: *Lomatia hirsuta*, Violeta arbustiva: *Viola portalesia*, Zarzaparrilla: *Ribes trilobum*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).



Figura 25: Regeneración vegetativa en zona de plantación suplementaria. Imagen superior corresponde a individuos de murta (*Ugni molinae*) regenerando. Imagen inferior corresponde a hualo (*Nothofagus glauca*) y corontillo (*Escallonia pulvurulenta*).

En promedio las plantas tienen 10 rebrotes después del primer período de crecimiento vegetativo. Corcolén es la especie que estadísticamente tiene una mayor cantidad de rebrotes por planta (promedio 14 rebrotes por planta). Otras especies con alta cantidad de rebrotes por planta son: corontillo, hualo, murta, oreganillo y radial (Figura 26).

La longitud promedio que han alcanzado los rebrotes es de 72 cm. Algunos rebrotes alcanzan valores máximos de longitud de 216 cm en hualo y 207 cm en peumo, después del

primer período de crecimiento. En promedio eso sí, la longitud es estadísticamente mayor para los rebrotes de hualo (159 cm en promedio). Otras especies que presentaron longitudes grandes en sus rebrotes son: corcolén, corontillo, maqui y radial (Figura 27).

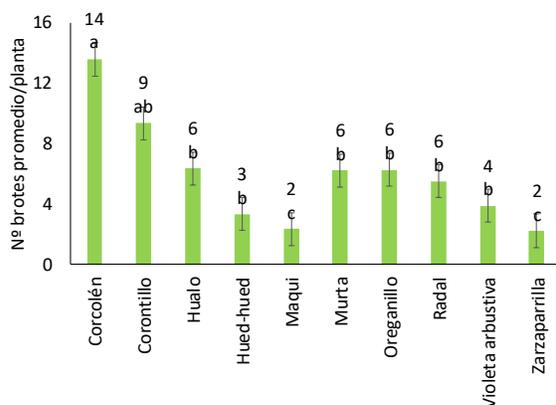


Figura 26: Número de rebrotes promedio por plantas que se encuentran regenerando vegetativamente en bosque maulino afectado por incendio, distribuidas por especie, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Solo se presentan las especies que se encontraron con regeneración vegetativa en al menos tres de las parcelas. Corcolén: *Azara integrifolia*, corontillo: *Escallonia pulvurulenta*, hualo: *Nothofagus glauca*, hued-hued: *Gaultheria insana*, maqui: *Aristotelia chilensis*, murta: *Ugni molinae*, oreganillo: *Teucrium bicolor*, radial: *Lomatia hirsuta*, violeta arbustiva: *Viola portalesia*, zarzaparrilla: *Ribes trilobum*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

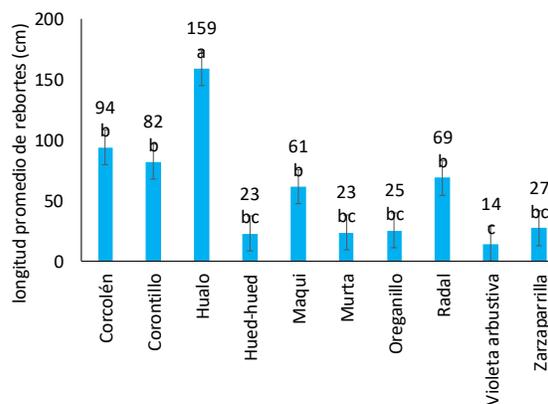


Figura 27: Longitud promedio de rebrotes en plantas que se encuentran regenerando vegetativamente en bosque maulino afectado por incendio, distribuidas por especie, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Solo se presentan las especies que se encontraron con regeneración vegetativa en al menos tres de las parcelas. Corcolén: *Azara integrifolia*, corontillo: *Escallonia pulvurulenta*, hualo: *Nothofagus glauca*, hued-hued: *Gaultheria insana*, maqui: *Aristotelia chilensis*, murta: *Ugni molinae*, oreganillo: *Teucrium bicolor*, radial: *Lomatia hirsuta*, violeta arbustiva: *Viola portalesia*, zarzaparrilla: *Ribes trilobum*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

3.3.2 Regeneración vegetativa en zona de reforestación para convertir tala rasa de pino (*Pinus radiata*) en bosque maulino con composición de especies mixtas

En la tala rasa de pino que se estaría convirtiendo a bosque maulino con composición de especies mixtas se estarían presentando 16 especies leñosas (arbóreas y arbustivas) que han regenerado vegetativamente, y una de ellas es exótica (*Eucalyptus globulus*). El número promedio de plantas que están regenerando vegetativamente es de 3.664 plantas/ha, siendo murta la especie que tiene estadísticamente una mayor densidad de plantas regenerando vegetativamente por superficie (1.376 plantas/ha). Corcolén y hualo son otras dos especies que presentan alta cantidad de plantas regenerando vegetativamente después del incendio (Figuras 28 y 29).

