



Proyecto 008/2016

Pautas de terreno para la restauración de formaciones esclerófilas afectadas por incendios forestales. Regiones V, Metropolitana, VI y VII



Proyecto 008/2016

Pautas de terreno para la restauración de formaciones
esclerófilas afectadas por incendios forestales.
Regiones V, Metropolitana, VI y VII

financiado por

Fondo de Investigación del Bosque Nativo

Investigador(a) Responsable

Miguel Eduardo, Castillo S.¹, Dr.

Co-investigador (es)

Guillermo Julio A. Dr., Roberto Garfias S. MC.,
Horacio Bown I. Dr., Antonio Vita A.

Institución Patrocinante

Universidad de Chile. Facultad de Ciencias
Forestales y de la Conservación de la Naturaleza

Octubre, 2019

Santiago, Chile

¹Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile.

AGRADECIMIENTOS

El investigador responsable desea en primer lugar, agradecer al Fondo de Investigación del Bosque Nativo por promover y apoyar permanentemente esta investigación. A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Chile por facilitar todo el proceso administrativo entre ambas instituciones. También a la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile por otorgar las facilidades necesarias en toda la etapa del proyecto. Especial mención para el personal técnico y administrativo, especialmente a la Sra. Marjorie Michea y Consuelo Vásquez. El equipo de investigadores desea también expresar sus agradecimientos a la empresa ARAUCO S.A., y de manera muy especial a las Srtas. Valentina Bobadilla, Carolina Rojas y al Sr. Boris Fica, por otorgar todas las facilidades necesarias para el establecimiento de obras físicas y labores de enriquecimiento de especies en sus áreas protegidas con bosque nativo, y que fueron afectadas por incendios de vegetación. Así también deseamos agradecer a diversas personas que colaboraron en la entrada a diversos predios y facilitar además las mediciones, en las cuatro regiones de este proyecto. Una parte importante del trabajo realizado, se sustentó en el aporte de memorantes de pregrado y tesis de postgrado. Nuestros agradecimientos para Emilio Mahias, Macarena Lara, Iván Castillo, Raúl Díaz, Laura Galaz, Allam González, Nicole Ávalos, Carol Ugarte, Diego Acevedo, Rodrigo Mazzarelli, Álvaro Zambrano, Paula Basualto y Victoria Tellez. A todas y todos, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDOS

Ítem	Título / subtítulo	Pág.
1	Resumen	1
2	Introducción	1
3	Marco teórico	2
3.1	Referencias	2
3.2	Contexto y etapas de la restauración post-incendios	4
3.3	Estudios sobre vegetación post-fuego en Chile Central	5
4	Hipótesis	7
5	Objetivos	7
6	Metodología	8
6.1	Área de estudio	8
6.2	Fuentes de información	10
6.2.1	Evaluación física del área de estudio	10
6.2.2	Estudio de la vegetación	10
6.2.3	Referencias previas para la restauración	10
6.2.4	Artículos científicos	10
6.2.5	Bases geográficas de datos y documentales	10
6.3	Métodos aplicados	11
6.3.1	Objetivo específico 1	11
6.3.1.1	Delimitación espacial formaciones de bosque y matorral esclerófilo.	12
6.3.1.2	Muestreos de campo para las áreas seleccionadas	14
6.3.1.2.1	Fase I. Elección de las áreas	14
6.3.1.2.2	Fase II. Mediciones en terreno (parcelas muestra y testigo)	15
6.3.2	Objetivo específico 2	17
6.3.3	Objetivo específico 3	18
6.3.3.1	Elección de sectores recientemente quemados	19
6.3.3.2	Consideración de criterios de accesibilidad	19
6.3.3.3	Los bosques y matorrales afectados deben ser también pre-evaluados	19
6.3.4	Objetivo específico 4	21
7	Resultados	22
7.1	Región metropolitana	22
7.2	Quinta región	28
7.3	Sexta región	34
7.4	Séptima región	40
7.5	Continuación del muestreo de campo para las áreas estudiadas	46
7.6	Caracterización en campo de las afectaciones	55
7.7	Seguimiento de la vegetación muestreo. Nov 2017-Mar 2018	62
7.7.1	Quinta región	63
7.7.2	Sexta región	70
7.7.3	Séptima región	79
7.8	Consideraciones de campo, indicadores de riqueza y abundancia	113
7.9	Discusión sobre resultados de riqueza y abundancia	114
7.10	Caracterización en campo de las afectaciones, para cada región	115
7.10.1	Vínculo de las afectaciones con las opciones de restauración	119
7.10.2	Representatividad de los resultados	120
7.10.2.1	Situación 1: Matorrales caducifolios	120
7.10.2.2	Situación 2: Matorral mixto	121
7.10.2.3	Situación 3: Matorral esclerófilo siempreverde	121

Ítem	Título / subtítulo	Pág.
7.11	Elaboración de pautas para la restauración	123
7.11.1	Primera Pauta de terreno: Ensamble de especies	123
7.11.2	Segunda Pauta de terreno: Medidas Silvícolas	127
7.11.2.1	Sector quemado	128
7.11.2.2	Sector no quemado	129
7.11.3	Tercera pauta: Propuesta de intervenciones silviculturales	130
7.11.3.1	Tratamiento de ejemplares quemados	130
7.11.3.2	Tratamiento del nuevo rebrote	130
7.11.3.3	Enriquecimiento	131
7.11.3.3.1	Sector quemado	132
7.11.3.3.2	Sector no quemado	136
7.11.3.4	Tratamiento del rebrote en desarrollo	137
7.12	Seguimiento y pronóstico de peligro post-restauración	137
7.12.1	Región Metropolitana	138
7.12.2	Región de Valparaíso	139
7.12.3	Región de O'Higgins	140
7.12.4	Región del Maule	143
7.13	Operativización de las pautas de terreno	146
7.14	Tabla de costos	157
7.15	Elaboración de la cartografía de peligro	159
7.15.1	Resultados	160
7.15.1.1	Análisis a macro escala	160
7.15.1.2	Análisis a micro escala	172
7.15.1.3	Discusión de resultados (cartografía de peligro)	179
8	Conclusiones	184
9	Bibliografía	185

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Pág.
Cuadro 1	Resultados correspondientes a existencias de bosque y matorral esclerófilo para el área de investigación	13
Cuadro 2	Detalle de las fechas para los incendios estudiados en cada región	15
Cuadro 3	Detalle de la ubicación espacial de las parcelas muestra y piloto.	16
Cuadro 4	Ejemplo de calificación del impacto provocado por incendios, sectorizado	20
Cuadro 5	Antecedentes área de prospección Cuesta Barriga	22
Cuadro 6	Antecedentes área de prospección San José de Maipo	25
Cuadro 7	Antecedentes área de prospección Rodelillo	28
Cuadro 8	Antecedentes área de prospección Limache	31
Cuadro 9	Antecedentes área de prospección en La Estrella	34
Cuadro 10	Antecedentes área de prospección en El Toco	37
Cuadro 11	Antecedentes área de prospección en Ovejería (Maule)	40
Cuadro 12	Antecedentes área de prospección Nirivilo	43
Cuadro 13	Detalle de la ubicación espacial de las parcelas muestra y piloto, para el sector Los Coipos, Comuna de Lolol	46
Cuadro 14	Afectaciones clasificadas, para el sector Los Coipos, Región del Maule	47
Cuadro 15	Caracterización de la comunidad de especies en proceso de recuperación post-incnedios para cada zona de muestreo.	53
Cuadro 16	Antecedentes de los sectores evaluados	55
Cuadro 17	Identificación de Modelos de Combustible	56
Cuadro 18	Valores de la Velocidad de Propagación Lineal en los ocho sectores	56
Cuadro 19	Cálculo de la Intensidad Calórica Lineal (kcal/m/seg)	57
Cuadro 20	Cálculo de la Longitud de la Llama (en metros)	57
Cuadro 21	Referencias para el proceso de restauración de cada una de las áreas prospectadas	59
Cuadro 22	Antecedentes de los sectores evaluados. Período Noviembre de 2017 – Marzo de 2018	62
Cuadro 23	Diferenciación de rasgos funcionales de especies propuestas para los ensambles	126
Cuadro 24	Tabla de costos (pesos chilenos)	157
Cuadro 25	Tabla de costos (Uf al 11-7-2019)	157
Cuadro 26	Detalle de variables y puntajes asignados	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Pág.
Figura 1	Área de estudio. Se indican las localizaciones de las ocho parcelas establecidas para las mediciones	9
Figura 2	Representación gráfica de localización de parcelas de muestreo	17
Figura 3	Representación gráfica de localización de parcelas de muestreo. El área se localiza en la Comuna de Hualañé, límite norte (Región del Maule) con Sur de la Región de O'Higgins (Comuna de Lolol)	46
Figura 4	Escala de degradación y tipo de medidas requeridas, contextualizada a los resultados obtenidos para bosque y matorral esclerófilo	52
Figura 5	Tipos de vegetación del bosque esclerófilo de las localidades monitoreadas entre el 2017 y 2018. El dendrograma muestra las disimilitudes florísticas entre las parcelas levantadas en las localidades de Los Coipos (LC), Limache (LI), Nirivilo (NI) y El Toco (ET)	116
Figura 6	Estructura de los diferentes tipos de bosques (de matorral caducifolio a matorral esclerófilo. Acorde al análisis de composición y cobertura vegetal en diferentes estratos de las localidades analizadas. El modelo de matorral esclerófilo siempre-verde es hipotético	119
Figura 7	Ensamble de especies para matorrales caducifolios (muy degradados). Izquierda: antes de plantar, Derecha: después de plantar	123
Figura 8	Ensamble de especies para matorrales mixtos (degradados). Izquierda: antes de plantar, Derecha: después de plantar	124
Figura 9	Ensamble de especies para matorrales esclerófilos (degradados). Izquierda: antes de plantar, Derecha: después de plantar	125
Figura 10	Nivel de referencia para la asignación de la escala de severidad, en combinación con el modelo de Whisenant	136
Figura 11	Descripción de casillas de plantación	147
Figura 12	Sinóptica de peligro de incendios forestales, considerando las características de la vegetación combustible.	162
Figura 13	Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región de Valparaíso, considerando las características de la vegetación combustible	163
Figura 14	Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región de Valparaíso, para bosque y matorral esclerófilo, considerando las características de la vegetación combustible.	164
Figura 15	Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región Metropolitana, considerando las características de la vegetación combustible	165
Figura 16	Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región Metropolitana, en bosque y matorral esclerófilo, considerando las características de la vegetación combustible	166

Figura	Título	Pág.
Figura 17	Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región de O´Higgins, considerando las características de la vegetación combustible	167
Figura 18	Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región de O´Higgins, en bosque y matorral esclerófilo, considerando las características de la vegetación combustible	168
Figura 19	Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región del Maule, considerando las características de la vegetación combustible	169
Figura 20	Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región del Maule, en bosque y matorral esclerófilo, considerando las características de la vegetación combustible	170
Figura 21	Composición del peligro potencial de incendios forestales en bosque y matorral esclerófilo, para todas las comunas del área en estudio	171
Figura 22	Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Cuesta Barriga	173
Figura 23	Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Limache	174
Figura 24	Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector La Estrella	175
Figura 25	Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Rodelillo	176
Figura 26	Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Pichidegua	177
Figura 27	Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Cajón del Maipo	178
Figura 28	Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Ovejería	179
Figura 29	Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Nirivilo	180

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Título	Pág.
Fotografía 1	Sector quemado (derecha) y no quemado (arriba izquierda).	127
Fotografía 2	Vista general del espinal quemado	128
Fotografía 3	Área descubierta con cuevas de cururo	128
Fotografía 4	Ejemplar de <i>Schinus latifolius</i> sobresaliendo sobre el espinal	129
Fotografía 5	Sector no quemado	129
Fotografía 6	Vista general del sector quemado, punto 1	132
Fotografía 7	Vegetación Punto 1	132
Fotografía 8	Punto 1. Vigoroso rebrote de boldo	133
Fotografía 9	Vegetación Punto 2	133
Fotografía 10	Vegetación Punto 3	134
Fotografía 11	Punto 4. Quillay semiquemado, con rebrote parcial	134
Fotografía 12	Parte alta de sector no quemado, con presencia de espino	135
Fotografía 13	Especies esclerófilas en parte baja, sector quemado	135
Fotografía 14	Determinación de las áreas y distribución de los bosquetes	145
Fotografía 15	Área de trabajo. Ubicación de los bosquetes y del letrero	146
Fotografía 16	Despeje del terreno donde se emplazarán los bosquetes	146
Fotografía 17	Despeje para confección de casillas para la plantación	148
Fotografía 18	Confección de casillas para la plantación	148
Fotografía 19	Plantación de ejemplares de <i>Quillaja saponaria</i> .	149
Fotografía 20	Ejemplares de <i>Quillaja saponaria</i> plantados en el lugar	149
Fotografía 21	Ejemplar de <i>Acacia caven</i> plantado en el lugar	150
Fotografía 22	Ejemplar de <i>Schinus polygamus</i> plantado en el lugar	151
Fotografía 23	Ejemplar de <i>Peumus boldus</i> plantado en el lugar	151
Fotografía 24	Ejemplar de <i>Baccharis linearis</i> plantado en el lugar	152
Fotografía 25	Término de la plantación e instalación de Protecciones	153
Fotografía 26	Micrositio de plantación con las protecciones individuales	153
Fotografía 27	Vista general del área de ensayo	154
Fotografía 28	Letrero del proyecto instalado en el lugar	154
Fotografía 29	Trozado de los polines. Predio Los Coipos	155
Fotografía 30	Instalación de empalizada. Predio Los Coipos	155
Fotografía 31	Empalizada terminada. Predio Los Coipos	155

1.- Resumen

El presente proyecto se enmarca en el ámbito de la ecología del fuego en ecosistemas mediterráneos y las opciones de restauración de formaciones vegetales afectadas por el impacto de los incendios forestales. Para ello se consideraron cuatro regiones de Chile Central: Metropolitana, Valparaíso, O'Higgins y Maule. En este territorio se definieron ocho áreas de trabajo (dos por cada región), con el fin de realizar análisis sobre impactos del fuego, sus parámetros de peligro en relación al comportamiento potencial de futuros incendios forestales, y también pautas para la recuperación del entorno mediante la implementación de obras físicas y enriquecimiento de especies. De las distintas etapas de este proyecto fue posible generar información relevante sobre combinación de especies, semillas, tratamientos y pautas de campo necesarias para apoyar la restauración en zonas afectadas a distintas escalas de severidad del fuego. Se generaron publicaciones y memorias de pregrado y de magíster, orientadas a esta línea de trabajo.

2.- Introducción

La literatura especializada concuerda que en cualquier propuesta de restauración y rehabilitación, es necesario, como primer paso, establecer las condiciones de referencia en función de las cuales se definirán los objetivos y sus acciones estratégicas, independiente al factor original que ocasionó el disturbio. En el caso de los efectos derivados de la acción del fuego, este proceso contempla como primera etapa la definición de las condiciones meta, basadas fuertemente en la composición original y futura de especies vegetales y la estructura de las comunidades restauradas, en función de los ecosistemas que han sido afectados (Jordan *et al.* 1987; Whisenant 1999; Wagner *et al.*, 2000). Esto hace necesario introducir un componente de investigación aplicada a la restauración, centrada en aspectos tales como la caracterización de la vegetación en áreas poco alteradas, y el entendimiento de patrones del paisaje y procesos de regeneración natural y sucesión.

En líneas generales la etapa de la restauración se inicia con la presencia de un ecosistema alterado, hacia un estado futuro esperado, que es la recuperación ecológica (SER, 2004). Ello implica la definición de un ecosistema de referencia que sirve de modelo para planificar un proyecto de restauración ecológica (Machado, 2001; Navarro *et al.*, 2008) y posteriormente para la evaluación de éste. Este es un proceso que debe ser evaluado y monitoreado constantemente, de manera de verificar los procesos de adaptación y cambios, en los distintos componentes del paisaje objetivo (Parminter y Daigle, 1997; Turner *et al.*, 2003). En esta cadena de etapas, se hace necesario considerar la estructura y composición de especies que conforman el ecosistema afectado, para con ello establecer las condiciones por las cuales pueden establecerse medidas activas o pasivas como apoyo a los procesos de regeneración o germinación según sea el caso, considerando que en la mayoría de los ecosistemas afectados por el fuego requieren necesariamente la implementación de pautas para el establecimiento de especies, evitar la pérdida de productividad del suelo y colaborar en el

proceso de recubrimiento frente a efectos inmediatos post-incendio, entre ellos las lluvias, el ramoneo y pisoteo del ganado.

En la práctica, las tareas de restauración implican la adopción de una variedad de acciones físico-mecánicas, cuyos efectos en el ambiente se manifestarán dependiendo de la extensión y duración de las perturbaciones pasadas (Turner *et al.* 2003; Fernández *et al.* 2010). En muchos casos, la restauración implica eliminar por completo una alteración específica, de manera de permitir que los procesos ecológicos se recuperen por sí solos.

Autores dedicados al estudio de comunidades vegetales alteradas por disturbios – entre ellos los incendios forestales – coinciden en que aun cuando las labores de restauración de paisajes se efectúe con extrema dedicación y rigurosidad, difícilmente se lograrán restablecer por completo los procesos naturales originales sobre un ecosistema no acostumbrado a disturbios por sobre la capacidad de recuperación natural (Quintanilla, 1999; Machado, 2001; Montenegro, 2004). En estos casos, se sugiere plantear intensidades o grados de logro en la cicatrización de paisajes y en el grado de recuperación de sus funciones biológicas.

En el contexto particular de este proyecto de investigación, lo que se promovió fue la caracterización de cubiertas vegetales nativas afectadas por incendios de propagación superficial a distintas fechas, extensión y grados de daños medidos por indicadores de campo. Las evidencias en terreno detallan el grado de recuperación a pocas semanas del fuego, aún cuando se presentan numerosos factores que para estas mediciones se excluyeron del análisis. Principalmente los efectos se midieron sobre la base de la regeneración vegetativa, aún cuando fue posible también evaluar el efecto individual y colectivo del potencial de germinación en condiciones experimentales para distintas especies presentes en el bosque esclerófilo de las cuatro regiones de Chile Central.

3.- Marco teórico

3.1 Referencias

En situaciones prácticas, es altamente conveniente señalar con precisión qué se entiende por *restauración*, por cuanto es frecuente utilizar este término cuando en realidad su marco de acción difiere de otras acciones que están estrechamente relacionadas a promover el mejoramiento de áreas degradadas. Por tal motivo se exponen a continuación las siguientes definiciones:

- *Áreas degradadas*: Jardel *et al.* (2003), califican las áreas degradadas como aquellas caracterizadas por poseer un gradiente desde áreas o sitios poco alterados hasta aquellos con un marcado grado de deterioro. De esta manera los sitios prioritarios para restauración son aquellos que presentan una clara disminución de la cobertura boscosa, acelerados por procesos de erosión, alteración del flujo hidrológico, y escasa a nula regeneración natural (Altieri y Rodríguez, 1974; Alcaraz, 1996). En el caso específico de los incendios, se consideran además aquellas zonas en donde existen evidencias de continuas

actividades antropogénicas que va en directo peligro de la conservación del patrimonio natural. También, el concepto de degradación se relaciona con cambios graduales o sutiles que reducen la integridad y la salud ecológica (Altieri y Soto, 1974; Rundell, 1977; Jardel *et al.* 2003). Un ecosistema afectado permanentemente por disturbios – como es el caso de la alta recurrencia de incendios sobre un mismo paisaje – queda destruido cuando la degradación o el daño elimina toda la vida macroscópica y, por lo general, también arruina el ambiente físico, por ejemplo el suelo, las cuencas hidrográficas y la conectividad entre sistemas de paisaje (Avila *et.al*, 1983; Mouillot *et.al*, 2003; Castillo, 2006). La transformación es la conversión de un ecosistema en otro tipo de ecosistema o uso de la tierra, por ejemplo, de bosque a agrícola o simplemente a áreas erosionadas sin uso sustentable (Brown *et.al*, 2004).

- *Restauración*: La restauración ecológica es el proceso de ayudar el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (Brown *et.al*, 2004; SER, 2004). En el contexto de los incendios forestales, Navarro *et al*, (2015) señalan que existe consenso en la génesis de esta definición, pero que en la práctica las decisiones o formas de restaurar difieren de acuerdo al contexto que se aplica. Por ejemplo, los sectores técnicos recomiendan una inmediata intervención sobre áreas quemadas, tanto en lo que se refiere a las labores de conservación del suelo y lucha contra fenómenos erosivos acelerados; así como sobre la vegetación, mediante actuaciones silvícolas y de repoblación forestal.

- *Paisaje*: Forman y Godron, 1986; Turner *et al.* 2003 y SER 2004, coinciden en su definición como un mosaico de dos o más ecosistemas que intercambian organismos, energía, agua y nutrientes. En vez de enfocarse en solamente un ecosistema, una buena parte de la restauración ecológica tiene como objetivo legítimo y muy importante de la reintegración de ecosistemas y paisajes fragmentados.

- *Recuperación*: La acción de restaurar, trae implícita la definición de "recuperar" (SER, 2004; Gergel y Turner, 2002; Subirós, 2006). Un ecosistema se ha recuperado – y restaurado – cuando contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda adicional. Este ecosistema se podrá mantener tanto estructural como funcionalmente (Gardner *et.al*, 1987). Demostrará capacidad de recuperación dentro de los límites normales de estrés y alteración ambiental. Interactuará con ecosistemas contiguos en términos de flujos bióticos y abióticos e interacciones culturales.

- *Rehabilitación*: Acción o conjunto de acciones físico-mecánicas conducentes a restablecer en zonas degradadas algunos elementos o servicios ecológicos importantes, y que fueron dañados parcial o totalmente antes o durante el proceso de disturbios (Gundale *et.al*, 2005; Castillo, 2006). Dependiendo de las condiciones locales, la rehabilitación puede ser parcial y no pretende forzosamente que sean homólogos a estados prístinos (Gustafson, 1998). Es un concepto muy amplio que involucra prácticas locales sobre el paisaje, en relación al tipo de disturbios que se presenten, la magnitud y recurrencia de ellos (Quintanilla, 2000; Rollins *et.al*, 2002). En este ámbito, es pertinente incluso hablar de "mejoras" de terrenos, remedios para impedir o aminorar el avance

de la erosión, mediante acciones concretas como el tratamientos de taludes en áreas contiguas a sectores quemados y arrastre de suelos, la revegetación con especies de la zona, o simplemente, la plantación con especies vegetales de rápido crecimiento, que sean acordes con la estética y armonía del paisaje que se desea recuperar.