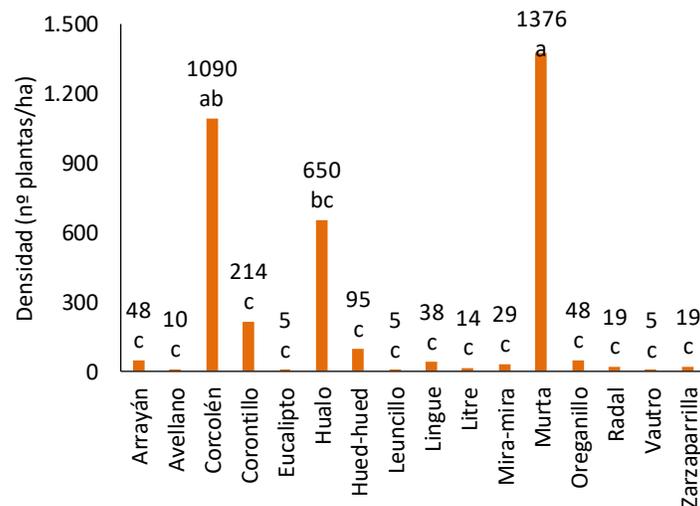


Figura 28: Densidad de plantas que se encuentran regenerando vegetativamente en tala rasa de pino que estaría siendo convertida a bosque maulino con especies mixtas, distribuidas por especie, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Arrayán: *Luma apiculata*, Avellano: *Gevuina avellana*, Corcolén: *Azara integrifolia*, Corontillo: *Escallonia pulvurulenta*, Eucalipto: *Eucalyptus globulus*, hualo: *Nothofagus glauca*, Hued-Hued: *Gaultheria insana*, Leuncillo: *Escallonia leucantha*, Lingue: *Persea lingue*, Litre: *Lithraea caustica*, Mira-mira: *Gochnatia foliosa*, Murta: *Ugni molinae*, Oreganillo: *Teucrium bicolor*, Radal: *Lomatia hirsuta*, Vautro: *Baccharis macraei*, Zarparrilla: *Ribes trilobum*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).



Figura 29: Regeneración vegetativa en zona de reconversión a bosque maulino. Imagen superior corresponde a un individuo de corcolén (*Azara integrifolia*). Imagen inferior corresponde a individuos de hualo (*Nothofagus glauca*).

En promedio las plantas tienen 8 rebrotes después del primer período de crecimiento vegetativo. Arrayán es la especie que estadísticamente tiene una mayor cantidad de rebrotes por planta (promedio 16 rebrotes por planta). Otras especies con alta cantidad de rebrotes por planta son: oreganillo, corcolén, corontillo y lingue (Figura 30).

La longitud promedio que han alcanzado los rebrotes es de 93 cm. Algunos rebrotes alcanzan valores máximos de longitud de 365 cm en eucalipto y 187 cm en hualo, después del primer período de crecimiento. Eso sí, la longitud es estadísticamente mayor para los rebrotes de hualo (157 cm en promedio). Otras especies que presentaron longitudes grandes en sus rebrotes son: corcolén, corontillo y lingue (Figura 31).

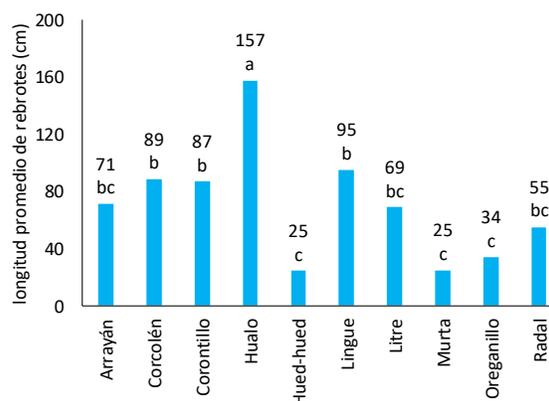
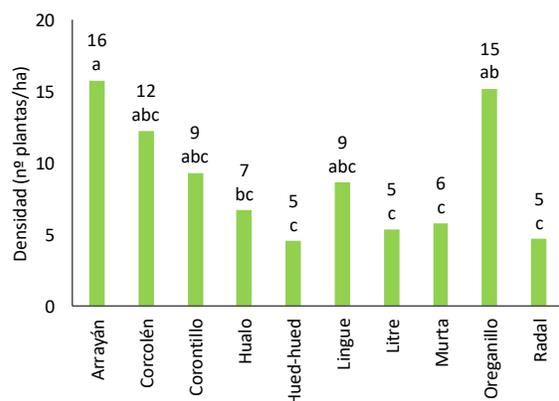


Figura 30: Número de rebrotes promedio por plantas que se encuentran regenerando vegetativamente en tala rasa de pino que estaría siendo convertida a bosque maulino con especies mixtas, distribuidas por especie, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Arrayán: *Luma apiculata*, Avellano: *Gevuina avellana*, Corcolén: *Azara integrifolia*, Corontillo: *Escallonia pulvurulenta*, Eucalipto: *Eucalyptus globulus*, hualo: *Nothofagus glauca*, Hued-Hued: *Gaultheria insana*, Leuncillo: *Escallonia leucantha*, Lingue: *Persea lingue*, Litre: *Lithraea caustica*, Mira-mira: *Gochnatia foliosa*, Murta: *Ugni molinae*, Oreganillo: *Teucrium bicolor*, Radal: *Lomatia hirsuta*, Vautro: *Baccharis macraei*, Zarzaparrilla: *Ribes trilobum*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

Figura 31: Longitud promedio de rebrotes en plantas que se encuentran regenerando vegetativamente en tala rasa de pino que estaría siendo convertida a bosque maulino con especies mixtas, distribuidas por especie, en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantaniillos), después del primer período de crecimiento vegetativo. Arrayán: *Luma apiculata*, Avellano: *Gevuina avellana*, Corcolén: *Azara integrifolia*, Corontillo: *Escallonia pulvurulenta*, Eucalipto: *Eucalyptus globulus*, hualo: *Nothofagus glauca*, Hued-Hued: *Gaultheria insana*, Leuncillo: *Escallonia leucantha*, Lingue: *Persea lingue*, Litre: *Lithraea caustica*, Mira-mira: *Gochnatia foliosa*, Murta: *Ugni molinae*, Oreganillo: *Teucrium bicolor*, Radal: *Lomatia hirsuta*, Vautro: *Baccharis macraei*, Zarzaparrilla: *Ribes trilobum*. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas (Prueba H de Kruskal-Wallis y prueba U de Mann-Whitney posteriormente, $p < 0,05$).

4. CONCLUSIONES

Se instalaron 87 parcelas de 100 m² cada una para muestreo permanente de los plantones establecidos y de la regeneración natural del bosque. Estas parcelas se encuentran marcadas en terreno para su fácil identificación. En estas parcelas también se marcaron 862 plantones (correspondientes a 721 plantones de hualo, 50 de peumo 40 de radial, 24 de maqui, 22 de litre y 5 de arrayán) en las actividades de recuperación bosque de hualo (plantación suplementaria y reforestación en tala rasa de pino). Además, en la plantación de quillay quedaron marcados 323 plantones. El establecimiento de estas parcelas y la marcación de los plantones permitirá mantener una evaluación en el tiempo del desempeño de las plantas (al menos en cuanto a supervivencia y crecimiento) y de la evolución del proceso de sucesión de la vegetación.

Por un lado, en las actividades para recuperar bosques de hualo, luego del primer período de crecimiento vegetativo, se puede observar que la supervivencia varía entre el 66,4 y el 86,3% del total instalado por parcela. La altura de las plantas puede llegar hasta 73 cm y el crecimiento para plantones de hualo puede llegar a ser mayor a 20 cm/temporada. Por otro lado, en la plantación de quillay, la supervivencia de plantones es casi del 100%, presentándose individuos que en promedio pueden llegar hasta los 96 cm en la parcela, mostrando crecimientos en altura que llegan a los 27,6 cm en promedio.

Respecto de la regeneración natural en los sectores del bosque de hualo afectado por el incendio forestal y de tala rasa de pino radiata, se presenta una alta riqueza de especies leñosas regenerando por semilla y de manera vegetativa. Las especies nativas que están mostrando alta capacidad de regenerar son mayoritariamente de hábito arbustivo. Estas especies, en su mayoría, ya habían sido descritas como precursoras o pioneras del bosque de hualo, después del abandono agrícola o de la acción de un agente de disturbio.

Sin embargo, lamentablemente en ambos sectores, la densidad de plantas de regeneración de pino proveniente de germinación por semilla fue estadísticamente mayor respecto al patrón mostrado por las otras especies. En el bosque de hualo afectado por el incendio, la densidad promedio de plantas de pino es de 64.600 plantas/ha y en el sector de tala rasa de pino, la densidad llega a 2.100 plantas/ha. Esta alta densidad de plantas de pino en el bosque de hualo afectado por el incendio podría estar mostrando un fuerte y alarmante patrón de invasión; mientras que, en la tala rasa de plantación de pino, podría estar generándose un proceso de mantención del bosque de pino en el tiempo. En ambos casos, debido a las altas tasas de crecimiento de pino para la zona, se podría esperar en el tiempo, que esta especie pueda sustituir el bosque de hualo y a perpetuar el bosque de pino en el sector que hoy presenta la tala rasa. Esto puede afectar la respuesta de los plantones instalados en proyecto de reforestación, y en cualquier proyecto en el que se piense reforestar o restituir el bosque natural, como medida de conservación.