3.2.- Contexto y etapas de la restauración post-incendios

Los daños y efectos físico-mecánicos producidos por la propagación del fuego, son una respuesta al tipo de vegetación que son objeto de su destrucción, como también a las condiciones topográficas y ambientales por las cuales el fuego se propaga. En tal sentido, el grado de intensidad calórica – algunos autores lo explican como intensidad del fuego – condiciona directamente la magnitud de los daños, colocando niveles de gravedad sobre los cuales es necesario planificar y sectorizar las acciones para la restauración. Luego de que un ecosistema es afectado por un incendio, se deben considerar dos fases para su recuperación. Una primera, a corto plazo, denominada *rehabilitación*, que debe ser ejecutada tan pronto como sea posible luego del siniestro (Vega, 2007), y una segunda a mediano y largo plazo, denominada *restauración*. En el primer caso, rehabilitar implica contrarrestar los efectos negativos inmediatos al disturbio, principalmente los derivados por la escorrentía superficial y erosión post fuego, como también en la recuperación de la productividad y servicios básicos del ecosistema (Fernández *et al.* 2010). Por otra parte, restaurar busca recuperar la estructura y funcionalidad de los ecosistemas, así como también su resiliencia al fuego. En ambos casos, las acciones a aplicar, son de carácter complementario, dependiendo de la magnitud de ellas, de la oportunidad de su aplicación y del contexto o tipo de paisaje que se desea rehabilitar.

Independiente al tipo de proyecto de restauración a abordar, existen tres fases o etapas ineludibles a aplicar, cada una de ellas con sus grados de énfasis en función de los objetivos a conseguir. Fernández *et al.* (2010), exponen las siguientes fases:

Planificación: la primera acción a realizar, es la neutralización paulatina o inmediata de aquellos factores que impiden la recuperación del ecosistema. Para el logro de este propósito, es necesario definir con mucha claridad las metas, sus objetivos, jerarquías y plazos factibles de cumplir, dentro de un calendario de planificación con fines de restauración. En esta actividad se hace necesario disponer de un conocimiento multidisciplinario y muy detallado del funcionamiento del ecosistema – en este caso paisajes vegetales nativos afectados por incendios – sus principales componentes y relaciones entre ellos, como asimismo la dinámica del funcionamiento individual y colectivo de cada parte del sistema a intervenir. En tal sentido, la propuesta técnica debe ir organizada de tal manera de cumplir con ciertos requisitos técnicos, que hagan factible su aplicabilidad: a) la viabilidad científica, b) viabilidad territorial, c) viabilidad técnica, d) viabilidad económica, e) viabilidad política, f) viabilidad social, y g) viabilidad política (Montes 2002, citado por Fernández *et al.*, 2010).

Implementación: La condición inicial necesaria para implementar medidas, es conocer muy bien el hábitat y condiciones del área a ser restaurada. En tal sentido, es imprescindible considerar las variables básicas ambientales como suelo, topografía, hidrología e hidrografía, la existencia de comunidades biológicas, el clima local y macro-clima, y un historial detallado de las principales perturbaciones (tipo, periodicidad e intensidad), a que ha sido objeto el área a restaurar. Luego de revisar todos estos antecedentes se estudian las especies candidato a utilizar y los métodos de preparación del sitio, como asimismo los mecanismos de auto-sustentación de las especies que quedarán en las nuevas condiciones de restauración. Otro aspecto necesario a considerar – como paso previo – es evaluar con la mayor precisión posible el grado de intensidad del daño que se hace manifiesto en el suelo, de manera de establecer el grado de supervivencia de las plantas a introducir, como asimismo de las técnicas de repoblación, ya sea a través de semillas (siembra directa), propágalos o transplante.

Monitoreo: Es quizás la etapa más relevante en la acción de restauración, por cuanto el monitoreo contempla el permanente cuidado de las acciones aplicadas, principalmente en la respuesta de las especies vegetales utilizadas y en el grado de recuperación que va experimentando el paisaje. El monitoreo es la herramienta que ayuda a determinar cuán bien el proyecto de restauración cumple con las metas y objetivos. Debe ser un proyecto práctico, técnicamente factible de aplicar, y con alta factibilidad de ser repetido en condiciones similares de paisaje.

3.3.- Estudios sobre vegetación post-fuego en Chile Central

La vegetación más común en la zona de clima mediterráneo de Chile Central corresponde a Matorral y Bosque Esclerófilo. En ella predominan los arbustos altos de hojas esclerófilas y arbustos bajos xerófitos, arbustos espinosos, suculentas y árboles esclerófilos, espinosos y laurifolios con gran desarrollo en altura. Esta vegetación, comprendida dentro de los ecosistemas mediterráneos, se extiende por las laderas de la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes, abarcando la depresión central. El estado actual del bosque esclerófilo en el área de esta investigación corresponde a un estado de tipo clímax regresivo (Quintanilla y Castro (1998); Castillo *et al* (2012, 2016), con comunidades de especies adaptadas a una estructura de bosque ralo y matorral degradado, con recurrencia en el dominio de especies invasoras de rápido crecimiento y patrones de regeneración acelerados. Becerra *et al* (2018), estudiaron los patrones de la regeneración natural, como también el efecto de la antigüedad y frecuencia de los incendios, y también el efecto de la herbivoría. En general la regeneración de especies leñosas es favorecida por el efecto dosel de las estratas superiores, y en menor grado a base de semillas o regeneración vegetativa cuando las plantas permanecen expuestas a la luz solar y el efecto de la compactación y ramoneo.

Las interacciones entre especies también han sido estudiadas por Sandoval (2016), quien relaciona la presencia de incendios con la composición y estructura de especies arbóreas. *Criptocarya alba* (peumo), *Peumus boldus* (boldo), *Lithraea*

caustica (litre) y *Quillaja saponaria* (quillay), presentan mayor dominancia en condiciones de bosque adulto y testimonios de incendios. *Colliguaja odorifera* (colliguay) y *Cestrum parqui* (parqui), conforman las especies arbustivas más frecuentes en bosques y matorrales post-incendios. En general, y luego de analizar varias condiciones de poblaciones y comunidades vegetales con presencia de incendios, la autora concluye que la vegetación del bosque esclerófilo se recupera después de incendios, aunque requiere varias décadas para ello.

Todas estas evidencias se desprenden de metodologías de seguimiento y evaluación basadas en indicadores de riqueza, abundancia y composición de especies en los estratos arbóreos y arbustivos. No obstante lo anterior, la evaluación geográfica que coloca el contexto general del estado de vulnerabilidad de este tipo de vegetación no está estudiado, y es necesario hacerlo. No hay referencias debidamente documentadas que expongan, por ejemplo, el efecto de los incendios sobre el estado de vulnerabilidad frente al peligro de nuevos eventos de fuego, o la disponibilidad de biomasa fina para el encendido inicial basado en una adecuada evaluación de la carga de combustible a distintas estructuras y edades de desarrollo. Estas son interrogantes que no han sido cubiertas, limitándose el análisis a la respuesta y resiliencia de las especies basado en indicadores de regeneración bajo distintas situaciones de sitio y efectos externos, como también en la riqueza y abundancia. Son estudios muy valiosos, y que deben ser complementados ahora con indicadores de vulnerabilidad para estimar la situación de estos remanentes frente al nuevo escenario hoy presente en relación a la expansión cada vez más violenta de los incendios forestales y por la necesidad de establecer mejores pautas para la silvicultura preventiva basada en el conocimiento del entorno en que se localizan estas formaciones vegetales. Este entorno es el que se analiza este proyecto, para establecer categorías de peligro y las posibilidades de restauración en aquellas áreas susceptibles de ser afectadas por nuevos incendios.

4.- Hipótesis

A través de la evaluación en campo del comportamiento potencial del fuego de la vegetación esclerófila localizada entre las latitudes 32°22' y 36°48' Sur, es posible desarrollar pautas de restauración en bosques y matorrales nativos afectados por incendios forestales, con criterios técnicos factibles de implementar en terreno, apoyados por criterios de evaluación directa y considerando aspectos de escala, temporalidad, gradualidad, costos y factibilidad técnica de implementación.

5.- Objetivos

Considerando las referencias anteriores, la importancia del proceso de restauración post-incendio, y el contexto en el cual esta materia se inserta en las estrategias de conservación y recuperación de bosques nativos, este proyecto propuso aportar al conocimiento práctico respecto a las pautas más apropiadas a ser aplicadas en distintos escenarios de restauración, considerando aspectos propios de la severidad de los daños, y del control preventivo del peligro de la vegetación residual y recuperada, frente al riesgo potencial de la presencia de nuevos incendios de vegetación nativa. Una propuesta de expresión cartográfica del peligro, aporta a los antecedentes sobre el estado proyectado de la carga de vegetación combustible y comportamiento potencial del fuego.

Dicho lo anterior, el material de esta investigación correspondió a las formaciones vegetales nativas de bosque y matorral esclerófilo presentes en la Zona Central de Chile, entre las latitudes 32°30'S y 36°48'S, particularmente en las regiones de Valparaíso, Metropolitana, Región de O'Higgins y del Maule. El investigador principal de este proyecto ha estudiado esta zona geográfica (Castillo *et al*, 2012), desde el punto de vista fitogeográfico en paisajes vegetales de vegetación nativa, y que además concentra importantes testimonios de reiterados incendios forestales en bosques mediterráneos y matorrales que actúan permanentemente como agentes modificadores del paisaje vegetal de Chile Central.

Por todos estos antecedentes, la importancia de este proyecto radicó en disponer de valiosos antecedentes de toda la zona geográfica de distribución de bosque mediterráneo afectado por incendios, con datos numéricos y estadísticos que han sido generados, por un lado, del Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile, y por otro, de importantes proyectos de investigación de estas áreas ya ejecutados y finalizados: Proyecto Fondecyt 1095048 sobre estudio de paisajes mediterráneos afectados por el fuego (2009-2012), y el Proyecto Conaf 006/2013 (2013-2015) sobre programa de capacitación para la Ley 20.283 en donde se hace clara referencia al recurso bosque y su vínculo permanente con el problema de la ocurrencia y daños a formaciones vegetales nativas producto de la acción del fuego. Los estudios formalmente realizados en esta zona geográfica se remiten a estudios de caso de formaciones vegetales específicamente localizadas en zonas de alta sensibilidad ecológica.

En consecuencia a lo anteriormente expuesto, se planteó como objetivo general, la proposición de pautas de reducción del peligro de incendios forestales

y acciones de campo para la restauración de formaciones vegetales nativas de tipo esclerófilo afectadas por el fuego en cuatro regiones de Chile Mediterráneo, entre las latitudes 32°22' y 36°48' Sur.

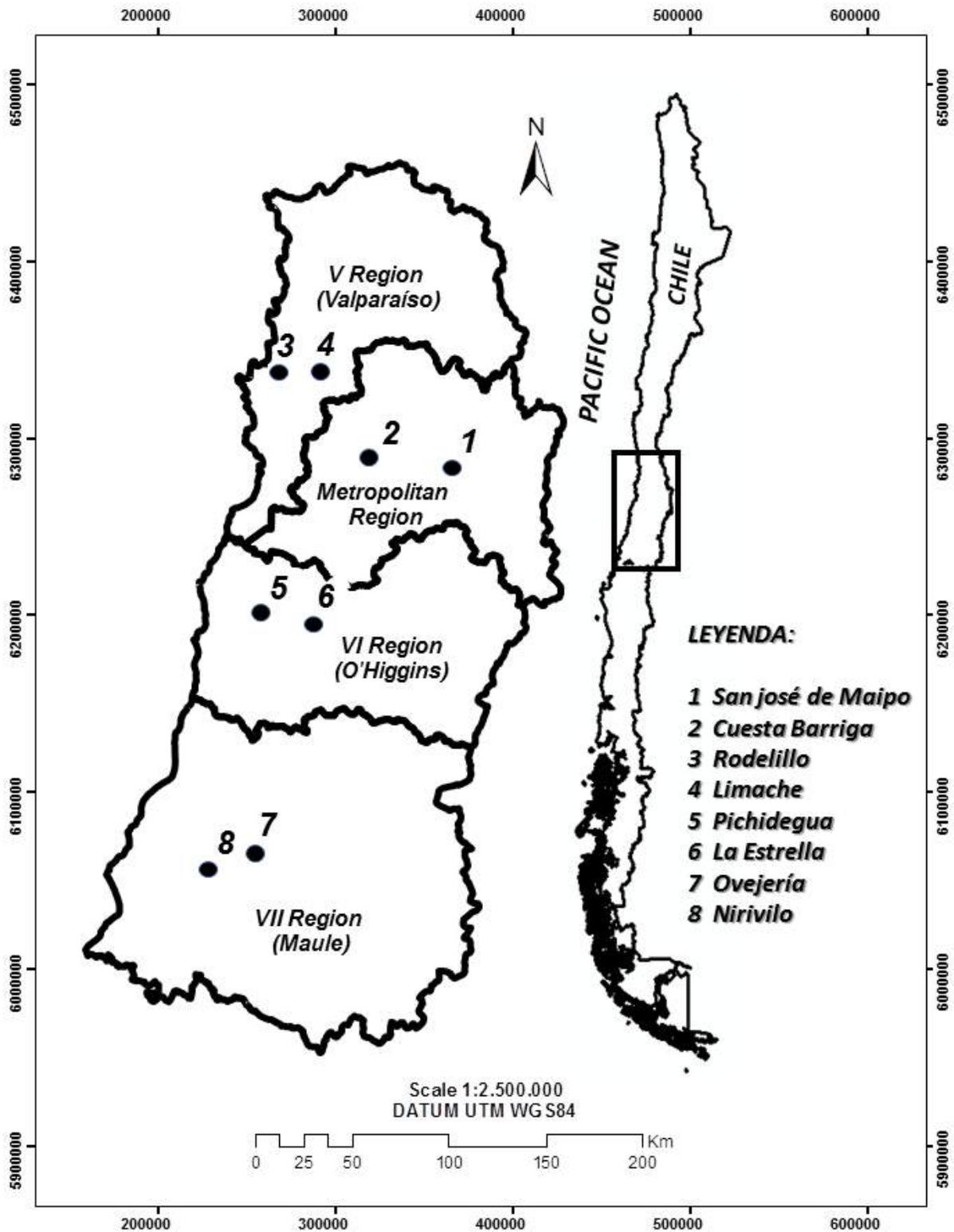
Como objetivos específicos, propusimos aportar al conocimiento detallado del nivel peligro de incendios que poseen las distintas formaciones de bosque y matorral esclerófilo en el área de investigación, para que sirvan como antecedentes útiles y vinculantes en la elaboración pautas de restauración, si es que el fuego se hace presente. También elaborar una cartografía de peligro potencial de incendios. Estos resultados también permiten proponer pautas de restauración de vegetación de bosque y matorral esclerófilo afectados por incendios forestales, considerando los conceptos de intensidad (basada en el peligro de incendios), severidad, escala geográfica, temporalidad, costos asociados y factibilidad técnica de implementación. Finalmente se propuso desarrollar un protocolo de seguimiento y análisis de peligro potencial de incendios en condiciones post-fuego, vinculante con las medidas de restauración aplicadas.

6.- Metodología

6.1.- Área de estudio

La delimitación geográfica 32°22'-36°48'S corresponde a un área con ocurrencia permanente de incendios de vegetación nativa, cuya dinámica espacial y temporal ha sido estudiada considerando testimonios documentales y estadísticos recabados por el Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile, por estudios ejecutados en estas mismas áreas por Castillo (2006, 2013), y también por sucesivos proyectos de investigación que detallan las áreas más sensibles frente al fuego, para el caso de las formaciones vegetales de bosque y matorral esclerófilo. En la figura 1 se pueden apreciar zonas marcadas en rojo que corresponden a zonas con incendios históricos en vegetación nativa para un período de 40 años. En la gran mayoría de los casos hubiese sido necesario ejecutar de manera urgente y permanente acciones para la restauración. Existen zonas más sensibles frente al deterioro de bosques, preferentemente cercanas a vías de conectividad urbano-rural y en áreas donde la continuidad horizontal promueve el avance descontrolado del fuego.

Figura 1.- Área de estudio. Se indican las localizaciones de las ocho parcelas establecidas para las mediciones.



6.2.- Fuentes de información

El desarrollo de las pautas de terreno para la restauración comienza con una etapa previa, que corresponde al acopio de información espacial y temporal de registros sobre incendios de vegetación nativa para una serie de 30 años (1985-2015) (Conaf, 2015). En distintas zonas con alta incidencia de fuegos fue posible distinguir aquellas zonas geográficas que reportaron una mayor cantidad de daños, y consecuentemente, la recopilación de testimonios de terreno sobre aquellas áreas que han sido objeto de iniciativas de restauración. A modo de resumen, se presentan los siguientes datos y referencias de acuerdo a los objetivos planteados:

6.2.1.- Evaluación histórica del área de estudio: proyectos e investigación elaborada por el Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile desde 1985.

6.2.2.- Estudio de la vegetación en cuanto a niveles de peligro: Cartografía de modelos de combustibles del Sistema KINTRAL, en cuyas bases de datos se caracterizan las principales formaciones vegetales del área de estudio en cuanto a poder calorífico, energía disponible, carga de combustible, velocidades de propagación lineal, tasas potenciales de liberación calórica y parámetros propios del comportamiento del fuego, entre otros atributos (Castillo, 1998). Se dispuso de cartografía digital para los distintos grupos de vegetación combustible, apoyadas por bancos de datos geográficos.

6.2.3.- Referencias previas para la restauración: Proyectos Fondecyt 1095048 y Conaf 006/2013. Entregan las pautas necesarias para una correcta caracterización previa del área de investigación. En el primer caso, se emiten las referencias básicas a considerar para cualquier proyecto de restauración y recuperación de paisajes afectados por el fuego.

6.2.4.- Artículos científicos: se consideraron las principales referencias sobre restauración y su nexos con la ecología del fuego en áreas de clima mediterráneo. Destacan Castillo (2006, 2013), Fernández et.al, (2010), Jardel et.al, (2003), Jordan (1987), Quintanilla (1999, 2000), SER (2004), Turner et.al, (2003), Westhoff and Maarel (1978), Whisenant (1999), entre las principales.

6.2.5.- Bases de datos geográficas y documentales: Se dispuso de una nutrida cartografía de áreas afectadas históricamente por el fuego estas cuatro regiones, respaldadas por informes técnicos y evaluaciones en campo sobre montos de intensidad, severidad y efectos generales sobre paisajes, además de pautas de ecología del fuego y su vínculo con acciones para la restauración y recuperación.

6.3.- Métodos aplicados

6.3.1.- Objetivo específico 1: *“Aportar al conocimiento detallado del nivel peligro que poseen las distintas formaciones de bosque y matorral esclerófilo en el área de investigación, para que sirvan como antecedentes útiles y vinculantes en la elaboración pautas de restauración, si es que el fuego se hace presente”*

Se consideraron registros representativos de áreas con vegetación nativa afectadas por el fuego, en cuyo caso se realizó un levantamiento de información organizado en parcelas con afectación y sin afectación (muestra y testigo), de manera de poder contrastar los resultados y aportar orientaciones para la calificación de la intensidad y severidad, datos que en etapas posteriores permitió proponer acciones básicas para la restauración.

Dentro de los antecedentes generales para la calificación en terreno, se registraron los siguientes aspectos para cada área afectada: nombre del incendio, fecha de ocurrencia del incendio, fecha de toma de datos, superficie afectada, localización de cada parcela testigo, localización de la parcela muestra, altitud (msnm) (testigo y quemada), exposición (testigo y quemada), pendiente media (%) (testigo y quemada), y la meteorología al inicio del incendio. En relación a los antecedentes de la parcela testigo se evaluó el tipo vegetacional (según Gajardo 1994, Luebert y Pliscoff 2006), modelo de combustible: Según Julio *et al* (1995a, 1995b), continuidad de estratos vegetacionales (horizontal y vertical) (Castillo, 2013), cobertura de estratos de combustibles en horizontal aéreo, horizontal superficial, horizontal subterráneo y vertical (Julio, 2007), distribución general de la vegetación, carga de partículas combustibles según grosor o diámetro (muy finas, finas, medias, gruesas y hojarasca), cobertura y profundidad del estrato de hojarasca, carga total de combustible disponible, y la profundidad de daño al suelo.

En relación a los parámetros específicos que caracterizan el peligro, se recurrió a los parámetros procedentes de las ecuaciones y factores del comportamiento del fuego del Sistema KITRAL (Julio, 1999). En campo, y utilizando el apoyo de la cartografía de modelos de combustibles, datos topográficos y microclimáticos, fue posible aplicar las fórmulas y tablas para el cálculo retrospectivo del comportamiento del fuego medio en el transcurso del incendio y su proyección para condiciones futuras post-restauración. Los parámetros considerados fueron: condición promedio de la vegetación fina y muy fina (contenido de humedad), factor condición de la vegetación, factor modelo de combustible, factor velocidad del viento, factor pendiente, velocidad de propagación lineal superficial promedio, intensidad calórica lineal promedio y longitud de llama promedio.

Evidentemente que en muchas zonas quemadas, los grados de afectación en cuanto a rastros de severidad y recuperación de la vegetación no son homogéneos (Frandsen, 1971), variando significativamente de acuerdo al comportamiento histórico del fuego. Por tal razón la composición y estructura de la vegetación, tanto la sobreviviente a los efectos del fuego como a los retoños post-incendio, fueron evaluados mediante indicadores de riqueza y abundancia, para de esta manera disponer de escalas de afectación y severidad que permitan

discriminar con propiedad las mejores pautas para la restauración de áreas específicas (Fulé *et.al*, 2003). En estos pasos se consideró la vegetación desde el punto de vista de su composición florística, y la forma como las distintas especies integrantes de la comunidad deben ser identificadas. La cobertura se estima usando la escala de Braun-Blanquet (1948) modificada luego por Braun-Blanquet y Bolós (1958), en la que se combina la abundancia y la dominancia. Los dos índices inferiores (+,r) registran la abundancia, y los restantes (1,2,3,4,5) tienen en cuenta la cobertura o dominancia. Es importante señalar que los valores aquí señalados corresponden a la cobertura presente e independiente en cada estrato, por lo que no necesariamente la suma de cada porcentaje parcial, debiera corresponder al 100% del total de cobertura. En la práctica ocurre que en la mayoría de los estudios con parcelas de muestreo, la clase asociada al índice "2" agrupa a una diversidad de situaciones, por lo que en muchos casos se sugiere subdividir, de acuerdo a lo propuesto por Westhoff y Maarel (1978): 2m para Cobertura próxima al 5%, 2^a para Cobertura del 5 al 15%, y 2b para Cobertura de 15 al 25%. Este método es adecuado para parcelas regulares con tamaños máximos de 200 m² en el caso de bosques abiertos y matorrales altos, con un umbral de hasta 50 m² en lugares donde predominan las leñosas altas abiertas y matorrales de distinto tamaño. En cada sector quemado también se determinó la "fidelidad" de las especies, que es la verificación si éstas son representativas de su entorno, y como consecuencia de ello, extrapolar este diagnóstico al entorno. Este criterio se utilizó además como un complemento a la caracterización de las macro unidades florísticas típicas del ecosistema local. Los grados de fidelidad fueron evaluados en una escala diseñada por Turner (2001), quien califica a las especies sobrevivientes en valores de 1 a 5, y las relaciona en un contexto de paisaje con o sin recuperación post-fuego. Debe considerarse que la fidelidad de una especie a una comunidad puede ser territorial, pues si la ella tiene un área mucho mayor que el de la propia comunidad, lo que es común, su óptimo ecológico puede variar cuando se aproxima a los límites de su distribución. Casos conocidos para los paisajes mediterráneos de Chile son los matorrales nativos densos que se distribuyen a lo largo de más de 2.000 km; lo no sucede con otras especies como la palma chilena, confinada a áreas muy acotadas debido a la presión antrópica (Villaseñor, 1977). Todos estos antecedentes fueron vaciados a una planilla descriptiva del sector afectado por el fuego para su completa caracterización desde el punto de vista del peligro, y su contraste con aquellas formaciones testigo que cumplen con patrones comparables para efectos estadísticos.

6.3.1.1.- Actividad 1.1.- Delimitación espacial de las formaciones de bosque y matorral esclerófilo.

El área de estudio antes indicada, y que corresponde a las regiones Metropolitana, V, VI y VII, se estudiaron las formaciones vegetales de acuerdo a la información procedente del Catastro de Bosque Nativo con sus respectivas actualizaciones para cada región. Cabe señalar que esta delimitación fue efectuada antes del mes de enero de 2017, período en el cual se sucedieron los grandes incendios forestales que afectaron a las estadísticas finales de superficie para estas formaciones vegetacionales.

Se trabajó utilizando la proyección UTM WGS84, Huso 19 Sur. De acuerdo a lo comprometido en el primer objetivo de este proyecto, se consideraron los siguientes criterios para el análisis de la información territorial: Identificación del uso de suelo (primer filtro para la selección de bosque): Tipo forestal, Subtipo forestal, Estructura y cobertura (bosque denso / semidenso / abierto, renoval, renoval mixto), Especies principales (hasta cinco órdenes jerárquicos), Altura dominante (categorías definidas en las bases de datos catastrales), y Clases de cobertura (de acuerdo a las bases de datos del Catastro, es posible identificar, para las cuatro regiones, el predominio de tres categorías de cobertura: 01 (denso), 02 (semidenso), 03 (abierto)). En terreno, se realizaron diferentes prospecciones entre los meses de noviembre y diciembre de 2016 para validar esta información y con ello aplicar los criterios comprometidos para la definición de las parcelas. Cabe señalar que la información obtenida del catastro, aun cuando posee actualizaciones (2013 para las regiones Metropolitana, V y VII; y 2009 para VII), se constató la existencia de mezclas de bosque y matorral esclerófilo con otras formaciones vegetales, lo cual fue considerado en la definición de las campañas de campo y los requisitos necesarios para la caracterización de estas parcelas.

Con estos pasos, fue posible generar una cartografía preliminar de bosque y matorral esclerófilo, la cual fue considerada como base de datos oficial para la integración de esta información con la procedente de la ocurrencia de incendios forestales (temporadas 2014-2017), necesario para establecer las campañas de campo y el posterior establecimiento las parcelas de muestreo, para cada región. La estadística de existencias de bosque y matorral esclerófilo se indican en el cuadro 1, destacando además la pérdida de parte de esta superficie producto de los últimos incendios forestales que han afectado a estas cuatro regiones en la presente temporada 2016-2017. El cuadro muestra cifras de daño entre el período 1 de enero y 10 de febrero de 2017, lo que ocasiona modificaciones en la base de datos final de existencias de bosque y matorral esclerófilo.

Cuadro 1.- Resultados correspondientes a existencias de bosque y matorral esclerófilo para el área de investigación.

Región	Existencias (ha)	Daño directo por incendios, temporada 2016-2017*	Variación en existencias (%)
Valparaíso	102.974	4.890	- 4.74
Metropolitana	96.427	18.620	-19.30
Sexta	107.036	34.870	-32.58
Séptima	50.994	8.237	-16.15
Total	357.431	66.617	-18.63

* Período comprendido entre el 1 de enero y 10 de febrero de 2017. Fuente: Corporación Nacional Forestal.

En cuanto al daño directo descrito para la temporada 2017-2017 (66.617 has), a estas cifras deben sumarse aquellos incendios desarrollados entre los límites de las regiones Metropolitana y V (2.029 ha), y VI-VII (330 ha), sumando un total afectado de bosque esclerófilo y matorral de 68.976 (ha), equivalentes

a una disminución este tipo forestal producto de los incendios de 19.23%.

Las cifras anteriores sobre daño directo, se obtienen sobre el análisis de los incendios ocurridos entre el 1 de enero de 2017 y 10 de febrero de 2017, conforme a la base de datos del Catastro de Bosque Nativo, y el sistema SIDCO de Conaf, para cada una de las regiones afectadas. Respecto a la composición de las formaciones delimitadas en el SIG, éstas corresponden al Tipo Forestal Bosque Esclerófilo, subtipos Bosque y Matorral, considerando la dominancia de especies presente en cada registro de la base de datos. Este análisis permitió evaluar aquellas comunas más susceptibles de ser evaluadas desde el punto de vista vegetacional y también operativo en cuanto a la existencia de incendios forestales de reciente data.

6.3.1.2.- Actividad 1.2.- Muestreos de campo para las áreas seleccionadas.

El diagnóstico de las existencias de bosque esclerófilo y matorral para las cuatro regiones de Chile Central, junto con el conocimiento de aquellas áreas afectadas por incendios forestales de acuerdo a la base histórica y los recientes incendios desarrollados en la temporada 2016-2017, permitieron elaborar un listado de sectores en los cuales se realizaron los muestreos de campo. Por lo anterior, esta actividad contempló el desarrollo de las siguientes etapas:

6.3.1.2.1.- Fase I. Elección de las áreas

1.- La definición de dos áreas de muestreo (parcelas) para cada región, considerando los criterios declarados en la metodología: incendios ocurridos con una data no más antigua que 2015 (que no superen los 2-3 años de edad, e idealmente incendios recientes que hayan afectado preferentemente bosque y matorral esclerófilo en distintos grados de daño. También que las áreas afectadas por estos incendios permitiesen elaborar áreas de muestreo considerando la variabilidad de situaciones de afectaciones, incluyendo la variable topográfica y de accesibilidad para la ejecución de las campañas de campo. Que las afectaciones superen, preferentemente, superficies superiores a 50 hectáreas para permitir la elección del área específica para el proceso de identificación de cada una de las parcelas de muestreo y el posterior proceso de evaluación de cada una de ellas. De acuerdo a lo declarado en la metodología, lo que se buscó fue encontrar afectaciones continuas con superficie mayor o igual a 10 hectáreas para la distribución de estas unidades de muestreo (entorno local basado en el primer criterio de preselección acotado a 50 hectáreas).

2.- Asignación de los criterios anteriores para la elaboración de las campañas de terreno para cada una de las cuatro regiones. En tal sentido, en el documento inicial se comprometieron localidades y zonas que posteriormente fueron re-evaluadas en prioridad, ante la presencia de sucesivos incendios acaecidos en la actual temporada 2016-2017. El resumen de las áreas sobre las cuales se instalaron los las parcelas de muestreo se indica a continuación (cuadro 2):

Cuadro 2.- Detalle de las fechas para los incendios estudiados en cada región.

<u>Región</u>	<u>Localidad</u>	<u>Data del incendio</u>
---------------	------------------	--------------------------

Metropolitana	San José de Maipo	Enero 2017
	Cuesta Barriga	Marzo 2017
Quinta Región	Rodelillo	Abril 2014
	Limache	Febrero 2017
Sexta Región	Pichidegua	Diciembre 2016
	La Estrella	Enero 2017
Séptima Región	Ovejería (Maule)	Febrero 2017
	Nirivilo	Enero 2017

6.3.1.2.2.- Fase II. Mediciones en terreno (parcelas muestra y testigo)

El diseño de las parcelas de muestreo, se ajustaron a lo declarado en el método: parcelas cuadradas de 100 metros cuadrados, con 4 puntos con afectación (quemadas) más 1 parcela testigo (no quemada). El criterio local para elegir la ubicación precisa de cada una de ellas correspondió a la posibilidad de evaluar distintos grados de afectaciones y en distintas condiciones fisiográficas locales según fuese el caso. Como se indicó anteriormente, en cada una de estas áreas se consideró que el área quemada no fuese inferior a 10 hectáreas, sobre las cuales se identificaron las localizaciones específicas de cada parcela. El trabajo realizado en cada una de ellas correspondió al inventario de las variables del comportamiento del fuego, cautelando caracterizar mosaicos de afectaciones en el caso de daños irregulares (Keeley, 2009) y que sobre ellos pudiesen ser aplicados indicadores de severidad post-fuego. Estas parcelas consideraron además la posibilidad de caracterizar aspectos complementarios tales como suelo, laderas, vestigios de fauna, flora acompañante y la estimación de los daños directos a través de los indicadores de intensidad y severidad.

En cada parcela de muestreo se realizó un inventario de las variables del comportamiento del fuego. La unidad muestral se fijó considerando obtener la mayor variabilidad de situaciones de severidad y representatividad de la vegetación circundante y la que presumiblemente existió antes del incendio en cuestión. La construcción de cada parcela se realizó con ejes fijados en rumbo y distancia con estacas fijas y cuerdas de demarcación. A los individuos con una altura superior a 50 cm se les midió el diámetro, altura total, altura de inicio de copa, proyección de copas en ocho sentidos, (0°, 45°, 90°, etc.) y determinación de rumbo y distancia de los individuos.

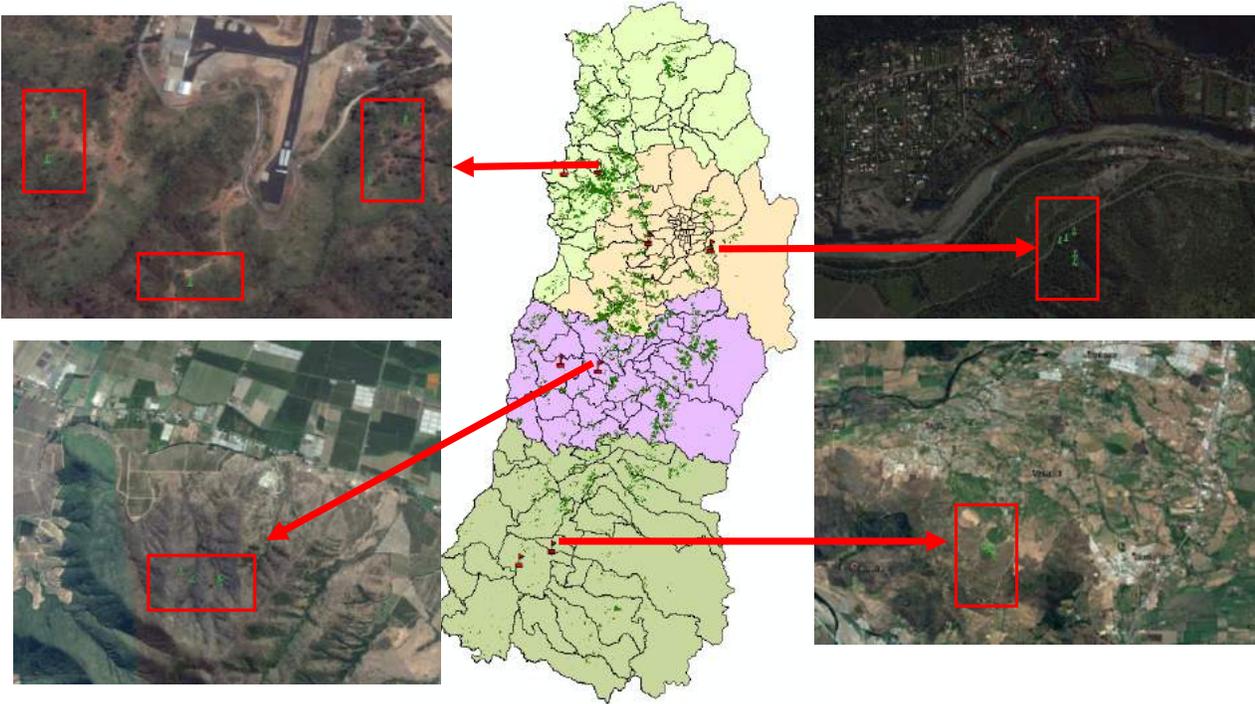
Dentro de los antecedentes generales para la calificación en terreno, se registraron los siguientes aspectos para el área afectada: Fecha de Ocurrencia del Incendio (aproximada de acuerdo a las visitas en terreno e información de apoyo), Fecha de Toma de Datos, Superficie Afectada (has aproximadas), Localización UTM Parcela Testigo, Localización UTM Parcela Quemada, Altitud (msnm) (testigo y quemada), Exposición (testigo y quemada), Pendiente Promedio (%) (testigo y quemada). En relación a los antecedentes de la parcela testigo se evaluó: Tipo Vegetacional (según Gajardo 1994, Luebert y Pliscoff (2006)), Modelo de Combustible: Según Julio et al (1995a, 1995b), Continuidad de Estratos Vegetacionales (horizontal y vertical) (Castillo, 2013), Cobertura de estratos de combustibles en horizontal aéreo, horizontal superficial, horizontal subterráneo y vertical (Julio, 2007), distribución general de la vegetación, carga de partículas combustibles según grosor o diámetro (muy finas, finas, medias,

gruesas y hojarasca), cobertura y profundidad del estrato de hojarasca, carga Total de Combustible Disponible, profundidad de daño al suelo.

Cuadro 3.- Detalle de la ubicación espacial de las parcelas muestra y piloto.

Localidad/Sector	Parcela	Coordenada (x,y)
San José de Maipo	1 (muestra)	365.715 E; 6.283.205 N
	2 (muestra)	365.721 E; 6.283.124 N
	3 (muestra)	365.721 E; 6.283.095 N
	4 (muestra)	365.664 E; 6.283.171 N
	5 (testigo)	365.687 E; 6.283.180 N
Cuesta Barriga	1 (muestra)	321.424 E; 6.288.488 N
	2 (muestra)	321.372 E; 6.288.427 N
	3 (muestra)	321.330 E; 6.288.331 N
	4 (muestra)	321.328 E; 6.288.309 N
	5 (testigo)	321.414 E; 6.288.295 N
Limache	1 (muestra)	285.052 E; 6.339.040 N
	2 (muestra)	285.010 E; 6.339.008 N
	3 (muestra)	284.972 E; 6.338.982 N
	4 (muestra)	285.054 E; 6.338.985 N
	5 (testigo)	284.926 E; 6.339.141 N
Rodelillo	1 (muestra)	260.769 E; 6.337.818 N
	2 (muestra)	260.772 E; 6.337.902 N
	3 (muestra)	261.032 E; 6.337.605 N
	4 (muestra)	261.397 E; 6.337.903 N
	5 (testigo)	261.333 E; 6.337.791 N
Pichidegua	1 (muestra)	258.216 E; 6.200.742 N
	2 (muestra)	258.918 E; 6.200.677 N
	3 (muestra)	258.000 E; 6.200.661 N
	4 (muestra)	258.913 E; 6.200.633 N
	5 (testigo)	258.745 E; 6.200.606 N
La Estrella	1 (muestra)	285.078 E; 6.196.049 N
	2 (muestra)	285.407 E; 6.195.956 N
	3 (muestra)	285.172 E; 6.195.967 N
	4 (muestra)	285.421 E; 6.195.922 N
	5 (testigo)	258.745 E; 6.200.606 N
Ovejería (Maule)	1 (muestra)	252.149 E; 6.066.706 N
	2 (muestra)	252.074 E; 6.066.815 N
	3 (muestra)	252.257 E; 6.066.609 N
	4 (muestra)	252.242 E; 6.066.449 N
	5 (testigo)	252.028 E; 6.066.881 N
Nirivilo	1 (muestra)	228.500 E; 6.056.902 N
	2 (muestra)	228.538 E; 6.056.847 N
	3 (muestra)	228.559 E; 6.056.802 N
	4 (muestra)	228.602 E; 6.056.682 N
	5 (testigo)	228.489 E; 6.056.993 N

Figura 2.- Representación gráfica de localización de parcelas de muestreo.



La prospección de cada una de estas áreas se adecúa a lo comprometido en el proyecto, en cuanto a que corresponden a incendios de reciente data, con distintos niveles de afectación y composición de la vegetación quemada. Es necesario destacar que esta etapa es de carácter inicial en cuanto a la tipificación de los grados de afectación y las primeras proyecciones de las vías de restauración que tendría cada una de estas áreas prospectadas. Los principales resultados de esta caracterización se indican a continuación. Las clasificaciones indicadas en los siguientes cuadros corresponden a las siguientes referencias:

- a) Severidad (Keeley, 2009)
- b) Intensidad Calórica (Castillo *et al*, 2016)
- c) Regeneración post-incendio (Julio *et al*, 2012)
- d) Efecto visual en el Suelo (Keeley, 2009; Castillo *et al*, 2016)
- e) Posibilidades de restauración (Whisenant, 1999)

6.3.2.- Objetivo específico 2: "Elaborar una cartografía de peligro potencial, asociada a escalas de severidad potencial".

Para el desarrollo de este objetivo, se emplearon los resultados del objetivo 1, plasmando cartográficamente, y mediante el empleo de escalas de intensidad, los efectos potenciales del fuego mediante las expresiones de potencial de propagación (Brown y Davis, 1973), tasa potencial de liberación calórica (Byram, 1957) y energía consumida (potencial). Para ello se construyeron cubiertas

digitales en el SIG que relacionan estos parámetros con el estado actual y potencial de las áreas con vegetación nativa de tipo bosque y matorral, por cuanto en todos los casos es posible asociar estos parámetros a los grupos de modelos de combustibles. De esta actividad, y considerando las referencias de Castillo (2013), Fulé *et.al*, (2003) y Keeley (2008, 2009), fue posible asociar las intensidades potenciales y las verificadas en campo mediante el uso de escalas de afectación, que consideren no sólo los daños a la vegetación, sino también al suelo, cursos de agua, paisaje, posibilidades de regeneración, fragmentación y cohesión de parches no afectados por el paso del fuego. Las escalas de severidad potencial son interpretadas cartográficamente desde el punto de vista del peligro en la propagación del fuego, empleando adicionalmente para ello, indicadores relacionados a las características de la vegetación. El peligro potencial de incendios, se elabora de acuerdo a los datos recopilados de la caracterización de la vegetación combustible, y que corresponde al área directa instalada en las parcelas muestra (afectadas por el fuego) y testigo (no afectadas). Para efectos prácticos y por la especificidad de las muestras específicas de cada sector, esta cartografía fue realizada en un área cuadrada de 4 hectáreas, lo que permite cubrir razonablemente el entorno inmediato de cada parcela (muestra y testigo). Hacia el exterior (fuera de las 4 hectáreas) existen otros factores que pueden alterar los niveles de peligro potencial en relación a las variables de potencial de propagación del fuego, la carga de combustible y su resistencia al control. No obstante, es posible generar referencias generales que permiten ilustrar esta cartografía de peligro como una base de diagnóstico a partir de las formaciones vegetales periféricas a las áreas estudiadas.

6.3.3.- Objetivo específico 3: *“Proponer pautas de restauración de vegetación de bosque y matorral esclerófilo afectados por incendios forestales, considerando los conceptos de intensidad (basada en el peligro), severidad, escala geográfica, temporalidad, costos asociados y factibilidad técnica de implementación”.*

Salvo algunas experiencias en restauración ejecutadas en Parque Pumalín en la Región de Los Lagos, como también en otros bosques húmedos en la Región de Aysén, en hábitats de Alerce (*fitzroya cupressoides* (Molina) Johnst.), Ciprés de las Guaticas (*Pilgelodendron uviferum* (D.Don.) Florin), Araucaria (*Araucaria araucana* (Molina) K.Koch.), también en Torres del Paine (Navarro *et al.*, 2015), además de algunas iniciativas ejecutadas por la Universidad Católica y Universidad de Santiago, no se dispone de suficientes referencias en Chile sobre la relación entre cuantificación de impactos ocasionados por los incendios forestales y las opciones de restauración en función de sus variables de diagnóstico del paisaje. Menos aún en formaciones de bosque esclerófilo y matorral. Además, las principales actividades de recuperación post-fuego que se llevan a cabo actualmente en Chile, no son estrictamente iniciativas de restauración ecológica, sino más bien corresponden a actividades netamente de rehabilitación y revegetación (Fernández *et.al*, 2010), o bien de respuestas en la regeneración por semillas y vegetativa bajo condiciones de alteraciones de sitio y ganado (Becerra *et al*, 2018).

Para la elaboración de pautas para la restauración, el análisis se centra en los siguientes pasos que luego son utilizados para aplicar los indicadores de intensidad y severidad:

6.3.3.1.- Elección de sectores recientemente quemados, para verificar los testimonios recientes de incendios. Acción a ejecutar para cada zona crítica de ocurrencia y región dentro del área de estudio. Para ello se elaboró una cartografía previa de densidades de ocurrencia de fuegos en vegetación nativa, y las posibilidades de acceso para estudio.

6.3.3.2.- Consideración de criterios de accesibilidad y representatividad de comunidades vegetales de acuerdo a lo indicado por Castillo (2013) y Julio *et al* (2012), quienes consideran formaciones de bosque y matorral a distintas escalas de afectaciones, para su caracterización posterior en campo, mediante parcelas test de tamaño indicado en el punto anterior.

6.3.3.3.- Los bosques y matorrales afectados deben ser también pre-evaluados en cuanto a las condiciones de eventuales permisos de entrada, si es que comprometen áreas de acceso privado.

Estos tres puntos anteriores fueron considerados durante todo el período de ejecución del proyecto y para los 24 meses de operación.