La invasión e instalación de pino proveniente de germinación de semillas seguramente se está presentando de manera generalizada en toda el área afectada por los incendios forestales en la región del Maule. El bosque nativo en la región ya había sido clasificado en peligro, debido a su fuerte atomización y fragmentación. Actualmente, y atribuido a la invasión de pino, las quebradas y los pequeños parches de bosques se encuentran en gran

peligro de continuidad en el tiempo. Por lo tanto, es urgente comenzar a realizar medidas de control de la invasión de pino en estos fragmentos, además de continuar con procesos de reforestación con especies arbóreas del bosque nativo, para perpetuar la posibilidad de mantención de este tipo de bosque.

Por último, la respuesta de quillay es muy favorable, tanto en supervivencia como en crecimiento. Esto puede ser evaluado como un buen comienzo para potenciar el uso de esta especie arbórea nativa de manera sustentable, lo que posibilita diversificar la matriz del mercado forestal en la región y, al mismo tiempo, puede fomentar el desarrollo de actividades de adaptación frente al cambio climático.

Es vital continuar el desarrollo de actividades de monitoreo, para poder medir los patrones de establecimiento y crecimiento de plantas y el proceso de regeneración natural y asistida. De esta manera se pueden tomar rápidamente medidas de corrección y de adaptación.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

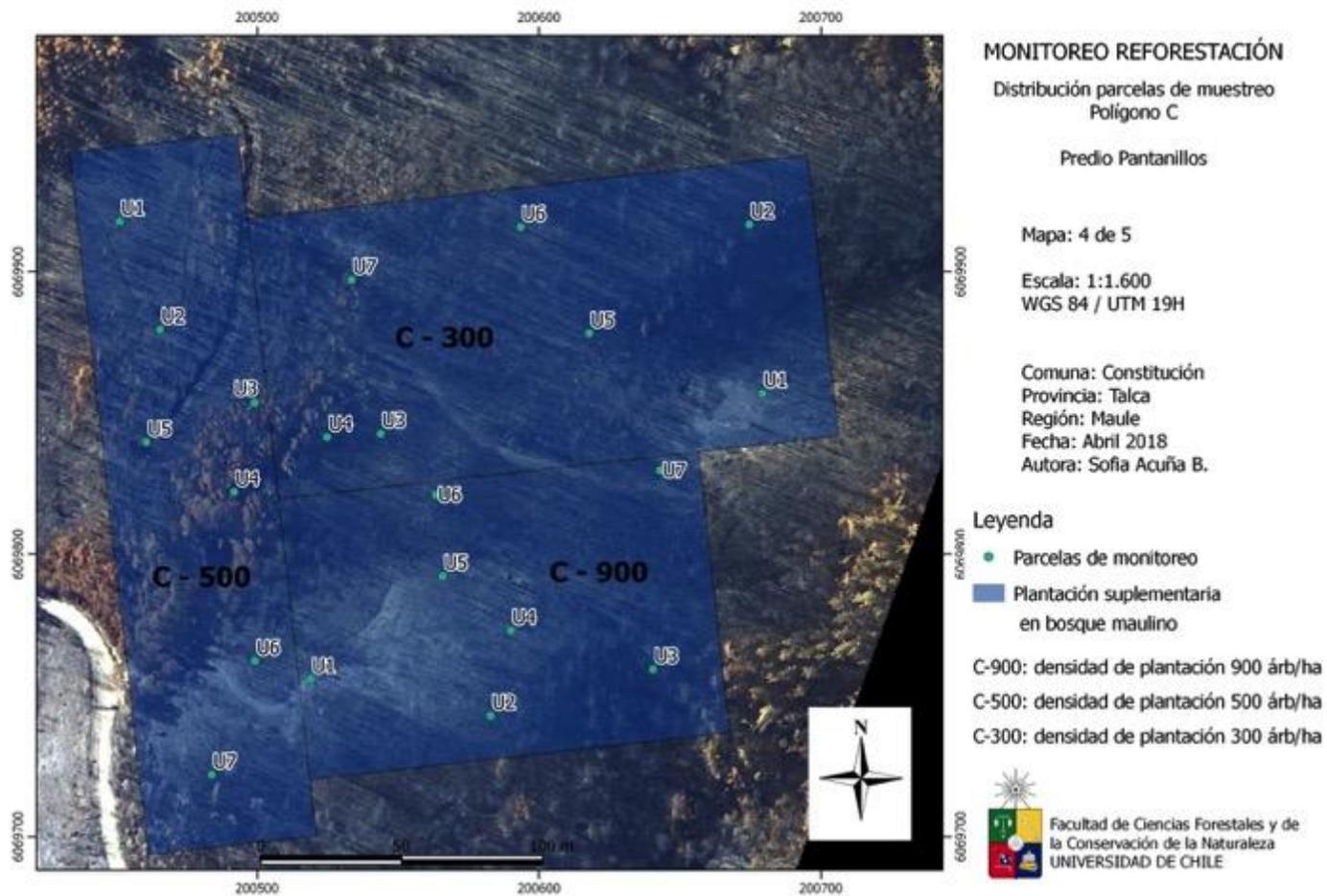
- AGRIMED (Centro de Agricultura y Mediomambiente). 2017. Atlas Agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y del Maule. Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y Universidad de Chile. Santiago, Chile. 208 p.
- Castellnou, M., Álvarez, R., Almodóvar, J., Martins, F., Mayoral, P., Alfonso, L. y Basile, G. 2017. Informe técnico: Situación de incendios forestales en Chile entre enero-febrero 2017. Mecanismo de Protección Civil de la Unión Europea. 11 p.
- Castillo, M., Garfias, R., Bown, H., Ruiz, F., Mahias, E. y Hernandez, C. 2017. Informe técnico: Análisis de las afectaciones post-fuego en el Predio Pantanillos de la Universidad de Chile y recomendaciones de restauración. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 4 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2016. Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025, Chile. Eds. Moraga, J. y Sartori, A. Santiago, Chile. 239 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2017. Análisis de la afectación y severidad de los incendios forestales ocurridos en enero y febrero de 2017 sobre los usos de suelo y los ecosistemas naturales presentes entre las regiones de Coquimbo y Los Ríos de Chile. Informe Técnico. CONAF, Santiago, Chile. 56 p.
- CONAMA (Comisión Nacional Medio Ambiente). 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe Final. Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 63 p.
- Cruz, G. 2013. Propuesta silvicultural para el manejo sustentable con fines industriales en bosques naturales con quillay (Quillaja saponaria) en Chile central. En: Donoso, P. y Promis, A. (eds.). Silvicultura en Bosques Nativos. Avances en la investigación en Chile, Argentina y Nueva Zelandia. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile. pp. 19-37.
- Donoso, C. 2015. Estructura y dinámica de los Bosques del Cono Sur de América. Ed. Universidad Mayor. Santiago, Chile. 406 p.
- Echeverría C., Coomes D., Salas, J., Reyes-Benayas, J.M., Lara, A. y Newton, A. 2016. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate forests. *Biological Conservation* 130: 481-494.
- González, M.E., Lara, A., Urrutia, R. y Bosnich, J. 2011. Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33° - 42° S). *Bosque* 32(3): 215-219.

- Jansen, M., Döring, C., Ahrends, B. *et al.* 2008. Anpassungsstrategien für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung unter sich wandelnden Klimabedingungen – Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems “Wald und Klimawandel” (DSS-WuK). *Forstarchiv* 79: 131-142.
- Julio, G. 2008. Manejo del fuego. En: Hernández, J., De la Maza, C. y Estades, C. (eds.). *Biodiversidad: Manejo y conservación de recursos forestales*. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. pp. 405-435.
- López, G. 2010. Evaluación de la biodiversidad en paisajes antropogénicos. En: Bustamante, R.O. y Bachmann, P.L. (eds.). *Historia natural del bosque maulino. Disectando la biodiversidad en un paisaje antropogénico*. Alvimpress, Santiago, Chile. pp. 7-13.
- Luebert, F. y Pliscoff, P. 2017. *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 381 p.
- Marquez, A. 1992. Bases para la formulación de un plan de desarrollo en los predios experimentales “Las Brisas” y “Pantanillos”, VII Región. Memoria para optar a título profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 76 p.
- MINSEGPRES (Ministerio Secretaría General de la Presidencia). 2007. Decreto 151. Oficializa primera clasificación de especies silvestres según estado de conservación. Santiago, Chile.
- MOP (Ministerio de Obras Públicas). 2004. Diagnóstico y clasificación de cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Maule. Cade-Idepe Consultoes. Dirección General de Aguas. 146 p.
- Olave, P. 2011. Análisis comparativo de la diversidad florística en rodales de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) y hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser) en la Estación Experimental Dr. Justo Pastor León. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 67 p.
- Olivares, S. 2017. Informe proyecto reforestación en predio Pantanillos afectado por megaincendio del verano del 2017, Región del Maule. Fundación Reforestemos.
- Promis, A. 2010. Silvicultura y manejo forestal en miras de la adaptación de los bosques al cambio climático. *Revista Bosque Nativo* 45: 9-12.
- Promis, A. y Cruz, G. 2017. Diseño reforestación bosque maulino en Estación Experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos). Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Rundel, P.W. 1998. Landscape disturbance in mediterranean-type ecosystems: An overview. In: Rundel, P.W., Montenegro G. y Jaksic F.M. (eds.). *Landscape*