Las acciones para la restauración se sustentan en los conceptos asociados a los indicadores post-fuego, ampliamente descritos en Pausas, 1999; Keeley, 2009, y últimamente en Castillo *et al*, 2016), de manera de poder calificar con precisión los daños presentes en las distintas formaciones de bosque y las opciones para la restauración considerando criterios de escala, temporalidad, costos y factibilidad técnica (Pausas y Vallejo, 1999). Estas escalas han sido estudiadas, reportadas y validadas en sucesivos proyectos ejecutados por Castillo (2006, 2013) para la zona mediterránea de Chile Central en formaciones de bosque y matorral esclerófilo. Como primer paso, y considerando la evaluación del comportamiento del fuego en las áreas estudiadas, se detallan los componentes de paisaje involucrados en los daños y efectos ocasionados por incendios. A base de estos resultados, se aplican las siguientes acciones, en forma secuencial, de acuerdo a las condiciones locales de las áreas afectadas y conforme a los antecedentes disponibles en (Fernández *et al.*, 2010), para la implementación de obras en el caso específico de la Región del Matorral y Bosque Esclerófilo. No obstante, la bibliografía citada sólo entrega escasas referencias que deben ser complementadas en forma más específica, con las medidas locales que acá se proponen (cuadro 4):

Cuadro 4.- Ejemplo de calificación del impacto provocado por incendios, sectorizado

Parámetros del comportamiento del fuego	Sectores estudiados (zonas quemadas)				
	1	2	3	4	5
Fecha del Incendio					
Superficie Afectada (ha)					
Intensidad Calórica (kcal m ⁻¹ s ⁻¹)					
Severidad del Incendio					
Regeneración Post-Incendio					
Efecto en el Suelo (visual)					

Los parámetros de comportamiento del fuego indicados en el cuadro 4, permiten establecer el impacto de cada área, y en consecuencia, la decisión sobre qué tipo de obra física – si procede – es necesario implementar para resguardar el mejoramiento de las condiciones post-incendio, y también también el enriquecimiento con especies nativas, dada la naturaleza del material vegetal afectado por el fuego y también por las condiciones locales de cada lugar que impiden, por ejemplo la siembra directa. Los terrenos afectados en las áreas de muestreo son evaluados en cuanto a la respuesta en la regeneración, verificando en cada caso el patrón natural de recuperación: por germinación natural, por retoñación o mixta. Estos antecedentes fueron considerados para las pautas que se aplicaron en terreno.

Posteriormente se establece el monitoreo de las obras. Para ello se establece un programa de visitas en campo para la verificación de las obras, su señalética y respuesta de la plantación en las áreas afectadas por el fuego. Para ello se consideró como sector de trabajo para estas pautas, un área protegida perteneciente a ARAUCO S.A., consistente en una superficie dominada por bosque esclerófilo y otras especies nativas asociadas.

Como acciones complementarias, se establece la construcción de obras de contención de sedimentos y retención de caudal, utilizando para ello materiales propios del sector, junto con el reforzamiento de cercos perimetrales para garantizar la protección de las obras frente a tránsito de ganado. Igualmente se establecen estas medidas para las plantas utilizadas en la etapa de enriquecimiento.

En cuanto a la labor de enriquecimiento, la pauta establece la elección de especies nativas del lugar, considerando su procedencia local (viviero cercano), el tamaño de la planta y longitud radicular, y también considerando las condiciones de suelo, topografía y condiciones locales de abrigo para asegurar la sobrevivencia. Se establecen densidades (plantas por hectárea), con costos asociados dependiendo de la especie, grupo de especies, número de plantas y superficie a cubrir, siendo necesario agregar los costos de establecimiento y labores de monitoreo inicial. La construcción de obras, así también la labor de enriquecimiento con especies nativas, fue cuantificada y descrita en el ítem de resultados.

6.3.4.- Objetivo específico 4: *“Desarrollar un protocolo de seguimiento y análisis de peligro potencial en condiciones post-fuego, vinculante con las medidas de restauración aplicadas”.*

Las medidas basadas en las pautas de terreno (indicaciones para la construcción de obras físicas y su implementación, como también el estado de las plantas establecidas en terreno), son revisadas mediante visitas a campo, principalmente para verificar la sobrevivencia del material vegetal y el funcionamiento de las obras de retención de sedimentos. Con ello, y la estimación de la carga futura de combustible derivada del desarrollo de la regeneración y repoblamiento en los distintos estratos, es posible determinar los niveles de peligro para la prescripción de eventuales medidas silviculturales posibles de implementar en los sectores de borde en bosque nativo. Experiencia sobre tratamientos silviculturales orientados a bajar la carga de vegetación combustible se encuentran en quienes evalúan el potencial de calor radiante horizontal como indicador de transferencia de calor y salto de fuego desde una unidad vegetal a hora, en el contexto del bosque y matorral esclerófilo.

7.- Resultados

7.1.- Región Metropolitana

RM – a) Cuesta Barriga

Fecha de prospección: 04/04/2017

Comuna: Padre Hurtado.

Cuadro 5.- Antecedentes área de prospección Cuesta Barriga.

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas y testigo)			
	1 (quemada)	2 (quemada)	3 (quemada)	4 (quemada)
Superficie afectada (ha)			40	
Regeneración post-incendio	Baja	Baja	Baja	Baja
Efecto suelo (visual)	Bajo	Medio	Bajo a medio	Medio

Observaciones

- El acceso al predio es por orilla del camino de la cuesta Barriga, comuna de Padre Hurtado.
- Este incendio afectó en la ladera Este.
- La superficie afectada es de 40 ha. de bosque nativo (especies indicadas en cada parcela).
- Cobertura promedio es de 60%.
- No se observa presencia de regeneración.

Parcela 1

- Coordenadas: 321.424 E – 6.288.488 N
- Pendiente: 70%
- Exposición: Este
- Altitud: 695 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 5-10%
- Especies observadas: Litre, Quillay, Colliguay, Tevo.
- Leñosas altas con Cobertura de 30% y altura media de 8 metros.
- Leñosas bajas con Cobertura de 30% y altura media de 2,5 metros.
- Presenta una baja regeneración post-incendio.

Parcela 2

- Coordenadas: 321.372 E – 6.288.427 N
- Pendiente: 60%
- Exposición: Este
- Altitud: 705 m.s.n.m.
- Pedregosidad: menor al 5%
- Especies observadas: Espino, Maitén, Quillay.
- Estrato arbóreo con cobertura de 20%, con una altura media de 8 metros.

- Estrato arbustivo con cobertura de 50%, con una altura media de 2 metros.
- No se observa regeneración post-incendio.

Parcela 3

- Coordenadas: 321.330 E – 6.288.331 N
- Pendiente: 75%
- Exposición: Este
- Altitud: 701 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 75%
- Especies observadas: Espino, Litre
- Estrato Leñoso con cobertura de 80%, altura media de 3 metros.
- No se observa regeneración post-incendio.

Parcela 4

- Coordenadas: 321.328 E – 6.288.309 N
- Pendiente: 70%
- Exposición: Este
- Altitud: 697 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 10%
- Especies observadas: Espino, Litre.
- Estrato Leñoso con cobertura de 60%, altura media de 1,5 a 2 metros.
- No se observa regeneración post-incendio.

Parcela testigo

- Coordenadas: 321.414 E – 6.288.295 N
- Pendiente: 80 – 90 %
- Exposición: Este
- Altitud: 665 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 10%
- Especies observadas: Quillay, Espino, Colliguay, Maitén.
- Estrato Leñoso con cobertura de 40%, altura media de 8 metros.
- Estrato arbustivo con Cobertura de 60% y altura media de 3 metros.

Fotografías de referencia:



PANORÁMICA



TESTIGO



PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

RM – b) San José de Maipo

Fecha de prospección: 30/03/2017

Comuna: San José de Maipo.

Cuadro 6.- Antecedentes área de prospección San José de Maipo.

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas y testigo)			
	1 (quemada)	2 (quemada)	3 (quemada)	4 (quemada)
Superficie afectada (ha)			46,2	
Regeneración post-incendio	Muy Baja	Baja	Baja	Baja
Efecto suelo (visual)	Medio	Medio	Medio	No Hay

Observaciones

- El acceso al predio es por orilla del camino el Toyo, Cajón del Maipo. con presencia de tendido eléctrico.
- En general, en la parte baja de la ladera, la cobertura es mayor (70 a 80 %), que en la parte alta de la ladera (30 a 40).
- Se observa una Pedregosidad superficial alta de 30 a 40%.

Parcela 1

- Coordenadas: 365.715 E – 6.283.205 N
- Pendiente: 70%
- Exposición: NO
- Altitud: 850 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 50%
- Especies observadas: Litre, Quillay, Colliguay, Palqui, cactáceas.
- Leñosas altas con Cobertura de 80% y altura media de 6 metros.
- Leñosas bajas con Cobertura de 10% y altura media de 2,5 a 3 metros.
- Se observó escasa regeneración vegetativa de Litre.

Parcela 2

- Coordenadas: 365.721 E – 6.283.124 N
- Pendiente: 80%
- Exposición: NO
- Altitud: 887 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 40%
- Especies observadas en el estrato arbustiva: *Retanilla ephedra*, cactáceas.
- Especies observadas en el estrato arbóreo: Litre, Quillay.
- Estrato arbóreo con cobertura de 80%, con una altura media de 6 a 7 metros.
- Estrato arbustivo con cobertura de 30%, con una altura media de 2 metros.

Parcela 3

- Coordenadas: 365.721 E – 6.283.095 N
- Pendiente: 70 - 80%
- Exposición: NO

- Altitud: 893 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 25%
- Especies observadas: Quillay, Litre
- Estrato Leñoso con cobertura de 70%, altura media de 3 a 4 metros.

Parcela 4

- Coordenadas: 365.664 E – 6.283.171 N
- Pendiente: 30-40%
- Exposición: NO
- Altitud: 856 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 30%
- Especies observadas en el estrato arbóreo: Litre, Quillay
- Especies observadas en el estrato arbustivo: Colliguay, Palqui.
- Estrato Leñoso con cobertura de 80-90%, altura media de 7 a 8 metros.
- Estrato arbustivo con cobertura de 20%, altura media de 2 metros.
- Se encuentra a orilla de camino, cercano a tendido eléctrico.

Parcela testigo

- Coordenadas 365.687 E – 6.283.180 N
- Pendiente: 50%
- Exposición: NO
- Altitud: 862 m.s.n.m.
- Pedregosidad: 30%
- Especies observadas: Quillay, Litre.
- Estrato Leñoso con cobertura de 100%, altura media de 6 metros.
- Dentro de la parcela se encuentran ramas quemadas no pertenecientes a los individuos de la parcela.
- Esta parcela se encuentra cercana a quebrada.

Fotografías de referencia:



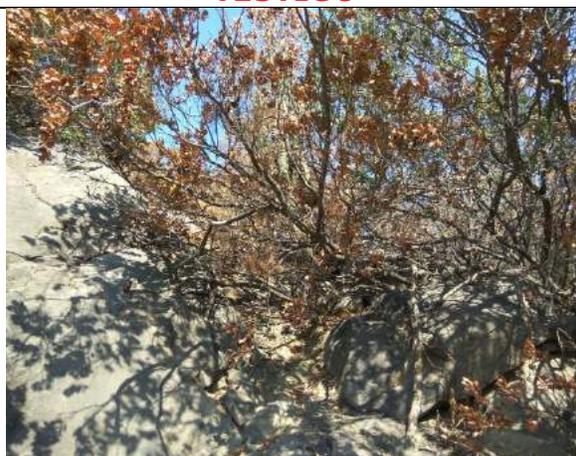
PANORÁMICA



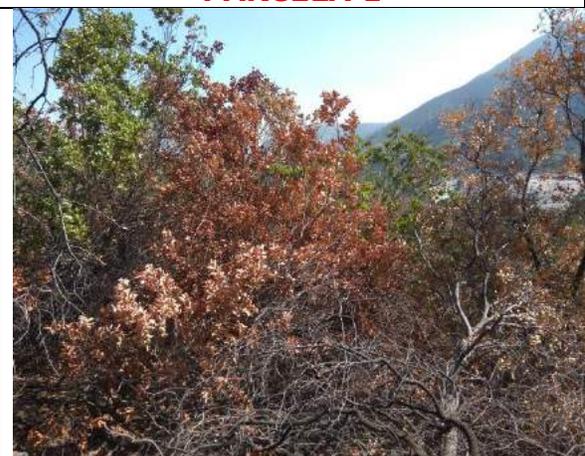
TESTIGO



PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

7.2.- Quinta Región

V – a) Rodelillo

Fecha de prospección: 21/02/2017

Comuna: Valparaíso.

Cuadro 7.- Antecedentes área de prospección Rodelillo.

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas y testigo)				
	1 (quemada)	2 (quemada)	3 (quemada)	4 (testigo)	5 (quemada)
Superficie afectada (ha)			144,7		
Regeneración post-incendio	Alta	Alta	Alta		Alta
Efecto suelo (visual)	Alto	Medio	Bajo		Bajo

Observaciones

- El acceso al predio se realizó por el camino de ingreso a Aeródromo Rodelillo y brigada Palma 5 de CONAF, llegando por el Camino Agua Santa en Dirección a Valparaíso.
- El incendio ocurrió el 14 de marzo de 2014, afectando a 144,7 hectáreas.
- En términos generales el incendio fue de severidad media a alta, afectando distintas formaciones, como cerros, quebradas y terrenos planos.
- La vegetación está compuesta por un estrato arbóreo, con especies que incluyen con mayor presencia *Lithraea caustica*, *Schinus latifolius* y en menor proporción, *Acacia caven*. En las zonas de quebradas y exposiciones sur y sur-oeste, se encuentra además *Aristotelia chilensis*, *Peumus boldus* y *Azara petiolaris*. Esta formación se encuentra acompañada por matorral compuesto por *Baccharis spp*, *Escallonia spp.*, *Trevoa trinervis*, *Puya spp.*, *Lobelia spp*, *Muhelenbeckia hastulata*, entre otras. En forma aislada se encuentran ejemplares de *Jubaea chilensis*, y especies exóticas como *Pinus spp*, *Eucalyptus spp*, y *Acacia melanoxylon*.

Datos de las Parcelas de Muestreo

Parcela 1

- Coordenadas: 260.769 E; 6.337.818 N
- Pendiente: 90%
- Exposición: Oeste
- Altitud: 310 m.s.n.m
- Especies observadas: *Chusquea spp*, *Lithraea caustica*, *Schinus latifolius*
- Cobertura Total de 100%

- Estrato superior con Cobertura del 80%, correspondiente a *Chusquea* spp. y una altura promedio de 1.5 m.
- Estrato medio con Cobertura de 20 %, correspondiente a regeneración de *Lithraea caustica* y *Schinus latifolius* y una altura promedio de 1 m.
- En este sector el incendio tuvo severidad alta, observándose además una alta cobertura producto de la profusa regeneración del matorral.

Parcela 2

- Coordenadas: 260.772 E; 6.337.902 N
- Pendiente: 40%
- Exposición: Norte
- Altitud: 310 m.s.n.m.
- Especies observadas: *Lithraea caustica*, *Trevoa trinervis*, *Puya* spp, *Schinus latifolius*.
- Cobertura global del 70%., compuesto por matorral de especies mixtas, con altura media de 1 m.

Parcela 3

- Coordenadas: 261.032 E; 6.337.605 N
- Pendiente: 100%
- Exposición: sur
- Altitud: 310 m.s.n.m
- Especies observadas: *Chusquea* spp principalmente, acompañada de *Peumus boldus* y *Lithraea caustica*
- Se observa un estrato con cobertura de 100%, con una altura promedio de 1.5 m.

Parcela 4 (Testigo)

- Coordenadas: 261.397 E; 6.337.903 N
- Pendiente: 0-10%
- Exposición: Este
- Altitud: 320 m.s.n.m
- Especies observadas: *Cryptocaria alba*, *Peumus boldus*, *Schinus latifolius*, *Lithraea caustica*, acompañadas de *Buddleja globosa*, *Escallonia* spp, *baccharis* spp, entre otras
- Estrato superior con cobertura de 80%, correspondiente a especies arbóreas con una altura promedio de 5 m
- Estrato herbáceo con cobertura del 80% y una altura promedio de 1,5 m

Parcela 5

- Coordenadas 261.333 E; 6.337.791
- Pendiente: 40%
- Exposición: oeste
- Altitud: 330 m.s.n.m
- Especies observadas: *Chusquea* spp, mayoritariamente, *Lithraea caustica* como acompañante.
- Un estrato con cobertura global del 60%, compuesto principalmente por *Chusquea* spp, y una altura promedio de 2 m.

Fotografías de referencia



PANORÁMICA



TESTIGO



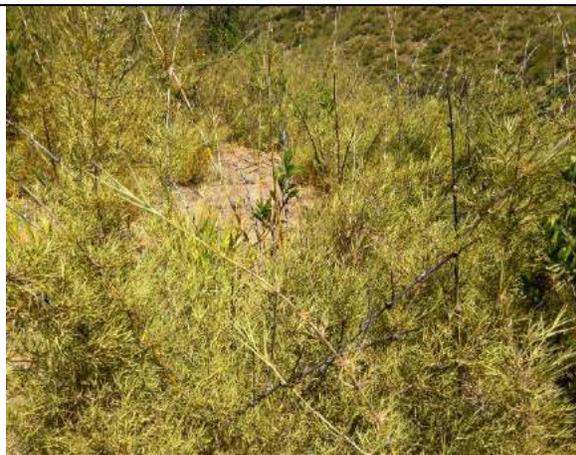
PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

Fecha de prospección: 21/02/2017

Comuna: Villa Alemana

Cuadro 8.- Antecedentes área de prospección Limache.

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas y testigo)				
	1	2	3	4	5
Superficie afectada (ha)	(quemada)	(quemada)	(quemada)	(quemada)	(testigo)
Regeneración post-incendio	Reciente, sin regeneración aún.				
Efecto suelo (visual)	Alto	Bajo	Bajo	Alto	

Observaciones

- Para acceder al lugar, desde la Ruta 68 se debe tomar el camino Troncal Sur con destino a Villa Alemana, y salir en el enlace a Limache. Avanzar 1 km para encontrar Av. Bellavista (Ruta F-580) y seguir hacia el sur 2.800 m hasta el acceso a la comunidad Escobares.
- Se asume una superficie afectada de más de 100 hectáreas de Bosque Nativo
- La vegetación está compuesta por un estrato arbóreo, con especies que incluyen con mayor presencia *Acacia caven*, acompañado de *Lithraea caustica*, *Trevoa trinervis*, *Schinus latifolius* y *Peumus boldus*. En fondos de quebrada se encuentra *Quillaja Saponaria* y *Aristotelia chilensis*. Terreno con pastoreo frecuente, por lo que no se evidencia la presencia de matorral bajo. En exposiciones norte, se encuentra *Puya spp.*, y algunas cactáceas.

Datos de las Parcelas de Muestreo

Parcela 1

- Coordenadas: 285.052 E; 6.339.040 N
- Pendiente: 70%
- Exposición: sur
- Altitud: 290 m.s.n.m
- Especies observadas: Se reconocen *Acacia caven*, *Trevoa trinervis*, *Peumus boldus* y *Lithraea caustica*
- Cobertura de 50%

Parcela 2

- Coordenadas: 285.010 E; 6.339.008 N
- Pendiente: 20%
- Exposición: oeste, en situación de fondo de quebrada
- Altitud: 280 m.s.n.m.

- Especies observadas: *Peumus boldus*, *Azara spp*, *Lithraea caustica*, *Trevoa trinervis*, *Schinus latifolius*,
- Cobertura del 70% compuesto por especies arbóreas con alturas promedio de 5 m, severidad del fuego baja, no se aprecia daño al suelo, encontrándose aún presencia de mantillo.

Parcela 3

- Coordenadas: 284.972 E; 6.338.982 N
- Pendiente: 40%
- Exposición: oeste
- Altitud: 270 m.s.n.m
- Especies observadas: *Acacia caven*, *Trevoa trinervis* y *Peumus boldus*, con una altura promedio de 3 m. y cobertura del 50%

Parcela 4

- Coordenadas: 285.054 E; 6.338.985 N
- Pendiente: 90%
- Exposición: oeste
- Altitud: 290 m.s.n.m
- Especies observadas *Acacia caven*, *Trevoa trinervis*, *Peumus boldus*, *Lithraea caustica*, *Quillaja saponaria*, con alturas del orden de los 5 m y cobertura del 50%

Parcela 5 (Testigo)

- Coordenadas 284.926 E; 6.339.141 N
- Pendiente: 40%
- Exposición: nor-oeste
- Altitud: 260 m.s.n.m
- Especies observadas: principalmente *Acacia caven*, acompañada de *Trevoa trinervis*, y *Lithraea caustica*. Se evidencia pastoreo. Cobertura arbórea del 50%
- Un estrato con cobertura global del 60%, compuesto principalmente por *Chusquea spp*, y una altura promedio de 2 m.

Fotografías de referencia:



PANORÁMICA



TESTIGO



PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

7.3.- Sexta Región

Fecha de prospección: 29/12/2016

Comuna: La Estrella

Cuadro 9.- Antecedentes área de prospección en La Estrella.

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas)			
	1 (quemada)	2 (quemada)	3 (quemada)	4 (quemada)
Superficie afectada (ha)			288	
Regeneración post-incendio	Baja	Nula	Nula	Baja
Efecto suelo (visual)	Inexistente	Baja	Baja	Baja

Observaciones

- El acceso al predio se encuentra a orilla de camino, Coordenadas UTM 258698 – 6200718
- Existen caminos internos (huellas) que permiten un buen tránsito al interior del predio.
- La especie principal es Espino, por tanto también fue la más afectada.

Parcela 1

- Coordenadas: 258216 - 6200742
- Pendiente: 5-10%
- Exposición: Este
- Especies observadas: Espino
- Leñosas altas con cobertura del 20%, no se observaron leñosas bajas .
- Altura promedio de los árboles 1,5 metros
- Pasa tendido eléctrico en la parcela

Parcela 2

- Coordenadas: 258918 - 6200677
- Pendiente: 10-20%
- Exposición: Sur-Este
- Especies observadas: Espino (especie principal), Maitén
- Leñosas altas con cobertura del 60% , leñosas bajas 20%
- Altura promedio de los árboles 2 metros
- Se observaron senderos de tránsito peatonal.

Parcela 3

- Coordenadas: 259000 - 6200661
- Pendiente: 20-25%
- Exposición: Nor-Este
- Especies observadas: Espino (principal), Maitén Boldo
- Leñosas altas con cobertura del 60%, (cobertura proyectada)
- Altura promedio de 2,5 metros.
- Se observaron fustes intervenidos post incendio, principalmente de espino
- Se observaron cárcavas.

- Son necesarias obras de restauración

Parcela 4

- Coordenadas: 258913 - 6200633
- Pendiente: 10-20%
- Exposición: Nor-Este
- Especies observadas: Espino
- Altura media 2 metros
- Leñosas altas con cobertura del 50%, no se ven leñosas bajas.
- Corresponde a zona de pastoreo

Parcela testigo

- Coordenadas 258745 - 6200606
- Pendiente: 5-10%
- Exposición: Este
- Especies observadas: Espino
- Altura media 2,5 metros, con árboles de 3,5 metros
- Leñosas altas con cobertura del 60%, no se observan árboles multifustales, presencia de zarzamora, no se observaron leñosas bajas.
- Zona de pastoreo

Fotografías de referencia:



PANORÁMICA



TESTIGO



PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

Fecha: 20/12/2016. Incendio: 3 dic. 2016

Localidad: El Toco, Pichidegua. VI Región

Distancia media de muestreo al camino principal (asfaltado): 1,5 km

Cuadro 10.- Antecedentes área de prospección en El Toco.