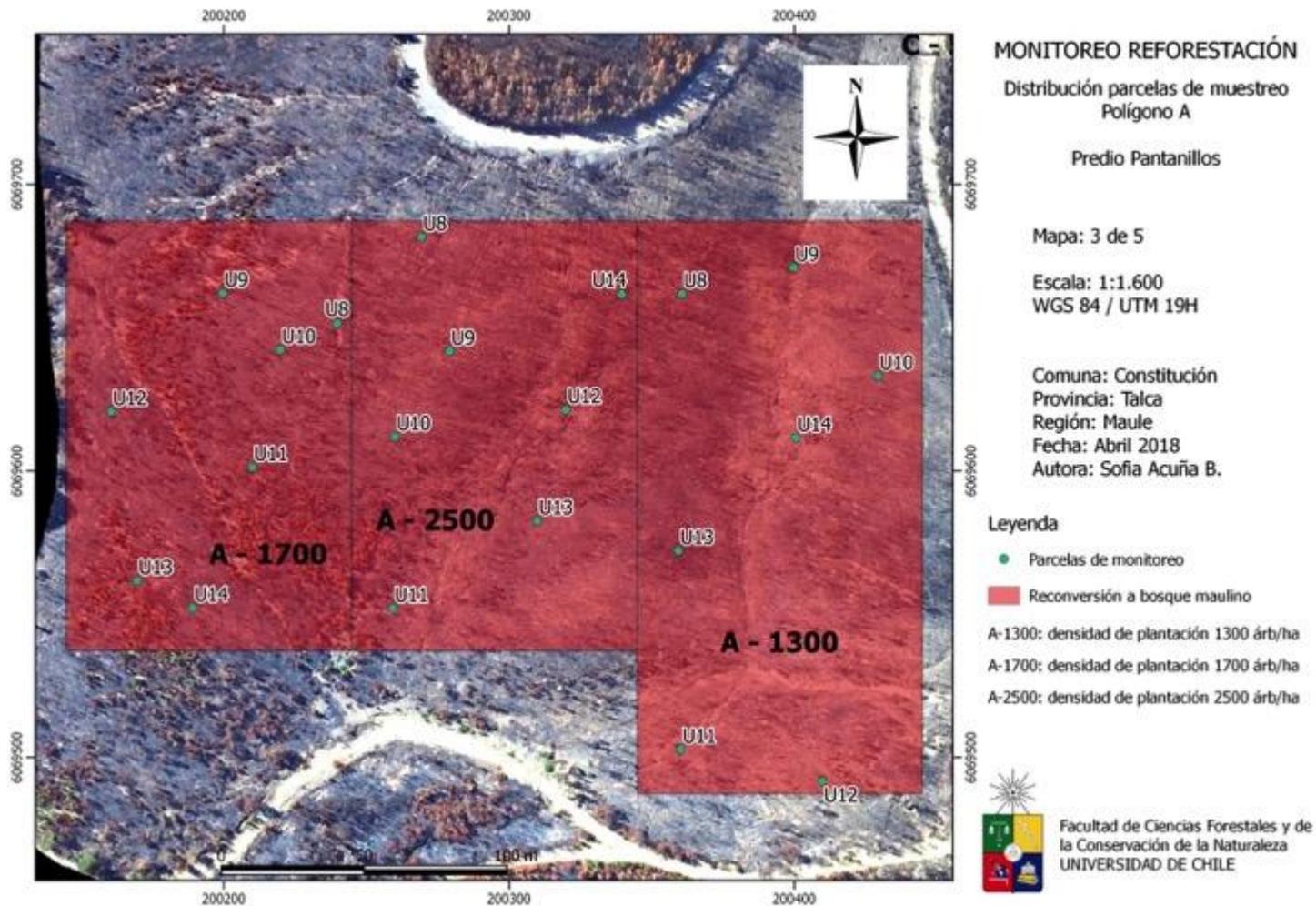
- disturbance and biodiversity in mediterranean-type ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, Alemania. pp. 3-22.
- Saldias, M. 2017. Programa de investigación en restauración de bosque maulino. Caso de estudio predio Pantanillos, Región del Maule, Chile. Proyecto de grado para optar al grado de Magíster en Areas Silvestres y Conservación de la Naturaleza. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 131 p.
- San Martín, J. y Donoso, C. 1995. Estructura florística e impacto antrópico en el bosque maulino de Chile. Capítulo 8 de Ecología de los bosques nativos de Chile. Eds. Amesto, J., Villagrán, C., y Arroyo, M. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 153-168 p.
- San Martín, J. y Gómez, P. 2010. Historia, concepto y uso del bosque maulino. En: Bustamante, R.O. y Bachmann, P.L. (eds.). Historia natural del bosque maulino. Disectando la biodiversidad en un paisaje antropogénico. Alvimpress, Santiago, Chile. pp. 73-82.
- Seidl, R., Thorn, D., Kautz, M. *et al.* 2017. Forest disturbance under climate change. *Nature Climate Change* 7: 395-402.
- Sokal, R.R. y Rohlf, F.J. 2000. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. Third Edition. W. H. Freeman and Company, New York.
- Spittlehouse, D.L. y Stewart, R.B. 2003. Adaptation to climate change in forest management. *B.C. Journal of Ecosystems and Management* 4(1): 7-17.
- Thom, D. y Seidl, R. 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 91(3): 760-781.
- Úbeda, X. y Sarricolea, P. 2016. Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change* 146: 152-161.