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas y testigo)			
	1 (quemada)	2 (quemada)	3 (quemada)	4 (quemada)
Superficie afectada (ha)			415	
Regeneración post-incendio	Nula	Nula	Nula	Baja
Efecto suelo (visual)	Daño superficial	Daño medio	Daño medio	Daño superficial

Observaciones

- Predio cuenta con canal de regadío
- En la entrada del predio fue posible observar plantaciones, las que no se vieron afectadas por el incendio.
- Existen caminos internos que permiten un buen tránsito al interior del predio.

Parcela 1

- Pendiente: 10-20%
- Exposición: Oeste
- Especies observadas: Espino, Boldo Tevo
- Leñosas altas con cobertura del 50%, leñosas bajas 20% de cobertura

Parcela 2

- Pendiente: 20-35%
- Exposición: Sur-Oeste
- Especies observadas: Boldo Tevo
- Leñosas altas con cobertura del 80% (cobertura inicial proyectada)
- Todas las especies del área prospectada se vieron afectadas por el incendio, además no se observó presencia de hojarasca en el sector (ausencia de materia orgánica en el suelo). Presencia de cárcavas.

Parcela 3

- Pendiente: 50-60%
- Exposición: Sur-Oeste
- Especies observadas: Quillay, Espino, Boldo Tevo
- Leñosas altas con cobertura del 40%, altura promedio de 6 metros (más altas que en otros puntos de muestreo), en apariencia no se ven leñosas bajas.

Parcela 4

- Pendiente: 10-20%

- Exposición: Sur- Oeste
- Especies observadas: Espino, Boldo Tevo, Litre
- Leñosas altas con cobertura del 60%, no se ven leñosas bajas.
- Se observaron distintas intensidades del incendio en este punto de prospección, aproximadamente un 30% de la superficie prospectada fue afectada por el incendio, el suelo no se encuentra afectado mayormente (no se observó hojarasca), existen pocos individuos afectados, principalmente el follaje (30%),

Fotografías de referencia:



PANORÁMICA



PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

7.4.- Séptima Región

Fecha de prospección: 17/02/2017

Comuna: Maule

Cuadro 11.- Antecedentes área de prospección en Ovejería (Maule).

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas y testigo)			
	1 (quemada)	2 (quemada)	3 (quemada)	4 (quemada)
Superficie afectada (ha)			802	
Severidad del incendio	Media	Alta	Media	Media
Regeneración post-incendio				
Efecto suelo (visual)	Baja	Media	Baja	Media

Observaciones

- El acceso al predio es por el Fundo Ovejería Negra, comuna de Maule. Ubicado a 2,5 Km al Oeste. Camino de Maule a Talca.
- Se asume una superficie afectada de más de 500 hectáreas de Bosque Nativo.
- Existen caminos internos (huellas) que permiten un buen tránsito al interior del predio.

Parcela 1

- Coordenadas: 252149 - 6066706
- Pendiente: 30%
- Exposición: Este
- Altitud: 141 m.s.n.m
- Especies observadas: Espino, Litre, Peumo, Boldo, *Trevoa quinquenervia*.
- Cobertura Total de 60-80%
- Estrato superior con Cobertura del 50%.
- Estrato medio con Cobertura de 20-50 %
- Estrato superior con Altura promedio de 3 metros.
- Estrato medio con Altura promedio de 1,5 metros.

Parcela 2

- Coordenadas: 252074 - 6066815
- Pendiente: 20%
- Exposición: Norte
- Altitud: 147 m.s.n.m.
- Especies observadas: Espino, Litre, *Trevoa quinquenervia*.
- Se observa un solo estrato con cobertura del 80%.
- Altura promedio de 2,5 m.

Parcela 3

- Coordenadas: 252257 - 6066609
- Pendiente: 10-15%
- Exposición: Nor-Este

- Especies observadas: Espino, Litre
- Se observa un estrato con cobertura de 60%
- Altura promedio de 2,5 metros.

Parcela 4

- Coordenadas: 252242 - 6066449
- Pendiente: 10-15%
- Exposición: Este
- Altitud: 127 m.s.n.m
- Especies observadas: Espino, *Trevoa quinquenervia*, Boldo, Litre
- Estrato superior con cobertura de 50%.
- Estrato medio con cobertura de 60%
- Cobertura Total de 80%
- Altura media del estrato superior de 4 m
- Altur media del estrato medio de 2,5 m

Parcela testigo

- Coordenadas 252028 - 6066881
- Pendiente: 15%
- Exposición: Nor-Este
- Altitud: 131 m.s.n.m
- Especies observadas: Espino, Boldo, Berberis, Litre, Peumo, Zarzamora.
- Estrato superior con cobertura de 60%
- Estrato medio con cobertura de 30%
- Cobertura Total de 80%
- Altura media del estrato superior de 4 metros.
- Altura media del estrato medio de 2,5 metros.

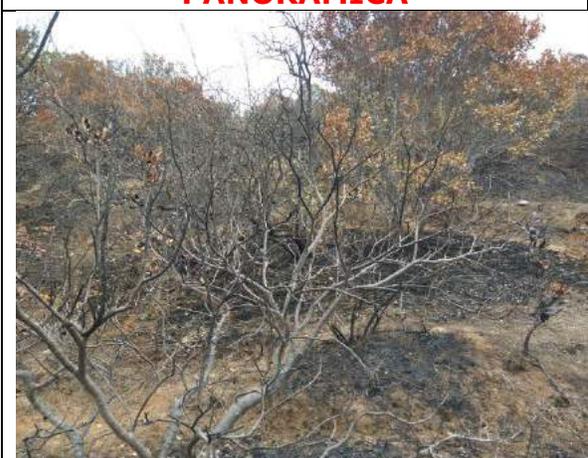
Fotografías de referencia:



PANORÁMICA



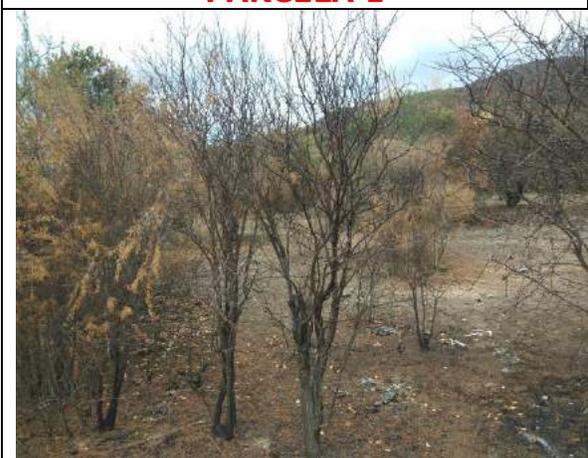
TESTIGO



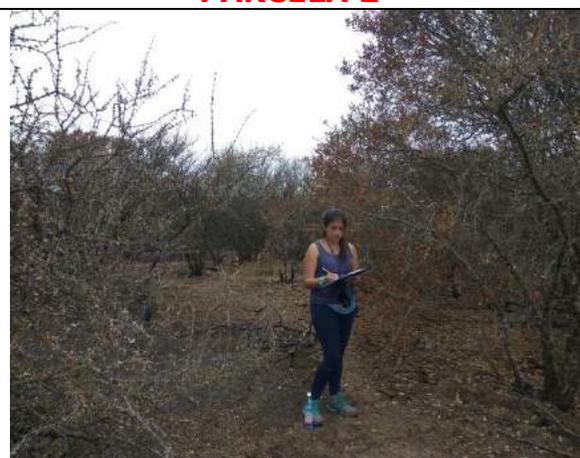
PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

Fecha de prospección: 18/02/2017

Comuna: San Javier

Cuadro 12.- Antecedentes área de prospección Nirivilo.

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas y testigo)			
	1 (quemada)	2 (quemada)	3 (quemada)	4 (quemada)
Superficie afectada (ha)			144	
Regeneración post-incendio	Media	Baja	Media	Baja
Efecto suelo (visual)	Baja	Baja	Baja	Baja

Observaciones

- El acceso al predio es por orilla de camino de San Javier a Constitución en el Km 29.
- Se asume una superficie afectada es de más de 100 hectáreas de Bosque Nativo. Donde 20 ha son espinales principalmente. Con Espino en un 80% y otras especies (Maitén, Litre, Rosa mosqueta en menor proporción) con un 20%.
- En términos generales se distinguen 2 estratos con altura media de 3,5 metros y de 1,5 metros. Con una pendiente de 10-15%, exposición Oeste.
- Existen caminos internos (huellas) que permiten un buen tránsito al interior del predio.

Parcela 1

- Coordenadas: 228500 - 6056902
- Pendiente: 10-15%
- Exposición: Oeste
- Altitud: 176 m.s.n.m
- Especies observadas: Espino, Maitén
- Leñosas bajas con Cobertura de 60%.
- Altura promedio de 2 metros.

Parcela 2

- Coordenadas: 228538 - 6056847
- Pendiente: 10-15%
- Exposición: Oeste
- Altitud: 177 m.s.n.m.
- Especies observadas: Espino, Maitén.
- Leñosas bajas con cobertura de 40%, leñosas altas 20%.
- Altura media de leñosas bajas de 2 metros. Altura media de leñosas altas de 3,5 metros.

Parcela 3

- Coordenadas: 228559 - 6056802
- Pendiente: 15%

- Exposición: Oeste
- Especies observadas: Espino, Maitén.
- Leñosas bajas con cobertura de 30%, leñosas altas 40%
- Altura promedio de leñosas bajas de 1 metro. De leñosas altas de 3 metros.

Parcela 4

- Coordenadas: 228602 - 6056682
- Pendiente: 10%
- Exposición: Oeste
- Altitud: 186 m.s.n.m
- Especies observadas: Espino en un 90%, Maitén en un 5% y otras (Litre, Quillay) en un 5%.
- Leñosas bajas con cobertura de 30%. Leñosas altas con 40%
- Cobertura Total de 60%
- Altura media de leñosas bajas de 1,5 metros, leñosas altas de 3,5 metros.

Parcela testigo

- Coordenadas 228489 - 6056993
- Pendiente: 10-15%
- Exposición: Oeste
- Altitud: 171 m.s.n.m
- Especies observadas: Espino, Litre, Rosa mosqueta, Maitén.
- Leñosas altas con cobertura de 25%, leñosas bajas con cobertura de 50%
- Cobertura Total de 70%
- Altura media de leñosas altas de 3 metros.
- Altura media de leñosas bajas de 2 metros.

Fotografías de referencia:



PANORÁMICA



TESTIGO



PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

7.5.- Continuación del muestreo de campo para las áreas seleccionadas.

Siguiendo con la metodología, se continuó con la caracterización de áreas test afectadas por el fuego, para las localidades de Aculeo, Lolol, Licantén y Hualañé, Limache, y áreas localizadas en Nirivilo, Maule y San Francisco de Mostazal, con el objetivo de reforzar los análisis de comportamiento del fuego y aportar al conocimiento de la variable de peligro potencial, de acuerdo a la descripción de las variables y factores que inciden en la variable fuego. En esta actividad de caracterización, se adicionó un nuevo punto de muestra, propiedad de la empresa Forestal Arauco S.A. Este predio – denominado Los Coipos – corresponde a un área muy relevante para el proyecto porque se trata de formaciones densas de bosque esclerófilo recientemente afectado por un incendio forestal que comprometió a cuencas completas de este tipo de formación, evidenciando la necesidad de efectuar una evaluación en campo y propuestas de restauración. Para ello se está ejecutando la Memoria de Título denominada “Propuesta de un sistema de prioridades a escala local para la restauración de áreas afectadas por incendios forestales. Estudio de caso aplicado a la Región del Maule”, cuya autora (Srta. Macarena Lara) está trabajando actualmente. La nueva parcela de prospección contempla cuatro puntos de muestreo y un punto test, de acuerdo al siguiente detalle (Cuadro 13):

Cuadro 13.- Detalle de la ubicación espacial de las parcelas muestra y piloto, para el sector Los Coipos, Comuna de Lolol.

ID	Parcela	Coordenada X	Coordenada Y
1	Muestra	257.003	6.139.001
2	Muestra	257.055	6.138.960
3	Muestra	257.128	6.138.979
4	Muestra	257.182	6.139.095
5	Test	258.886	6.138.479

Figura 3.- Representación gráfica de localización de parcelas de muestreo. El área se localiza en la Comuna de Hualañé, límite norte (Región del Maule) con Sur de la Región de O’Higgins (Comuna de Lolol).



La prospección de cada una de estas áreas se adecúa a lo comprometido en el proyecto, en cuanto a que corresponden a incendios de reciente data, con distintos niveles de afectación y composición de la vegetación quemada. Es necesario destacar que esta etapa es de carácter inicial en cuanto a la tipificación de los grados de afectación y las primeras proyecciones de las vías de restauración que tendría cada una de estas áreas prospectadas. A continuación se presenta el levantamiento de información realizado en parcelas de muestreo para la Región del Maule.

Localidad: Fundo los Coipos I y II.

Acceso: 254.701 E – 6.135.176 N

Distancia media de muestreo al camino principal (asfaltado): 4,5 km.

Cuadro 14.- Afectaciones clasificadas, para el sector Los Coipos, Región del Maule.

Parámetros del comportamiento del fuego	Parcelas de 100 m ² (zonas quemadas y testigo)			
	1	2	3	4
Fecha del incendio	Enero 2017	Enero 2017	Enero 2017	Enero 2017
Sup. afectada (ha)	360 ha (sin contar quebradas)			
Intensidad calórica	Alta	Alta	Alta	Alta
Severidad incendio	Alta (4)	Alta (4)	Alta (3,5-4)	Alta (3,5-4)
Regen. post-incendio	Baja-Nula	Baja-Nula	Baja	Baja
Efecto visual en suelo (visual)	Daño severo	Daño severo	Daño medio	Daño medio

Observaciones

- El predio visitado corresponde al Fundo Los Coipos I (1280 hectáreas) y Los Coipos II (500,7 hectáreas).
- El predio cuenta con un buen acceso, y caminos al interior de este que permiten un buen tránsito hacia los sectores muestreados.
- Es posible observar Bosque Nativo en los sectores de quebradas (antes de llegar a la zona de muestreo), en donde la severidad del incendio es alta, ya que se ven individuos calcinados y pérdida del 100% de la materia orgánica superficial.
- La severidad promedio del incendio es 4 (Castillo *et al*, 2016).
- El estado de conservación de las quebradas a nivel general es de 2-3, por lo que se requiere la incorporación de vegetación e incorporación de obras físicas para su restauración.
- Hay un cerco que permite el paso al área de alto valor de bosque esclerófilo, se construyó con la finalidad de evitar el ramoneo en la regeneración de individuos.

Parcela 1

- Coordenadas: 257.003 E – 6.139.001 N
- Pendiente: 60%
- Exposición: Sur-Este

- Especies observadas: Litre - Boldo
- Leñosas altas con cobertura proyectada del 75% (en el área prospectada existe una pérdida total de la cobertura de copa) y altura promedio de 10 metros (individuos calcinados en pie).
- En este sector el incendio tuvo un nivel de severidad alto (4), no se observó presencia de materia orgánica en el área prospectada.
- El daño en el suelo es severo, además se pudo observar la presencia de cárcavas.
- La regeneración es baja a nula (se observó regeneración sólo en un individuo).
- No se observa pedregosidad superficial.
- Para la restauración se requieren obras físicas y de incorporación de vegetación.
- Escala de degradación de Whisenant: 2-3

Parcela 2

- Coordenadas: 257.055 E – 6.138.960 N
- Pendiente: 15%
- Exposición: Sur-Este
- Especies observadas: Espino - Litre
- Leñosas altas con cobertura proyectada del 60% (en el área prospectada existe una pérdida total de la cobertura de copa) y altura promedio de 8 metros (individuos calcinados en pie).
- En este sector el incendio tuvo un nivel de severidad alto (4).
- El daño en el suelo es severo, con pérdida del 100% de la materia orgánica en el área prospectada.
- La regeneración es baja a nula en el caso de individuos arbóreos (se observó regeneración de espino), sin embargo se observó la regeneración de pastos.
- Pedregosidad superficial 10%
- Para la restauración se requieren obras físicas y de incorporación de vegetación.
- Escala de degradación de Whisenant: 2-3

Parcela 3

- Coordenadas: 257.128 E – 6.138.979 N
- Pendiente: 40%
- Exposición: Sur-Oeste
- Especies observadas: Litre-Quillay
- Leñosas altas con cobertura proyectada del 75-80% (en el área prospectada existe una pérdida total de la cobertura de copa) y altura promedio de 7,5 metros (individuos calcinados en pie).
- En este sector el incendio tuvo un nivel de severidad alto (3,5-4).
- El daño en el suelo es menor en comparación a los puntos de muestreo anterior, sin embargo existe pérdida del 100% de la materia orgánica superficial.
- La regeneración es baja en el caso de individuos arbóreos, se observó la regeneración de pastos.
- Pedregosidad superficial inferior 10%

- Escala de degradación de Whisenant: 2-3

Parcela 4

- Coordenadas: 257.182-6.139.095
- Pendiente: 40%
- Exposición: Sur-Oeste
- Especies observadas: Espino - Litre
- Leñosas altas con cobertura proyectada del 70% (en el área prospectada existe una pérdida total de la cobertura de copa) y altura promedio de 6 metros (individuos calcinados en pie).
- En este sector el incendio tuvo un nivel de severidad alto (3,5-4).
- El daño en el suelo es menor en comparación a los puntos de muestreo anterior, sin embargo existe pérdida del 100% de la materia orgánica superficial.
- La regeneración es baja (se observó regeneración de espino y litre), además de la regeneración de pastos.
- Pedregosidad superficial inferior 10%
- Para la restauración se requieren obras físicas y de incorporación de vegetación.
- Escala de degradación de Whisenant: 2-3

Parcela testigo

- Coordenadas: 258.886 E – 6.138.479 N
- Especies observadas: Quillay, Espino, Boldo, Bollén, Litre, Romerillo, Quila.
- Cobertura arbórea de copa 90%, altura promedio 9 metros
- Pendiente: 60%
- Exposición Sur-Oeste
- Pedregosidad superficial: 30-40%

Fotos del sector:



PANORÁMICA



TESTIGO



PARCELA 1



PARCELA 2



PARCELA 3



PARCELA 4

Los datos recopilados para esta nueva zona de muestreo, complementan los diagnósticos elaborados para las áreas informadas en el informe 1, dado que las formaciones de bosque esclerófilo presentan distintas escalas de afectaciones, y con ello, distintas proyecciones de recuperación basado en criterios de comportamiento potencial del fuego. Por tratarse de un sitio prioritario de conservación, las acciones o pautas preliminares en restauración contemplan, además, la posibilidad de otras medidas tales como mulch, tratamiento con semillas y disposición de rastrojos orgánicos. Estas medidas serán analizadas conforme se evalúe a comienzos de la primavera las cuatro parcelas de este predio.

Anteriormente se indicó la escala Whisenant (1999), en el contexto de los resultados obtenidos para los ocho sitios de muestreo del proyecto, dando como resultado las referencias básicas acerca del estado inicial o diagnóstico de las posibilidades y opciones de restauración, pensando en una imagen objetivo y considerando dentro de las opciones, la intervención con obras físicas y también

opciones de tipo biológicas. Actualmente la tendencia cada vez se inclina por menos intervenciones de tipo mecánicas, y más cercano a la naturaleza, a base de materias orgánicas gradualmente integradas a los espacios quemados.

El punto de partida para identificar un sistema adecuado de restauración en matorrales y bosques esclerófilos, comienza con la identificación del nivel de degradación (baja, media, alta) a la cual puede adscribirse el sitio a restaurar. Para identificar el nivel de degradación proponemos usar el Modelo Hipotético de Degradación de Whisenant (1999).

Se entiende por sistema de restauración al conjunto de intervenciones o medidas que ocurren a lo largo del desarrollo del proyecto. Estas intervenciones o medidas pueden ser pasivas, cuando pretenden excluir las causas de degradación, o activas, cuando existe un aporte directo de trabajo, materiales, plantas y obras en el sitio a restaurar. La construcción de cercos para la exclusión de ganado es una medida pasiva que pretende excluir las causas de degradación por ramoneo del ganado. Otras medidas pasivas son la caza o uso de cebos para el control de roedores exóticos y lagomorfos, la prevención y el control de incendios, entre otras.

Las medidas o intervenciones activas pueden ser de dos tipos: físicas y biológicas. Las medidas físicas se refieren a todas aquellas que permiten la estabilización del terreno y el control de la erosión. Entre estas medidas se encuentran la construcción de empalizadas, zanjas de infiltración, diques de contención, construcción de cunetas, alcantarillas y reperfilamiento del terreno. Las medidas biológicas buscan agregar, remover o modificar la vegetación, cultivar los suelos por ejemplo mediante casillas o subsolado, la incorporación de materia orgánica o cubriendo los suelos con mulch, entre otras. Como punto de partida parece razonable no remover la vegetación perenne en ecosistemas afectados por incendios, dado que esta puede servir de nodriza para que otras especies se establezcan.

En los matorrales y bosques esclerófilos afectados por incendios en general se requerirá establecer restauración pasiva independiente del nivel de degradación. Básicamente esto implicará la construcción de cercos, vigilancia y la prevención y control de incendios. Estas serán las únicas medidas requeridas en los sitios con bajo nivel de degradación. En los sitios con nivel medio de degradación se requerirán medidas biológicas adicionalmente a las medidas pasivas de restauración. En los sitios con alto nivel de degradación se requerirán medidas físicas adicionalmente a las medidas biológicas y pasivas de restauración (Figura 4).

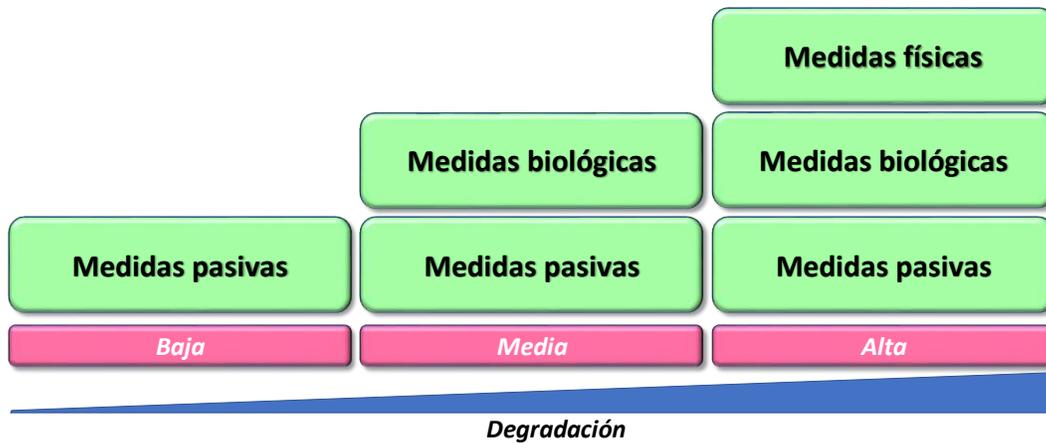


Figura 4.- Escala de degradación y tipo de medidas requeridas, contextualizada a los resultados obtenidos para bosque y matorral esclerófilo.

Las medidas biológicas involucran la plantación de un ensamble de especies, el cultivo del terreno, subsidios iniciales de riego, aportes de materia orgánica y mulching, entre otras. Por ensamble de especies hace referencia al conjunto de especies vegetales a ser restauradas. En este caso el ensamble de especies se ve dictado por la caracterización de composición, estructura y procesos de los distintos estados de degradación. Los ensambles iniciales corresponden a una simplificación de la composición de las comunidades de referencia. Actualmente el equipo del proyecto se encuentra en el desarrollo y vínculo de estas escalas de degradación (Figura 4), con el análisis de todos los antecedentes recopilados en las campañas de campo.

De los resultados obtenidos en terreno, y el análisis detallado de las fotografías, junto al estudio integrado de las variables y factores del comportamiento del fuego, fue posible realizar un diagrama resumen, que sintetiza el patrón de presencia, abundancia y nivel de degradación de las distintas especies del bosque esclerófilo analizado en cada una de las parcelas de muestreo (Cuadro 15).

Cuadro 15.- Caracterización de la comunidad de especies en proceso de recuperación post-incendios para cada zona de muestreo. Se caracterizan las escalas de degradación, severidad y coberturas.

Región	Sector	Nombre	Parcelas de 100 m ² (presencia de especies en orden decreciente)					Severidad media. Castillo et al (2016)	Escala de Whisenant	Braun-Blanquet (promedio especies)
			1	2	3	4	Test.			
RM	1	Cuesta Barriga	Litre → Quillay → Colliguay → Tevo	→Espino → Maitén → Quillay	Espino → Litre	Espino → Litre	Quillay → Espino → Colliguay → Maitén	III	2.5-3.5	3
	2	San José de Maipo	Litre → Quillay → Colliguay → Palqui → Cactáceas	Retamilla → Pingo Pingo → Cactáceas	Quillay → Litre	Litre → Quillay	Quillay → Litre	III	2.0-2.5	4
V	3	Villa Alemana	Espino → Tevo → Boldo → Litre	Boldo → Azara → Litre → Tevo → Molle	Espino → Tevo → Boldo	Espino → Tevo → Boldo → Litre	Espino → Tevo → Litre	V	3.0-3.5	4
	4	Rodelillo	Chusquea → Litre → Molle	Litre → Tevo → Puya → Molle	Chusquea → Boldo → Litre	Peumo → Boldo → Molle → Litre → Matico	Chusquea → Litre	IV-V	2.5-3.5	5
VI	5	El Toco	Espino → Boldo → Tevo	Boldo → Tevo	Quillay → Espino → Boldo → Tevo	Espino → Boldo → Tevo → Litre	Espino → Boldo → Tevo → Litre	III	2.0-3.0	3
	6	La Estrella	Espino	Espino → Maitén	Espino → Maitén → Boldo	Espino	Espino	IV-V	3.0-3.5	4
VII	7	Ovejería	Espino → Litre → Peumo → Boldo → Tevo	Espino → Litre → Tralhuén	Espino → Litre	Espino → Tralhuén → Boldo → Litre	Espino → Boldo → Berberis → Litre → Peumo	III-IV	3.0-4.0	4
	8	Nirivilo	Espino → Maitén	Espino → Maitén	Espino → Maitén	Espino → Maitén	Espino → Litre → Maitén	II-III	3.0-3.3	3

El cuadro anterior, señala la secuencia y presencia de especies en cada sector, lo que da cuenta del status de respuesta frente al fuego, relacionando los indicadores de severidad con la escala de riqueza y abundancia de Braun-Blanquet. Esta escala detalla los porcentajes de cobertura presentes, en este caso, después de incendio, como un indicador de la respuesta del bosque. Así pues, ésta se subdivide en siete categorías: "r": un solo individuo vivo, despreciable; "+": más individuos herbáceos o leñosos pero con escasa cobertura; "1": cobertura menor de 5% en leñosas y pastos y rebrotes; "2": cobertura entre 5 y 25% para leñosas, pastos y rebrotes; "3": cobertura de 25 y 50% para leñosas, pastos y rebrotes; "4": cobertura entre 50 y 75% para leñosas, pastos y rebrotes; y "5": para cobertura superior al 75%. En general, todos los sectores se han recuperado rápidamente, siendo actualmente evaluados en cuanto a la conveniencia de aplicar medidas de restauración. La premisa esencial para la recuperación de estos ecosistemas se concentra en primer lugar en la productividad del suelo, por sus nutrientes y estabilidad mecánica frente a las primeras lluvias y la erosión.

El indicador de cobertura otorga y las posibilidades de restauración basado en el índice de Whisenant, permite entonces establecer las primeras premisas respecto a cómo debiese abordarse el proceso in situ, para cada área estudiada, y además cómo hacer concordante las medidas a tomar, con la condición potencial de peligro frente a la respuesta natural de la regeneración y aumento en biomasa joven. Los primeros resultados indican que no es necesario realizar ensamble de especies que hayan sido desplazadas producto del fuego, incluso como criterio extendido para todos los incendios estudiados. Sí en cambio, es necesario priorizar algunas medidas de tipo biológicas al suelo, particularmente para lograr un rápido y mejor cubrimiento de aquellas áreas calificadas a base del comportamiento del fuego, como las más afectadas desde el punto de vista de la severidad. De acuerdo a Pérez-Quezada y Bown (2015) los mejores indicadores de degradación/recuperación son la cobertura vegetal perenne y la concentración de carbono en los primeros 10 cm de suelo mineral. Estos criterios pueden ser utilizados en nuestro caso, de afectaciones de incendios en matorrales y bosques esclerófilos, para monitorear su recuperación.

7.6.- Caracterización en campo de las afectaciones

El área de investigación ha sido objeto de un extenso período de sequías (Dirección Meteorológica de Chile, 2005), en donde se constata el sostenido descenso de los montos de precipitaciones para las regiones centro-sur de Chile, dejando como consecuencia una situación de menor disponibilidad de agua para las plantas y con ello el descenso paulatino de las condiciones de humedad locales y también del contenido de humedad de los tejidos vegetales (Castillo 2006, 2013). Los últimos mega incendios forestales ocurridos en el verano de 2017 colocan de manifiesto esta situación, con el aumento significativo del nivel de peligro, y también la continuidad de combustible liviano que sirve de puente o conector espacial entre parches de bosque esclerófilo, y con ello, la facilitación de la propagación del fuego.

En relación a lo anterior, la condición de peligro se expresa de dos maneras: desde el punto de vista ambiental y desde la perspectiva de la propagación potencial del fuego (Castillo *et al* 2016). En el primer caso, las variables meteorológicas tales como temperatura y humedad relativa del aire, y también el factor topográfico, inciden decisivamente en el comportamiento potencial del fuego en avance libre, mientras que en segundo caso, las propiedades de los combustibles – en este caso las características de la vegetación esclerófila estudiada – se expresa en la carga o disponibilidad de biomasa para la combustión, el factor de velocidad de propagación lineal del fuego y la resistencia al control de los incendios que puedan propagarse libremente. En tal sentido, el peligro conlleva a una evaluación preliminar de las condiciones potenciales que presenta una masa forestal frente a la incidencia del fuego. Para el caso de las formaciones de bosque y matorral esclerófilo, se ha efectuado una evaluación de esta condición, considerando los parámetros de comportamiento del fuego que aluden a este nivel de peligro.

Los antecedentes relativos a la caracterización de los niveles de peligro están básicamente referidos al análisis de los incendios forestales que afectaron en la recién pasada temporada de verano 2016/17 a los ocho sectores seleccionados para el presente Proyecto (cuadro 16).

Cuadro 16.- Antecedentes de los sectores evaluados

Sectores	Nombre del Sector	Región	Pendiente Media (%)	Exposic. dominante	T°C	HR (%)	Vel. Viento (Km/h)	Mod Combustible Predom
1	Cuesta Barriga	RM	70	Este	28	40	Sur	MT-01 / MT-02 / PCH-02
2	Sn José Maipo	RM	65	Noroeste	28	40	Sur	MT-01 / MT-02 / PCH-01
3	Villa Alemana	V	50	Oeste	30	35	Sur	MT-01 / MT-02 / MT-05
4	Rodelillo	V	55	Variable	25	45	Sur	MT-01 / MT-02 / MT-05
5	El Toco	VI	25	Suroeste	28	40	Sur	MT-01 / MT-02
6	La Estrella	VI	15	Noeste	30	35	Sur	MT-01 / MT-02 / PCH-02
7	Ovejería	VII	25	Noreste	28	40	Sur	MT-01 / MT-02 / PCH-02
8	Nirivilo	VII	13	Oste	25	45	Sur	MT-03 / MT-04 / PCH-04

Los modelos de combustible presentes en los ocho sectores indicados en el Cuadro 16 corresponden a la clasificación establecida por Julio (1990), que

posteriormente fueron incorporados en la construcción del sistema KITAL sobre prognosis y gestión en el control de incendios forestales (Julio *et al*, 1995). La descripción de estos modelos se presenta en el cuadro 17.

Cuadro 17.- Identificación de Modelos de Combustible

Modelos	Descripción
MT-01	Matorrales y Arbustos Mesomórficos Densos
MT-02	Matorrales y Arbustos Mesomórficos Medios y Ralos
MT-03	Matorrales y Arbustos Higromórficos Densos
MT-04	Matorrales y Arbustos Higromórficos Medios y Ralos
MT-05	Formaciones de Quila (<i>Chusquea spp</i>)
PCH-01	Pastizales y Estratos Herbáceos Mesomórficos Densos
PCH-02	Pastizales y Estratos Herbáceos Mesomórficos Ralos
PCH-03	Pastizales y Estratos Herbáceos Higromórficos Densos
PCH-04	Pastizales y Estratos Herbáceos Higromórficos Ralos

Los estándares considerados para establecer las referencias del comportamiento potencial del fuego también corresponden a las utilizados por el sistema KITAL, incluyendo los algoritmos para determinarlos (Julio *et al*, 1995). También se estimó conveniente considerar solamente las tres variables de mayor importancia en la caracterizar del comportamiento del fuego, las que están referidas a la Velocidad de Propagación Lineal, la Intensidad Calórica Lineal y la Longitud de la Llama.

Respecto a la velocidad de propagación lineal, de acuerdo a lo propuesto por Julio *et al* (1995), que señala que depende principalmente del modelo de combustible afectado por el incendio (F_{mc}), el contenido de humedad de las partículas finas y muertas (F_{ch}), la velocidad del viento (F_{vv}) y la pendiente promedio del terreno (F_p), se calculó mediante la fórmula que se indica:

$$VPL = (F_{mc}) (F_{ch}) (F_p + F_v)$$

Los resultados obtenidos, que se exponen en el Cuadro 6, consideraron tres resultados opcionales, que corresponden a los cálculos con tres situaciones diferentes de velocidad del viento (0, 10 y 20 kilómetros por hora).

Cuadro 18.- Valores de la Velocidad de Propagación Lineal en los ocho sectores

Factores	Fvpl	Fch	Fp	Fvv-1	Fvv-2	Fvv-3	VPL-1	VPL-2	VPL-3
				0 (km/h)	10 (km/h)	20 (km/h)	(m/seg)	(m/seg)	(m/seg)
Sector 1	0,00838	2,5	3,3	1	5,42	8,4	0,0901	0,1827	0,2452
Sector 2	0,00812	2,5	3,09	1	5,42	8,4	0,0830	0,1727	0,2331
Sector 3	0,01067	3,3	2,51	1	5,42	8,4	0,1236	0,2792	0,3842
Sector 4	0,00953	1,94	2,7	1	5,42	8,4	0,0684	0,1502	0,2053
Sector 5	0,00994	2,5	1,67	1	5,42	8,4	0,0663	0,1761	0,2502
Sector 6	0,01231	3,3	1,38	1	5,42	8,4	0,0966	0,2761	0,3972
Sector 7	0,00939	2,5	1,67	1	5,42	8,4	0,0627	0,1664	0,2363
Sector 8	0,00449	1,94	1,33	1	5,42	8,4	0,0203	0,0588	0,0848

En cuanto a los resultados de los cálculos de la Intensidad Calórica Lineal (ICL) y la Longitud de la Llama (L), éstos se presentan en los cuadros siguientes respectivamente. En ambos casos, los antecedentes requeridos corresponden a la Velocidad de Propagación Lineal (Vpl) ya expuesta, la Carga de Combustible Disponible (CD), y el Poder Calorífico del modelo de combustible (PC). Las fórmulas utilizadas fueron: $ICL (Kcal/m/seg) = (Vpl)(CD)(PC)$; y $L (metros) = (0,1477)(ICL)^{0,46}$

Cuadro 19.- Cálculo de la Intensidad Calórica Lineal (kcal/m/seg)

	CD	PC	VPL-1	VPL-2	VPL-3	ICL-1	ICL-2	ICL-3	RANGO
Sector 1	1,765	4566	0,09011	0,18273	0,24517	726,01	1472,27	1975,41	726-1975
Sector 2	2,438	4637	0,08298	0,17266	0,23312	937,95	1951,58	2634,98	938-2635
Sector 3	1,687	4484	0,12359	0,27922	0,38415	934,85	2112,06	2905,75	935-2906
Sector 4	2,203	4653	0,06843	0,15017	0,20528	701,51	1539,52	2104,52	702-2105
Sector 5	1,682	4438	0,06633	0,17614	0,25018	495,21	1315,01	1867,72	495-1868
Sector 6	1,484	4747	0,09665	0,27614	0,39716	680,68	1944,80	2797,08	681-2797
Sector 7	1,959	4532	0,06266	0,16639	0,23633	556,26	1477,10	2097,95	556-2098
Sector 8	1,928	4403	0,02031	0,05884	0,08482	172,45	499,58	720,14	172-720

Cuadro 20.- Cálculo de la Longitud de la Llama (en metros)

	ICL-1	ICL-2	ICL-3	L-1 (m)	L-2 (m)	L-3 (m)	RANGO
Sector 1	726,01	1472,27	1975,41	3,06	4,23	4,85	4,23-4,85
Sector 2	937,95	1951,58	2634,98	3,44	4,82	5,53	4,82-5,53
Sector 3	934,85	2112,06	2905,75	3,43	5,00	5,79	5,00-5,79
Sector 4	701,51	1539,52	2104,52	3,01	4,32	4,99	4,32-4,99
Sector 5	495,21	1315,01	1867,72	2,56	4,02	4,72	4,02-4,72
Sector 6	680,68	1944,80	2797,08	2,97	4,81	5,69	2,97-5,89
Sector 7	556,26	1477,10	2097,95	2,71	4,24	4,98	4,24-4,98
Sector 8	172,45	499,58	720,14	1,58	2,57	3,05	2,57-3,05

En general el tipo de vegetación presente en todas las zonas de muestreo con presencia de incendios corresponde a matorral arborescente semidenso y denso, con mezclas de pastizales de alto potencial de propagación. La energía liberada en el proceso de combustión presenta valores oscilantes entre 172 y 2905 kcal/m/s. Esta energía permite calcular la longitud media de las llamas, y que en el caso de los sectores 3 y 4 localizados en matorrales densos en la Región de Valparaíso, alcanzan el mayor rango de intensidad (5,00-5,79m en sector 3 y ligeramente menor en sector 2. Estos valores simulados a partir de las evidencias en campo denotan la alta carga de vegetación combustible consumida y el potencial de regeneración post-fuego, el cual ha sido estudiado para estas mismas áreas (Castillo, 2006). Le sigue muy cercana la Región Metropolitana. Por el contrario, el menor nivel de severidad correspondería a la Región del Maule y, en segundo término, la Región de O'Higgins, ambas con valores muy inferiores a los de las regiones norteñas.

Respecto en la comparación entre sectores, Villa Alemana (Nº3, en la R. Valparaíso), se observa con el más crítico, seguido de San José de Maipo (Nº2, en la R. Metropolitana. Por el contrario, los menores niveles de severidad se comprueban en Nirivilo (Nº8, en la R. Maule), seguido de El Toco (Nº5, en la R. O'Higgins).

Estos resultados sustentarán posteriormente las escalas de afectaciones, permitiendo vincularlas con las medidas preliminares que se proponen para el tratamiento de cada una de las áreas muestreadas, en función de una imagen objetivo, que es la restauración del bosque y matorral esclerófilo. Por tratarse de distintas situaciones de bosque, existen también opciones diferenciadas entre un área y otra, dependiendo de las condiciones actuales en que estos ecosistemas pueden ser objeto de medidas, que, en el futuro, deben propender a restaurar y mitigar el impacto potencial de futuros incendios forestales. El análisis de peligro potencial aquí desarrollado permite en consecuencia establecer las primeras orientaciones sobre las acciones y criterios a considerar en la restauración.

La restauración en consecuencia, necesita de una base de referencia que explique detalladamente el grado de afectación (severidad) de las distintas formaciones vegetales, no descuidando otros componentes del micrositio, especialmente el suelo. Considerando además los aspectos técnicos de accesibilidad al sector, disponibilidad de plantas, mano de obra y temporalidad en la ejecución de las obras, el cuadro 21 explica los alcances de cada sector primeramente describiendo de manera general las afectaciones y posteriormente las medidas iniciales factibles de implementar dado el conjunto de restricciones operativas indicadas anteriormente.

Cuadro 21.- Referencias para el proceso de restauración de cada una de las áreas prospectadas.

Región	Localizac.	Comentarios preliminares sobre restauración
Metro-politana	San José de Maipo	Corresponden a comunidades vegetales de bosques esclerófilos y formaciones xerofíticas medianamente degradadas antes de la ocurrencia del incendio. Posterior al incendio (verano 2017, de intensidad media), el fuego quemó parcialmente los individuos y parcialmente la capa de hojarasca. Sólo en algunos parches se cree se produjo combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Las medidas de recuperación son mayoritariamente de tipo pasivo con exclusión de uso mediante cercos y control de ganado, y algunas medidas vegetacionales como plantación nucleada con especies esclerófilas, pero sólo en aquellos parches que hayan sido afectados con alta intensidad de fuego, los que son minoritarios.
	Cuesta Barriga	Corresponden a comunidades vegetales de matorrales y bosques esclerófilos bastante degradados antes de la ocurrencia del incendio. Posterior al incendio (verano 2017, de media a alta intensidad), una fracción importante de la vegetación se quemó al igual que la capa de hojarasca con muy probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Las medidas de recuperación se encuentran en tres niveles: (i) medidas pasivas: exclusión de uso mediante cercos o control de ganado, (ii) medidas vegetacionales: plantación nucleada con especies esclerófilas (en parches, siguiendo el método de Sharma), y (iii) medidas físicas, que debieran tener la mayor prioridad, con control de erosión mediante la destrucción de la hidrofobicidad, la aplicación de semillas de especies herbáceas nativas y la incorporación de mulch construcción de obra física como empalizadas, y zanjas de infiltración.
V	Limache	Corresponden a comunidades vegetales de matorrales y bosques esclerófilos degradados antes de la ocurrencia del incendio. Posterior al incendio (2014, de alta intensidad), la mayor parte de la vegetación se quemó al igual que la capa de hojarasca con muy probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Las medidas de recuperación se encuentran en tres niveles: (i) medidas pasivas: exclusión de uso mediante cercos o control de ganado, (ii) medidas vegetacionales: plantación nucleada con especies esclerófilas (en parches), (iii) medidas físicas: control de erosión mediante la destrucción de la hidrofobicidad, la aplicación de semillas de especies herbáceas nativas y la incorporación de mulch diques, empalizadas, y zanjas de infiltración sólo donde se requiera. Es una zona bastante heterogénea, mezcla de matorrales de espino y matorrales esclerófilos fuertemente degradados. La intensidad del incendio también es bastante heterogénea y existen signos severos de erosión previos al incendio pero que se acentuarán este invierno. Resulta prioritaria la construcción de obra física de control de la erosión, pero sólo en aquellos lugares que se requiera (e.g. Cárcavas).

	Rodelillo	<p>Corresponden a comunidades vegetales de matorrales y bosques esclerófilos degradados antes de la ocurrencia del incendio. Posterior al incendio (2014, de alta intensidad), la mayor parte de la vegetación se quemó al igual que la capa de hojarasca con muy probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Las medidas de recuperación se encuentran en tres niveles: (i) medidas pasivas: exclusión de uso mediante cercos o control de ganado, (ii) medidas vegetacionales: plantación nucleada con especies esclerófilas (en parches, siguiendo el método de Sharma), (iii) medidas físicas: control de erosión mediante la destrucción de la hidrofobicidad, la aplicación de semillas de especies herbáceas nativas y la incorporación de mulch diques, empalizadas, y zanjas de infiltración sólo dónde se requiera. Ahora bien, posterior a 2014 la recuperación natural ha sido excepcional con <i>Chusquea quila</i> (en parcelas 1, 3 y 5) y con <i>Eringium paniculatum</i> (parcela 2) que ha cubierto prácticamente por completo los sectores quemados. Exclusión de uso y plantación nucleada en parches abiertos se establecen como los factores claves de recuperación.</p>
VI	Pichidegua	<p>Corresponden a comunidades vegetales de matorrales y bosques esclerófilos degradados antes de la ocurrencia del incendio. Posterior al incendio, una proporción importante de la vegetación se quemó al igual que la capa de hojarasca con probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Las medidas de recuperación se encuentran en tres niveles: (i) medidas pasivas: exclusión de uso mediante cercos o control de ganado, (ii) medidas vegetacionales: plantación nucleada con especies esclerófilas (en parches, siguiendo el método de Sharma), (iii) medidas físicas: control de erosión mediante la destrucción de la hidrofobicidad, la aplicación de semillas de especies herbáceas nativas y la incorporación de mulch diques, empalizadas, y zanjas de infiltración sólo dónde se requiera.</p>
	La Estrella	<p>Corresponden a matorrales de espino fuertemente degradados como resultado de su uso histórico: ganadería, cultivos, extracción de leña y carbón e incendios forestales. Posterior al incendio, una proporción importante de los espinales se quemó con intensidad variable, eliminando cobertura herbácea y afectando parcialmente los espinos. En las zonas donde el incendio tuvo mayor intensidad existe probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Las medidas de recuperación se encuentran en tres niveles: (i) medidas pasivas: exclusión de uso mediante cercos o control de ganado (todas las áreas), (ii) medidas vegetacionales: plantación nucleada con especies esclerófilas excepto donde el incendio tuvo baja intensidad (en parches, siguiendo el método de Sharma), (iii) medidas físicas: control de erosión mediante la destrucción de la hidrofobicidad, la aplicación de semillas de especies herbáceas nativas y la incorporación de mulch diques, empalizadas, y zanjas de infiltración sólo dónde se requiera (e.g. Parcela 3).</p>

Cuadro 21 (cont.).- Referencias para el proceso de restauración de cada una de las áreas prospectadas.