6. ANEXOS

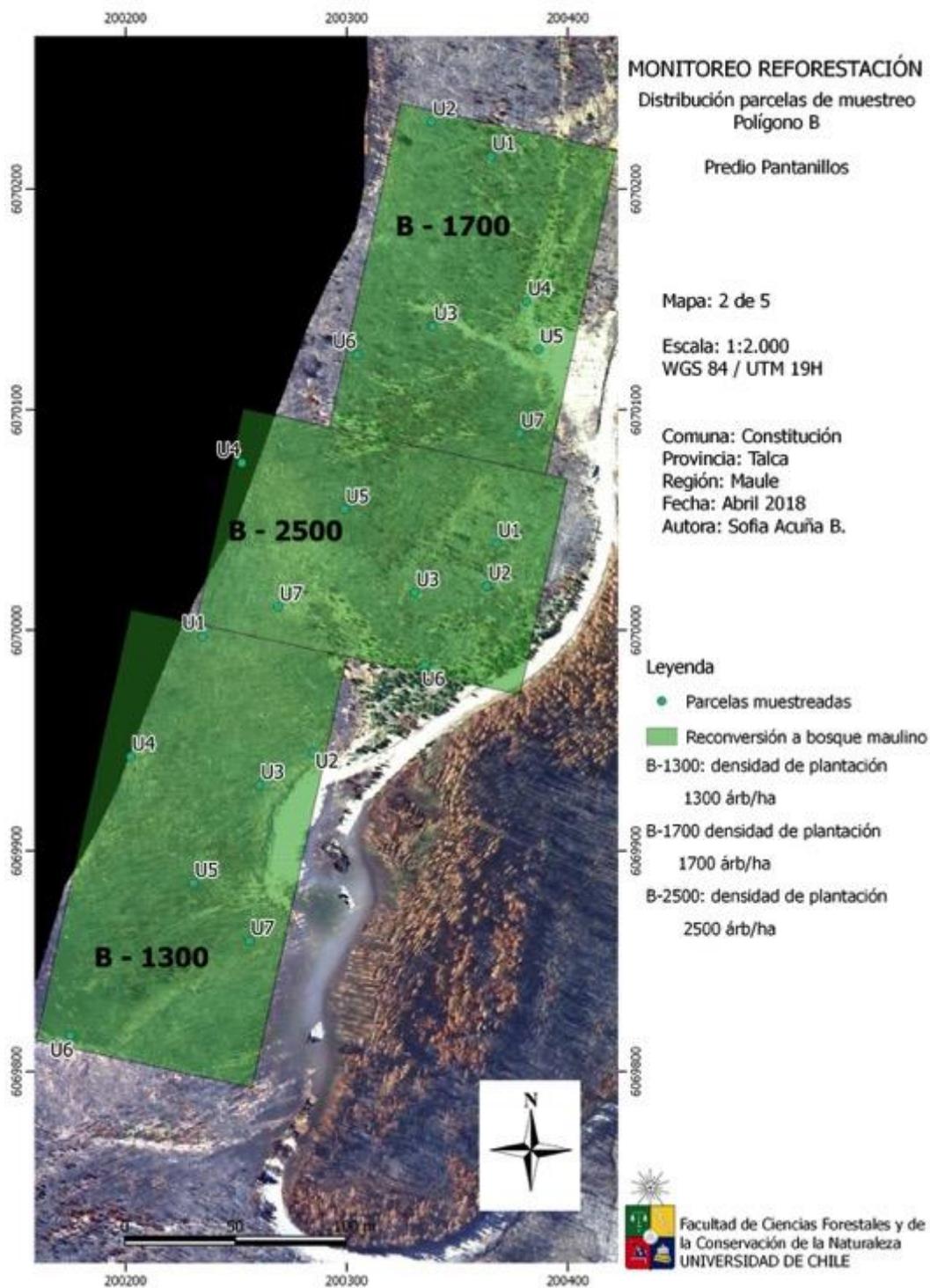
Anexo 1: distribución de parcelas para el monitoreo de plantación suplementaria en bosque maulino