VII	Ovejería (Maule)	Corresponden a comunidades vegetales de matorrales y bosques esclerófilos degradados antes de la ocurrencia del incendio. Posterior al incendio, una proporción importante de la vegetación se quemó al igual que la capa de hojarasca con probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Las medidas de recuperación se encuentran en tres niveles: (i) medidas pasivas: exclusión de uso mediante cercos o control de ganado, (ii) medidas vegetacionales: plantación nucleada con especies esclerófilas (en parches, siguiendo el método de Sharma), (iii) medidas físicas: control de erosión mediante la destrucción de la hidrofobicidad, la aplicación de semillas de especies herbáceas nativas y la incorporación de mulch diques, empalizadas, y zanjas de infiltración sólo dónde se requiera. En las parcelas 1, 2 y 4; la vegetación arbustiva y arbórea combustionó casi por completo, acá exclusión de uso y plantación nucleada parecen claves para la recuperación del sitio. La parcela 3 corresponde a un matorral de espinos fuertemente degradado, que combustionó prácticamente por completo, donde nuevamente exclusión de uso y plantación nucleada, adicionalmente a la preparación del suelo para mitigar hidrofobicidad, se asumen claves para la recuperación del sitio.
	Nirivilo	Corresponden a matorrales de espinos fuertemente degradados como resultado de su uso histórico: ganadería, cultivos, extracción de leña y carbón e incendios forestales. Posterior al incendio, una proporción importante de los espinales se quemó con intensidad variable, eliminando cobertura herbácea y afectando parcialmente los espinos. En las zonas donde el incendio tuvo mayor intensidad existe probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Las medidas de recuperación se encuentran en tres niveles: (i) medidas pasivas: exclusión de uso mediante cercos o control de ganado (todas las áreas), (ii) medidas vegetacionales: plantación nucleada con especies esclerófilas (en parches, siguiendo el método de Sharma), excepto donde el incendio tuvo baja intensidad, (iii) medidas físicas: control de erosión mediante la destrucción de la hidrofobicidad, la aplicación de semillas de especies herbáceas nativas y la incorporación de mulch diques, empalizadas, y zanjas de infiltración sólo dónde se requiera (e.g. Parcela 4).

7.7.- Seguimiento de la vegetación en las parcelas de muestreo. Período noviembre 2017-marzo 2018.

Siguiendo la metodología de evaluación en campo, la tercera fase del proyecto contempló un seguimiento para tres de cuatro regiones comprometidas. Esto debido a aspectos operativos y de la gestión de permisos necesarios para el ingreso a las distintas áreas en donde se instalaron las parcelas de medición. En el siguiente cuadro se ilustran las evaluaciones realizadas. En el siguiente cuadro se indica un repaso de las áreas nuevamente evaluadas.

Cuadro 22.- Antecedentes de los sectores evaluados. Período Noviembre de 2017 – Marzo de 2018.

Región	Fecha	Nombre del Sector	Pendiente Media (%)	Exposic. dominante	Mod Combustible Predom
V	20 febrero 2018	Limache	50	Oeste	MT-01 / MT-02 / MT-05
VI	13 febrero 2018	El Toco	25	Suroeste	MT-01 / MT-02
VI	6 febrero 2018	La Estrella	15	Noeste	MT-01 / MT-02 / PCH-02
VII	15 marzo 2018	Nirivilo	13	Oste	MT-03 / MT-04 / PCH-04
VII	14 noviembre 2017	Los	25	Sur	MT02-MT03
	21 marzo 2018	Coipos(*)			

(*) Corresponde a un sitio prioritario para la conservación del bosque esclerófilo, declarado por la Empresa Forestal Arauco S.A.

Los sectores de Cuesta Barriga y San José de Maipo (Región Metropolitana) y Rodelillo (V Región) fueron evaluados durante el mes de mayo de 2018. Considerando las mismas coordenadas indicadas en los informes anteriores para cada una de las parcelas evaluadas, se describen los resultados obtenidos en cada caso. En los resultados se realiza una evaluación y discusión de los resultados en relación a las condiciones de referencia evidenciadas desde la primera medición. Los criterios para el seguimiento de la respuesta frente al fuego se basan en las referencias de Keeley (2009), Castillo et al (2016), Julio et al (2012), Whisenant (1990) y García-Chevesich (2019, 2015). Los alcances ecológicos en la discusión de resultados son apoyados además por las referencias de Ramírez *et al* (2015) y Becerra (2017).

7.7.1.- V Región

❖ Localidad: Limache

Fecha de prospección: 20/02/2018

Acción: Seguimiento de evaluación.

Comuna: Limache.

➤ Parcela 1 (muestra)

Observaciones:

- Exposición SE
- Cobertura total de un 50% (20% rebrote).
- Regeneración Inicial Post Incendio: 2 (Presencia del 25% en relación a la zona quemada capa).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	3 m	<i>Peumus boldus</i> – <i>Retanilla trinervia</i>	30% (20% rebrote)
Herbáceo	0,3 m	<i>Mix de herbáceas</i>	30% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Peumus boldus</i>	2m	
<i>Retanilla trinervia</i>	2a	
<i>Acacia caven</i>	1	
<i>Cestrum parqui</i>	+	
<i>Briza minor</i>	1	Seco
<i>Aira caryophyllea</i>	1	Seco
<i>Lactuca serriola</i>	+	Seco
<i>Avena barbata</i>	+	Seco
<i>Brassica campestris</i>	+	Seco
<i>Pseudognaphalium sp</i>	+	Seco
<i>Gamochaeta sp</i>	+	Seco
<i>Dioscorea sp</i>	+	Seco
Sp1, "Pasto comun compuesta"	+	
Sp2, "Pasto cola de leon2"	+	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 2 (muestra)

Observaciones:

- Presencia de fecas de vaca y lagomorfos.
- Cobertura total de un 60% (25% verde).
- Regeneración Inicial Post Incendio: 2 (Presencia del 25% en relación a la zona quemada capa).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	2,5 m	<i>Acacia caven</i>	30%
Arbustivo	0,4 m	<i>Clinopodium chilense</i> – <i>Puya sp</i>	7%
Herbáceo	0,2 m	<i>Mix de herbáceas</i>	70% (ramoneado y seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Retanilla trinervia</i>	2m	
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Peumus boldus</i>	2a	
<i>Echinopsis chiloensis</i>	1	
<i>Baccharis linearis</i>	+	
<i>Clinopodium chilense</i>	2m	
<i>Lithraea caustica</i>	1	
<i>Aira caryophyllea</i>	+	Seco
<i>Puya sp</i>	1	
<i>Dioscorea sp</i>	+	Seco
<i>Sp1, "Pasto araña seca"</i>	+	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 3 (muestra)

Observaciones:

- Presencia de fecas de vaca y lagomorfos.
- Ramoneado.
- Cobertura total de un 80% (30% verde).
- Regeneración Inicial Post Incendio: 2 (Presencia del 25% en relación a la zona quemada capa herbáceas y arbustos).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	2,5 m	<i>Acacia caven</i>	30%
Arbustivo	0,4 m	<i>Clinopodium chilense</i> – <i>Puya sp</i>	7%
Herbáceo	0,2 m	<i>Mix de herbáceas</i>	70% (ramoneado y seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Acacia caven</i>	2a	
<i>Lithraea caustica</i>	1	
<i>Chusquea sp</i>	1	
<i>Schinus latifolius</i>	+	
<i>Peumus boldus</i>	+	
<i>Aira caryophyllea</i>	2a	Seco
<i>Sp1, "Pasto comun compuesta"</i>	+	Seco
<i>Sp2, "Pasto araña seca"</i>	+	Seco
<i>Sp3, "Pasto cola de leon2"</i>	+	Seco

Fotos de referencia:





➤ Parcela 4 (muestra)

Observaciones:

- Abundante rebrote.
- Cobertura total de un 45% (40% rebrote).
- Regeneración Inicial Post Incendio: 3 (Presencia del 25 - 70% en relación a la zona quemada capa herbáceas y arbustos).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	4,5 m	<i>Peumus boldus</i>	45% (35% rebrote)
Arbustivo	0,5 m	<i>Clinopodium chilense</i> - <i>Baccharis linearis</i>	7%
Herbáceo	0,4 m	<i>Mix de herbáceas</i>	10%

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Peumus boldus</i>	2b	
<i>Retanilla trinervia</i>	2m	
<i>Quillaja saponaria</i>	1	
<i>Baccharis linearis</i>	2m	
<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	1	
<i>Chusquea sp</i>	1	
<i>Sp1, "Pasto comun compuesta"</i>	1	

Fotos de referencia:



➤ Parcela 5 Testigo

Observaciones:

- Se evidencia ramoneo y pastoreo.
- Cobertura total de un 95% (45% verde).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	3 m	<i>Acacia caven</i> - <i>Retanilla trinervia</i>	40%
Arbustivo	0,6 m	<i>Baccharis linearis</i>	20%
Herbáceo	0,1 m	<i>Mix de herbáceas</i>	90% (ramoneado y seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Peumus boldus</i>	+	
<i>Retanilla trinervia</i>	2b	
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Baccharis linearis</i>	2a	
<i>Aira caryophyllea</i>	+	Seco
<i>Clinopodium chilense</i>	1	Seco
<i>Briza minor</i>	+	Seco
<i>Sp1, "Frutos abiertos"</i>	+	Seco

Fotos de referencia:



7.7.2.- VI Región

❖ Localidad: La Estrella

Fecha de prospección: 06/02/2018

Acción: Seguimiento

Comuna: La Estrella.

Acceso: No se accedió debido al doble cerco presente en el sector.

Descripción:

- Presencia de huellas de tractor al interior de la zona de estudio.
- Hubo descepado.
- Hay transporte de agua a través de cañerías superficiales.
- El sector se encuentra totalmente intervenido.
- Presencia de pastoreo directo intenso.
- Presencia de cortafuego de largo de 8 metros, dejando suelo mineral expuesto.
- Hubo construcción de un segundo cerco.
- Plantación borde de quillay.
- Especies de borde: *Lithraea caustica*, *Baccharis linearis*, *Rubus sp*, *Muehlenbeckia hastulata*.

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	3 m	<i>Acacia caven</i>	15%
Herbáceo	0,1 m	<i>Avena barbata</i>	75% (ramoneado y seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Acacia caven</i>	2a	
<i>Ligaria cuneifolia</i>	+	Sobre <i>Acacia caven</i>
<i>Avena barbata</i>	2b	Ramoneado

Fotos de referencia:





Comentario: La evaluación de este sector se realizó desde distancia, al no ser posible el acceso a las parcelas instaladas. En general la recuperación del espinal es satisfactoria, aun cuando se observa la conveniencia de proponer actividades de recuperación de suelos, especialmente en sectores de la parcela 3 (coordenadas UTM 259.000E;6.200.661N).

❖ Localidad: El Toco

Fecha de prospección: 13/02/2018

Acción: Seguimiento

Comuna: Pichidegua.

➤ Parcela 1 (muestra)

Observaciones:

- Se desarrolla ramoneo en el sector.
- Presencia abundante de fecas de caballo.
- Hay sectores, bajo los árboles, en que la capa orgánica está dañada por el tránsito de animales.
- Parcela presente al lado de un camino.
- Cobertura total de un 70% (45% verde).
- Regeneración Inicial Post Incendio: 3 (Presencia del 25 - 70% en relación a la zona quemada capa herbáceas y arbustos).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	4 m	<i>Peumus boldus</i> - <i>Acacia caven</i>	45%
Arbustivo	0,8 m	<i>Retanilla trinervia</i> - <i>Cetrum parqui</i>	8%
Herbáceo	0,7 m	<i>Mix de herbáceas</i>	40% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Peumus boldus</i>	2b	
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Retanilla trinervia</i>	1	
<i>Cestrum parqui</i>	+	
<i>Maytenus boaria</i>	r	Regeneración
<i>Lactuca serriola</i>	+	Seco
<i>Conanthera campanulata</i>	+	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	+	Seco
<i>Rubus ulmifolius</i>	+	
<i>Avena barbata</i>	1	Seco
<i>Loasa sp</i>	+	Seco
<i>Cuscuta sp</i>	r	sobre <i>Retanilla trinervia</i> , seca

Fotos de referencia:



➤ Parcela 2 (muestra)

Observaciones:

- Hay un surco en la parcela (signo de erosión hídrica).
- Presencia de fecas de vacas.
- Cobertura total de un 70% (30% rebrote).
- Regeneración Inicial Post Incendio: 2 (Presencia del 25% en relación a la zona quemada capa).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo bajo	2,5 m	<i>Peumus boldus</i> – <i>Acacia caven</i>	25%
Arbustivo	1,5 m	<i>Retanilla trinervia</i>	40%
Herbáceo	0,2 m	<i>Mix de herbáceas</i>	60% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Acacia caven</i>	2a	
<i>Peumus boldus</i>	2b	
<i>Retanilla trinervia</i>	2b	
<i>Baccharis linearis</i>	+	
<i>Conanthera campanulata</i>	+	
<i>Aira caryophyllea</i>	1	Seco
<i>Dioscorea sp</i>	+	Seco
Sp1, "Pasto comun compuesta"	+	
Sp2, "Pasto cola de leon"	+	Seco
Sp3, "Pasto sin"	+	Seco
Sp4, "Flor rosada"	+	

Fotos de referencia:



➤ Parcela 3 (muestra)

Observaciones:

- Severidad media.
- Ubicada al lado de un cerco.
- Presencia de fecas de caballo, lagomorfos y vaca.
- Cobertura total de un 30% (20% rebrote).
- Regeneración Inicial Post Incendio: 2 (Presencia del 25% en relación a la zona quemada capa).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	2,5 m	<i>Peumus boldus</i> - <i>Acacia caven</i>	20% (10% rebrote)
Arbustivo	1,5 m	<i>Retanilla trinervia</i>	20% (10% rebrote)
Herbáceo	0,1 m	<i>Mix de herbáceas</i>	10% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Retanilla trinervia</i>	2a	
<i>Peumus boldus</i>	2a	
<i>Acacia caven</i>	2m	
<i>Cirsium vulgare</i>	+	Seco
<i>Rubus ulmifolius</i>	+	
<i>Conanthera companulata</i>	+	
<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	+	
<i>Briza minor</i>	+	Seco
<i>Aira caryophyllea</i>	+	Seco
<i>Gamochoeta sp</i>	+	
Sp1, "Pasto comun compuesta"	+	
Sp2, "Flor rosada"	+	
Sp3, "Oreja"	+	

Fotos de referencia:



➤ Parcela 4 (muestra):

Observaciones:

- Parcela ubicada al lado de una miniquebrada seca.
- Existe ramoneo, además de signos de fecas de vaca y caballo.
- Hojarasca levemente removida por el tránsito de animales, con ramas en el piso.
- Presencia de basura.
- Cobertura total de un 65%.
- Regeneración Inicial Post Incendio: 1 (No aparente).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	5 m	<i>Acacia caven</i> - <i>Peumus boldus</i>	60%
Arbustivo	1,5 m	<i>Retanilla trinervia</i>	10%
Herbáceo	0,1 m	<i>Mix de herbáceas</i>	25% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Peumus boldus</i>	2b	
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Rubus ulmifolius</i>	2m	
<i>Cestrum parqui</i>	2m	
<i>Aira caryophyllea</i>	+	Seco
Sp1	r	Seco
Sp2	r	Seco

Fotos de referencia:



7.7.3.- VII Región

En esta región se concentró la prospección en el Predio Los Coipos, propiedad de Forestal ARAUCO S.A., empresa que facilitó este lugar para la realización de mediciones post-incendio en formaciones de bosque esclerófilo. El área prospectada posee un alto valor ecológico por la presencia de especies vegetales en categoría de conservación, y también por la existencia de especies de bosque y matorral esclerófilo que fueron afectadas por incendios.

Fecha: 06/11/2017 – 07/11/2017

Acción: Seguimiento

Localidad: Fundo los Coipos I y II.

Acceso: 254701-6135176

a) Coordenadas: 257135-6139091

Características: Quebrada con alta pendiente mayor a 30%, se encuentra fragmentada por el camino de acceso del predio, presenta evidencias de que continua el movimiento de suelo y no hay presencia de herbáceas en las laderas de dicha quebrada.

Propuesta: Disponer diques en la quebrada debido a su pendiente. Se sugiere realizar los diques en la parte superior del camino para que tenga una doble función, la primera es que detenga el movimiento de tierra y lo segundo permite que el camino no se deteriore en futuras lluvias. A pesar de que se recomienda realizar esta acción antes de la primera lluvia, en este caso igual es necesario instalar diques debido a que continúa la pérdida de suelo y permite mantener en mejor estado el único camino de acceso (García-Chevesich, 2015).





En las fotografías se indican empalizadas a favor de la ladera quemada, para evitar la formación de cárcavas y escurrimiento de material fino.

b) Coordenadas: 257494-613896

Características: Al igual que el caso anterior es una quebrada la cual está interceptada por el camino, posee una pendiente más baja, pero contiene mayor material que puede deslizarse en época de lluvia.

Propuesta: Construir diques hacia la zona superior del camino para evitar el movimiento de material hacia el camino e impedir el aumento de la erosión. Al igual que el caso anterior a pesar de que ya ha ocurrido la primera lluvia igual es necesario instalar diques para la mantención del camino y para evitar el aumento de la erosión (García-Chevesich, 2015).



c) Coordenadas: 257085-6139008

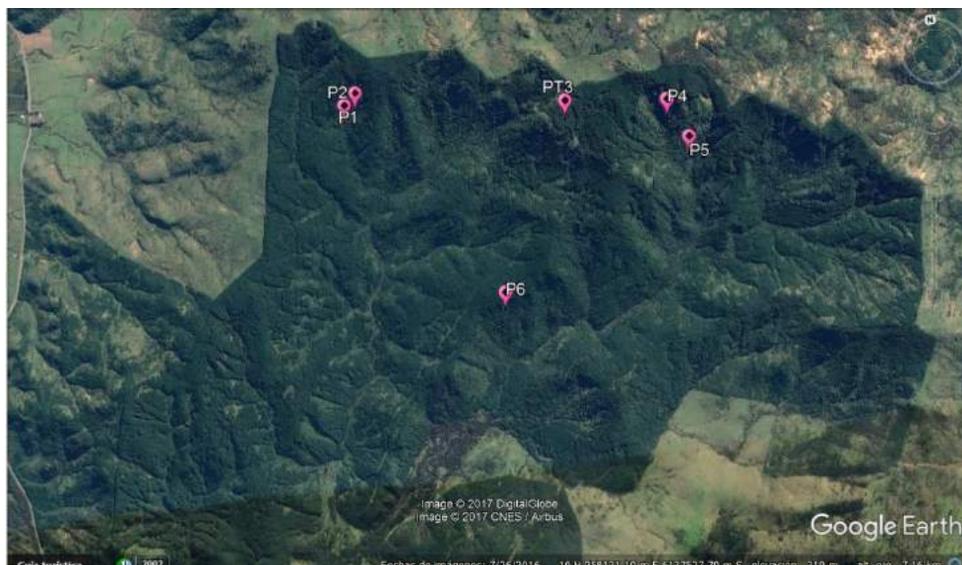
Características: Terreno con pendiente cercana al 30%, presencia de herbáceas baja en comparación con las otras zonas visitadas, se encuentra insertada entre dos quebradas y el nivel de daño producto del incendio es alto (Severidad 5).

Propuesta: Cortar elementos de daño total y disponerlos en forma perpendicular a la pendiente. Posteriormente aplicar hidrosiembra. La instalación de los individuos muertos dificulta el escurrimiento superficial de material. También se puede instalar mallas talud para evitar el escurrimiento de sedimento. La hidrosiembra frena el aumento de la erosión y debido a que es un área de alto valor de conservación se justifica su uso (Garcia-Chevesich, 2015).



Parcelas de muestreo

Se realizaron parcelas de 100 m² en distintos puntos del área de interés con diferentes niveles de daño producto del incendio del 2017.



Coordenada: 257189-6139091

Altitud: 324

Pendiente: 16-30 %

Exposición: Sur-Oeste
Severidad: 5

Características: Existe presencia de regeneración, la cobertura proyectada es entre un 50% a un 75%, la cobertura actual es de entre un 25% a un 50%, la cobertura de herbáceas está entre un 50% y un 75%. El suelo presenta una pedregosidad baja y no hay presencia de materia orgánica a simple vista. Existe presencia de especies como *Lithraea caustica*, *Kageneckia oblonga*, *Acacia caven* y *Cryptocarya alba*.





Coordenada: 258101-6140007

Altitud: 280

Pendiente: 16-30%

Exposición: Sur

Severidad: 5

Característica: Existe presencia de escasa regeneración, cobertura proyectada entre un 50 y un 75%, la cobertura actual es entre un 10% y un 25%, la cobertura de herbáceas es de un 10% a un 25%. El suelo presenta una pedregosidad baja y no hay presencia de materia orgánica a simple vista. Compuesto por *Lithraea caustica* y *Kageneckia oblonga*.



Coordenadas: 258868-6138514

Altitud: 437

Pendiente: 31-45%

Exposición: Sur

Severidad: no aplica (testigo)

Características: Parcela testigo, presenta una cobertura entre un 50% y un 75%, hay presencia de materia orgánica, la pedregosidad es casi nula, las especies presentes pertenecientes al bosque esclerófilo como *Peumus boldus*, *Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica*, *Azara lanceolata*, *Cryptocarya alba*, entre otras.



Coordenadas: 259685-6138751

Altitud: 475

Pendiente: 31-45%

Exposición: Sur

Severidad: 4

Características: Existe presencia de regeneración, la cobertura proyectada es superior al 75%, la cobertura actual está entre el 25% y 50%, la cobertura de herbáceas es mayor al 75%. Hay pedregosidad baja y hay presencia de materia orgánica a simple vista. Está compuesto por especies como *Myrceugenia lanceolata*, *Lithraea caustica*, *Kageneckia oblonga* y *Azara lanceolata*.



Coordenadas: 259858-6138456

Altitud: 467

Pendiente: 16-30%

Exposición: Sur - Oeste

Severidad: 4

Características: Existe presencia de regeneración, la cobertura proyectada es mayor a 75%, la cobertura actual está entre el 10% a un 25%, la cobertura de herbáceas está entre el 25% y el 50%. El suelo presenta pedregosidad baja y no hay presencia de materia orgánica a simple vista. Está compuesto por especies como *Myrceugenia lanceolata*, *Lithraea caustica* y *Kageneckia oblonga*.