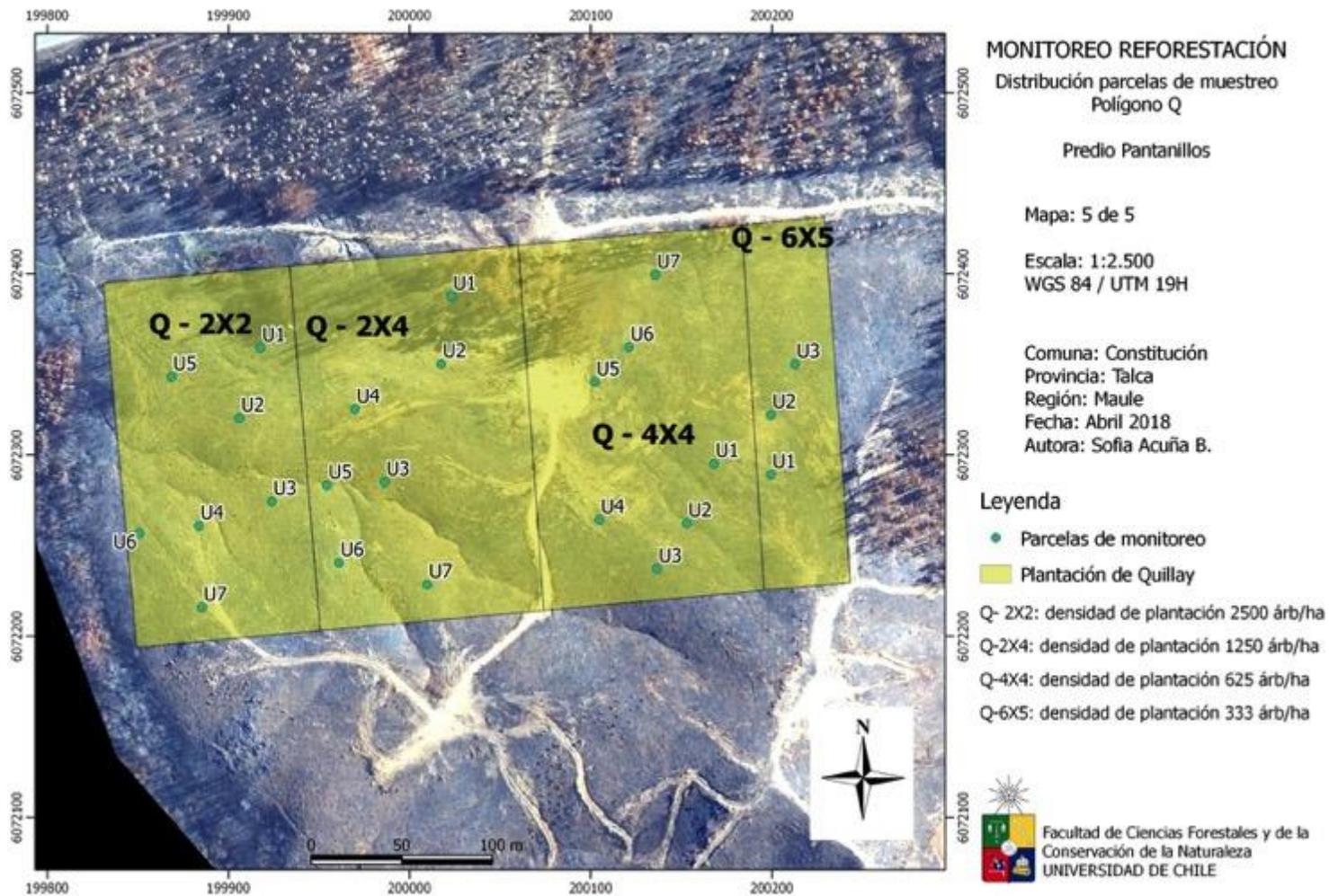
Anexo 2: distribución de parcelas para el monitoreo de reconversión a bosque maulino en sector A



Anexo 3: distribución de parcelas para el monitoreo de reconversión a bosque maulino en sector B.



Anexo 4: distribución de parcelas para el monitoreo de plantación de Quillay en sector Q



Anexo 5: Formulario de caracterización ambiental utilizado para cada tratamiento.

FORMULARIO DE CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

Parcela (Unidad muestra – Densidad – Sector)								
Variable	1	2	3	4	5	6	7	8
Altitud m.s.n.m.								
Exposición (°)								
Pendiente (%)								
Cobertura vegetal (%)								
Posición topográfica								
Forma de la pendiente								
Pedregosidad superficial (%)								
Tipo de sustrato								

Parcela 1: _____ Observación: _____

Parcela 2: _____ Observación: _____

Parcela 3: _____ Observación: _____

Parcela 4: _____ Observación: _____

Parcela 5: _____ Observación: _____

Parcela 6: _____ Observación: _____

Parcela 7: _____ Observación: _____

Parcela 8: _____ Observación: _____