Coordenadas: 258244-6137356

Altitud: 289

Pendiente: 0-15%

Exposición: Sur

Severidad: 6

Características:

Existe presencia de regeneración baja, la cobertura proyectada es mayor a 75%, la cobertura actual está entre un 10% y un 25%, la cobertura de herbáceas está entre un 25% a un 50%. La pedregosidad es baja y no hay presencia de materia orgánica a simple vista. Compuesto por *Cryptocarya alba* y *Kageneckia oblonga*.

✓



Fecha: 21/03/2018
Acción: Seguimiento
Localidad: Fundo los Coipos I y II.
Acceso: 254701-6135176

➤ Parcela 1 (257003-6139001)

Observaciones:

- Cobertura total 60%.
- Regeneración inicial post incendio: Presencia de 25%-70% en relación a la zona quemada, con capa de herbáceas y arbustos.
- No hay presencia de regeneración por semillas de especies arbóreas nativas.

- Regeneración vegetativa con altura superior a 1 metro.
- Regeneración de herbáceas con altura entre 0.5 y 1 metro.

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	7m	<i>Cryptocarya alba</i> - <i>Peumus boldus</i>	30% (20% rebrote)
Arbustivo	0.5m	<i>Retanilla trinervia</i> - <i>Solanum nigrum</i>	15% rebrote
Herbáceo	0.7m	<i>Conyza sumatrensis</i>	30%

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Peumus boldus</i>	2a	
<i>Kageneckia oblonga</i>	2m	
<i>Cryptocarya alba</i>	2a	
<i>Aristotelia chilensis</i>	r	
<i>Retanilla trinervia</i>	1	
<i>Conyza sumatrensis</i>	2a	
<i>Solanum nigrum</i>	+	
<i>Lactuca serriola</i>	+	Seco
<i>Rostraria cristata</i>	+	Seco
<i>Loasa sp</i>	+	Seco
<i>Gamochaeta sp</i>	+	Seco
<i>Trifolium sp</i>	r	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 2 (257055-6138960)

Observaciones:

- Cobertura total 60%.
- Regeneración inicial post incendio: Presencia del 25 - 70% en relación a la zona quemada con capa de herbáceas y arbustos.
- No hay presencia de regeneración por semillas de especies arbóreas nativas.
- Regeneración vegetativa con altura superior a 1 metro.
- Regeneración de herbáceas con altura superior a 1 metro.
- Presencia de regeneración de *Pinus radiata*.

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	6m	<i>Cryptocarya alba</i> - <i>Peumus boldus</i> - <i>Quillaja saponaria</i>	35%
Arbustivo	1m	<i>Retanilla trinervia</i> - <i>Chusquea sp</i>	15%
Herbáceo	0.7m	<i>Conyza sumatrensis</i>	35%

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Cryptocarya alba</i>	2a	
<i>Peumus boldus</i>	2a	
<i>Quillaja saponaria</i>	2m	
<i>Retanilla trinervia</i>	2m	
<i>Pinus radiata</i>	+	
<i>Acacia caven</i>	+	
<i>Conyza sumatrensis</i>	2b	
<i>Loasa sp</i>	+	Seco
<i>Chusquea sp</i>	1	

Fotos de referencia:



➤ Parcela 3 (257128-6138979)

Observaciones:

- Cobertura total 60%.
- Regeneración inicial post incendio: Presencia del 25 - 70% en relación a la zona quemada con capa de herbáceas y arbustos.
- No hay presencia de regeneración por semillas de especies arbóreas nativas.
- Regeneración vegetativa con altura superior a 1 metro.
- Regeneración de herbáceas con altura entre 0.5 y 1 metro.

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	7.5m	<i>Lithraea caustica</i> - <i>Quillaja saponaria</i>	75% (45% rebrote)
Arbustivo	0.5m	<i>Retanilla trinervia</i>	10% rebrote
Herbáceo	0.7m	<i>Conyza sumatrensis</i>	35%

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Lithraea caustica</i>	2b	
<i>Quillaja saponaria</i>	2m	
<i>Cryptocarya alba</i>	+	
<i>Retanilla trinervia</i>	+	
<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	+	
<i>Conyza sumatrensis</i>	2a	
<i>Gamochaeta sp</i>	+	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 4 (257182-6139095)

Observaciones:

- Cobertura total 65%.
- Presencia de capa de musgos en suelo antes descubierto.
- Regeneración inicial post incendio: Presencia del 25% en relación a la zona quemada capas herbáceas y arbustos.
- No hay presencia de regeneración por semillas de especies arbóreas nativas.
- Regeneración vegetativa con altura superior a 1 metro.
- Regeneración de herbáceas entre 0.5 y 1 metro.
- Presencia de regeneración de *Pinus radiata*.

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	8m	<i>Lithraea caustica</i> - <i>Cryptocarya alba</i>	40% (20% rebrote)
Herbáceo	1m	<i>Conyza sumatrensis</i>	60%

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia
<i>Peumus boldus</i>	1
<i>Lithraea caustica</i>	2b
<i>Cryptocarya alba</i>	2b
<i>Pinus radiata</i>	r
<i>Retanilla trinervia</i>	+
<i>Cissus striata</i>	+
<i>Gamochaeta sp</i>	+
<i>Loasa sp</i>	1
<i>Conyza sumatrensis</i>	2b
<i>Lactuca serriola</i>	+

Fotos de referencia:



➤ Parcela 5* (257085-6139008)

Observaciones:

- Cobertura total 40%.
- Regeneración inicial post incendio: Escasa regeneración (15%) en toda la capa vegetal.
- No hay presencia de regeneración por semillas de especies arbóreas nativas.
- Regeneración vegetativa con altura superior a 1 metro.
- Regeneración de herbáceas entre 0.5 y 1 metro.

- Presencia de regeneración de *Pinus radiata*.

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	5m	<i>Kageneckia oblonga</i> - <i>Peumus boldus</i> - <i>Cryptocarya alba</i>	35% (15% rebrote)
Arbustivo	0.4m	<i>Retanilla trinervia</i>	5% (rebrote)
Herbáceo	0.7m	<i>Conyza sumatrensis</i>	10%

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Peumus boldus</i>	2a	
<i>Kageneckia oblonga</i>	2a	
<i>Cryptocarya alba</i>	2a	
<i>Pinus radiata</i>	+	
<i>Retanilla trinervia</i>	+	
<i>Dioscorea bryoniifolia</i>	+	Seco
<i>Lactuca serriola</i>	+	Seco
<i>Conyza sumatrensis</i>	2a	

Fotos de referencia:



➤ Parcela 6* (259685-6138751)

Observaciones:

- Cobertura total 100%.
- Regeneración inicial post incendio: Presencia del 25 - 70% en relación a la zona quemada con capa de herbáceas y arbustos.
- No hay presencia de regeneración por semillas de especies arbóreas nativas.
- Regeneración vegetativa con altura superior a 1 metro.
- Regeneración de herbáceas con altura superior a 1 metro.

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	8m	<i>Kageneckia oblonga</i> - <i>Lithraea caustica</i>	60% (50% rebrote)
Arbustivo	0.5m	<i>Baccharis racemosa</i>	10%
Herbáceo	0.4m	mix de herbáceas	30% (semiseco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Kageneckia oblonga</i>	2b	
<i>Lithraea caustica</i>	2a	
<i>Peumus boldus</i>	2m	
<i>Lomatia hirsuta</i>	r	
<i>Myrceugenia obtusa</i>	1	
<i>Azara integrifolia</i>	2m	
<i>Berberis actinacantha</i>	r	
<i>Baccharis racemosa</i>	1	
<i>Lactuca serriola</i>	+	
<i>Briza minor</i>	1	
<i>Hypochaeris radicata</i>	1	
<i>Conyza sumatrensis</i>	+	
<i>Adiantum scabrum</i>	+	
<i>Solenomelus pedunculatus</i>	+	Seco
<i>Aira caryophyllea</i>	+	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 7* (259858-6138456)

Observaciones:

- Cobertura total 70%.
- Regeneración inicial post incendio: Presencia del 25% en relación a la zona quemada, con capa de herbáceas y arbustos.
- No hay presencia de regeneración por semillas de especies arbóreas nativas.
- Regeneración vegetativa con altura superior a 1 metro.
- Regeneración de herbáceas con altura superior a 1 metro.

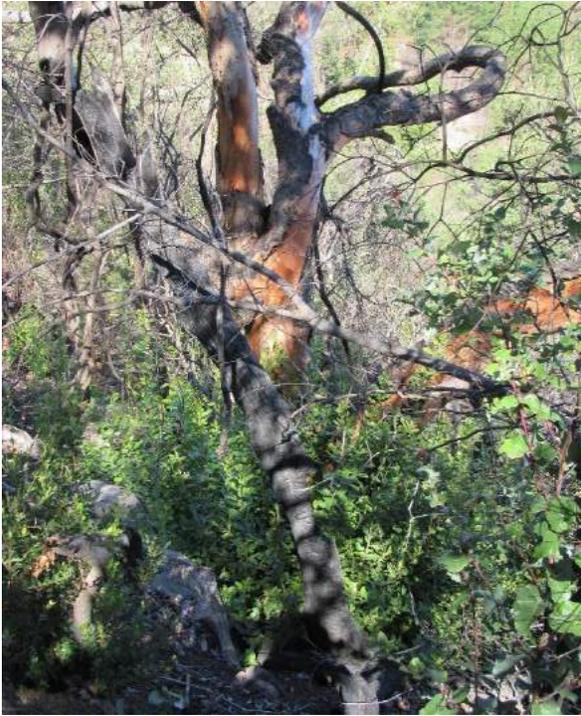
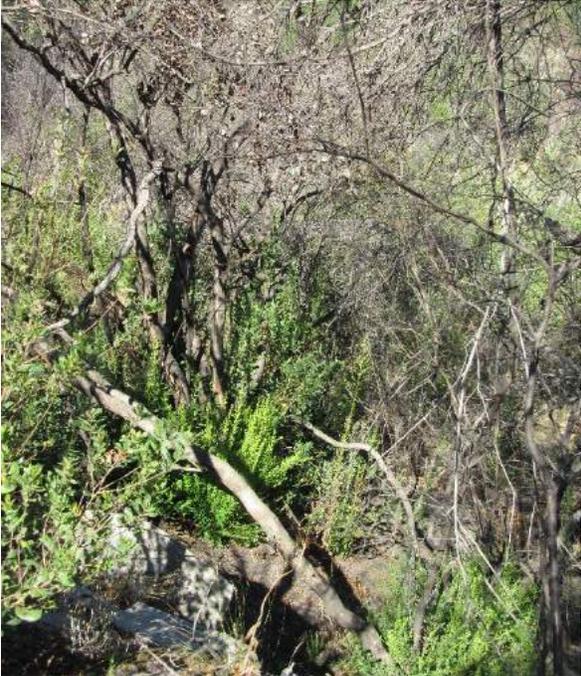
Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	8m	<i>Lithraea caustica</i> - <i>Kageneckia oblonga</i>	60% (45% rebrote)
Arbustivo	0.4m	<i>Chusquea sp</i>	5%
Herbáceo	0.7m	mix de herbáceas	15% (Seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Lithraea caustica</i>	2a	
<i>Kageneckia oblonga</i>	2a	
<i>Cryptocarya alba</i>	+	
<i>Peumus boldus</i>	+	
<i>Myrceugenia obtusa</i>	2m	
<i>Chusquea sp</i>	+	
<i>Bomarea salsilla</i>	+	Seco
<i>Briza minor</i>	1	Seco
<i>Aira caryophyllea</i>	1	Seco
<i>Sisyrinchium striatum</i>	+	
<i>Hypochaeris radicata</i>	+	Seco
<i>Conyza sumatrensis</i>	+	
<i>Gamochoeta sp</i>	+	Seco
<i>Loasa sp</i>	2m	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 8* (258244-6137356)

Observaciones:

- Cobertura total 70%.
- Regeneración inicial post incendio: Presencia del 25 - 70% en relación a la zona quemada con capa de herbáceas y arbustos.
- No hay presencia de regeneración por semillas de especies arbóreas nativas.
- Regeneración vegetativa con altura entre 0.5 y 1 metro.
- Regeneración de herbáceas con altura superior a 1 metro.
- Presencia de regeneración de *Pinus radiata*.

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	7m	<i>Kageneckia oblonga</i> - <i>Lithraea caustica</i>	45% (25% rebrote)
Arbustivo	1.5m	<i>Retanilla trinervia</i>	15% (rebrote)
Herbáceo	1.6m	<i>Conyza sumatrensis</i>	70% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Kageneckia oblonga</i>	3	
<i>Lithraea caustica</i>	2b	
<i>Retanilla trinervia</i>	2m	
<i>Acacia caven</i>	+	
<i>Pinus radiata</i>	r	
<i>Baccharis linearis</i>	+	
<i>Conyza sumatrensis</i>	4	
<i>Sisyrinchium striatum</i>	2m	
<i>Vulpia myuros</i>	1	Seco
<i>Leontodon taraxacoides</i>	r	Seco
<i>Avena barbata</i>	+	Seco
<i>Rostraria cristata</i>	+	Seco
<i>Gamochaeta sp</i>	2a	Seco
<i>Loasa sp</i>	+	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela Testigo

Observaciones:

- Cobertura total 75%.
- Rodeado de plantación *Pinus radiata* .

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	9m	<i>Lithraea caustica</i> – <i>Peumus boldus</i> – <i>Azara integrifolia</i>	75%
Herbáceo	0,4m	<i>Loasa sp</i> – <i>Alstroemeria sp</i>	25%

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia
<i>Peumus boldus</i>	2b
<i>Lithraea caustica</i>	3
<i>Aristotelia chilensis</i>	+
<i>Cryptocarya alba</i>	2m
<i>Kageneckia oblonga</i>	1
<i>Quillaja saponaria</i>	1
<i>Azara integrifolia</i>	2b
<i>Myrceugenia obtusa</i>	r
<i>Euphorbia sp</i>	+
<i>Solenomelus pedunculatus</i>	3
<i>Sisyrinchium graminifolium</i>	1
<i>Geranium robertianum</i>	3
<i>Geranium bertereanum</i>	+
<i>Briza minor</i>	+
<i>Adiantum scabrum</i>	1
<i>Galium aparine</i>	r
<i>Loasa sp</i>	2b
<i>Sanicula sp</i>	1
<i>Adiantum chilense</i>	+
<i>Oxalis arenaria</i>	+

Fotos de referencia:



❖ Localidad: Nirivilo

Fecha de prospección: 15/03/2018

Acción: seguimiento

Comuna: San Javier

➤ Parcela 1

Observaciones:

- Hay rebrote desde cepa.
- Presencia de lagomorfos.
- Cobertura total de un 100% (30% vivo)

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo bajo	2 m	<i>Acacia caven</i>	30%
Herbáceo	0,3 m	<i>Mix de herbáceas</i>	95% (Seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Maytenus boaria</i>	r	
<i>Avena barbata</i>	4	Seco
<i>Leontodon taraxacoides</i>	4	Seco
<i>Vulpia bromoides</i>	4	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 2

Observaciones:

- Presencia de fecas de lagomorfos.
- Parcela ubicada al lado de una plantación de viñas.
- Cobertura total de un 100% (25% verde)
- Regeneración Inicial Post Incendio: 3

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	2,5 m	<i>Acacia caven</i> – <i>Maytenus boaria</i>	25%
Herbáceo	0,5 m	<i>Mix de herbáceas</i>	95% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Maytenus boaria</i>	+	
<i>Schinus latifolius</i>	+	
<i>Avena barbata</i>	2b	Seco
<i>Aira caryophylla</i>	2m	Seco
<i>Briza minor</i>	2a	Seco
<i>Leontodon taraxacoides</i>	2b	Seco
<i>Hordeum marinum</i>	2m	Seco
<i>Rumex acetosella</i>	1	
<i>Hordeum hordeaceus</i>	1	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 3

Observaciones:

- Presencia de fecas de vaca y lagomorfos.
- Cobertura total de un 100% (35% verde)
- Regeneración Inicial Post Incendio: 3

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo bajo	3 m	<i>Acacia caven</i>	25%
Arbustivo	0,5 m	<i>Roa moschata</i>	10%
Herbáceo	0,5 m	<i>Mix de herbáceas</i>	95% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Maytenus boaria</i>	1	
<i>Rosa moschata</i>	2m	
<i>Avena barbata</i>	3	Seco
<i>Leontodon taraxacoides</i>	+	Seco
<i>Vulpia bromoides</i>	+	Seco
<i>Briza minor</i>	+	Seco
<i>Petrorhagia sp</i>	+	Seco
<i>Verbascum sp</i>	+	Seco

Fotos de referencia:



➤ Parcela 4

Observaciones:

- Presencia de fecas de lagomorfos.
- Cobertura total de un 100% (35% verde).
- Regeneración Inicial Post Incendio: 3 (Presencia del 25 - 70% en relación a la zona quemada capa herbáceas y arbustos).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo bajo	2,5 m	<i>Acacia caven</i>	35%
Herbáceo	0,8 m	<i>Mix de herbáceas</i>	95% (Seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Azara dentata</i>	+	
<i>Tolpis barbata</i>	+	Seco
<i>Petrorhagia sp</i>	+	Seco
<i>Vulpia bromoides</i>	2b	Seco
<i>Aira caryophyllea</i>	2m	Seco
<i>Rumex acetosella</i>	2a	

Fotos de referencia:



➤ Parcela 5 Testigo

Observaciones:

- Presencia de basura.
- Cobertura total de un 100% (80% vivo).

Estratificación:

Estrato	Altura	Especie(s) dominante(s)	Cobertura (%)
Arbóreo	6 m	<i>Acacia caven</i> - <i>Prunus sp</i>	45%
Arbustivo	1 m	<i>Rosa moschata</i> - <i>Baccharis linearis</i>	40%
Herbáceo	0,5 m	<i>Mix de herbáceas</i>	95% (seco)

Listado florístico e Índice de Abundancia:

Especie	Índice de Abundancia	Observación
<i>Acacia caven</i>	2b	
<i>Prunus sp</i>	3	
<i>Rosa moschata</i>	2b	
<i>Schinus latifolius</i>	2a	
<i>Maytenus boaria</i>	2m	
<i>Cydonia oblonga</i>	1	
<i>Pyrus communis</i>	1	
<i>Peumus boldus</i>	1	
<i>Crataegus monogyna</i>	r	
<i>Avena barbata</i>	4	Seco
<i>Briza minor</i>	3	Seco
<i>Hordeum marinum</i>	+	Seco
<i>Tolpis barbata</i>	+	Seco
<i>Juncus imbricatus</i>	+	Seco
<i>Briza maxima</i>	3	Seco

Fotos de referencia:



7.8.- Consideraciones de campo, respecto a los indicadores de riqueza y abundancia

La respuesta en los indicadores de riqueza y abundancia postfuego se concentran en niveles moderados a elevados, en lo concerniente a regeneración de tipo vegetativa, incluso con efecto de herbivoría e intervención de ganado, especialmente en espacios abiertos. En general no se evidencia respuesta de regeneración de especies nativas basado en semillas. En contraste, las comunidades de especies del matorral esclerófilo sobreviven en mosaicos de paisaje a distintas escalas de severidad. La regeneración vegetativa, es moderada a abundante en espacios abiertos y bajo cubierta afectada parcial o totalmente por el fuego. El efecto de la herbivoría en comunidades de Espino, Tevo, Colliguay y Litre no es significativo contra el crecimiento y recuperación del bosque y matorral. No obstante, otras especies como Quillay, Boldo y Peumo presentan menores niveles de sobrevivencia a escalas de severidad III y superior, de acuerdo a la nomenclatura propuesta por Castillo et al (2016).

7.9.- Discusión sobre resultados de riqueza y abundancia

Esta magnitud de respuesta permite entonces aportar a las referencias para la restauración, con la ventaja de disponer de antecedentes de cobertura, estructura, abundancia y variable microambiental necesaria para proponer pautas o medidas de recuperación. El nivel de impacto de los incendios forestales condiciona fuertemente el tipo de medidas de restauración a proponer, considerando además aspectos técnicos y económicos dado que la oferta en protección – en este caso las medidas a aplicar – no satisfacen en la mayoría de los casos a la demanda en recuperación de suelo, de vegetación, fauna y paisaje.

En tal sentido, se han ejecutado en forma paralela otros proyectos con propósitos de restauración post-fuego en Chile Central. Por ejemplo, Becerra (2017), ha otorgado un enfoque ecológico del proceso de restauración, y sus implicancias en la gestión de los recursos forestales post-incendio. El bosque de Chile Central posee distintas especies adaptadas al fuego, en condiciones naturales. Las principales corresponden a la Palma Chilena (*Jubaea chilensis* Mol.), asociada con otras especies del bosque esclerófilo de clima mediterráneo: Peumo (*Criptomycarya alba* Mol. Looser), Boldo (*Peumus boldus* Mol.), Litre (*Lithraea caustica* Mol.), y Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) (Gajardo, 1994; Quintanilla, 1999). Muchas de estas especies han sido descritas desde el punto de vista adaptativo como también de los mecanismos de regeneración presentes después de incendio. Estudios realizados por Quintanilla y Castillo (2009), Castillo (2010), y Castillo *et al.*, (2013), describen el patrón espacial y temporal de recuperación de bosque en Chile Mediterráneo, proponiendo para ello escalas de recuperación en función de la severidad. Por ejemplo, Castillo (2013) estudió la respuesta de recuperación de *Baccharis* sp., Quilo (*Muehlenbeckia hastulata*), y Colliguay (*Colliguaja odorífera* Mol.), en distintas condiciones fisiográficas afectadas por un incendio de alta severidad en la zona costera de Chile Central, con clima mediterráneo. El rebrote sin presencia de dosel superior fue inicialmente lento a 3 semanas post incendio y de alto vigor desde ese período en Adelante, logrando un cubrimiento total de las áreas quemadas en 6 meses. En este estudio, la intensidad de la propagación del fuego (expresada en las características de las llamas y en la energía liberada en la combustión) fue clasificada en 6 categorías para luego poder relacionar el comportamiento del fuego con la sobrevivencia y velocidad de recuperación de las especies estudiadas. En general, una alta intensidad va asociada también a una alta severidad en los daños, efecto habitual de encontrar en las áreas que son incendiadas recurrentemente (Castillo *et al.*, 2016). En cuanto al suelo, los mayores efectos del fuego se expresan en la formación de capas de hidrofobicidad que producen repelencia al agua, produciendo con ello pérdida de nutrientes después del fuego y erosión (García-Chevesich *et al.*, 2010, 2015).

7.10.- Caracterización en campo de las afectaciones, para cada región.

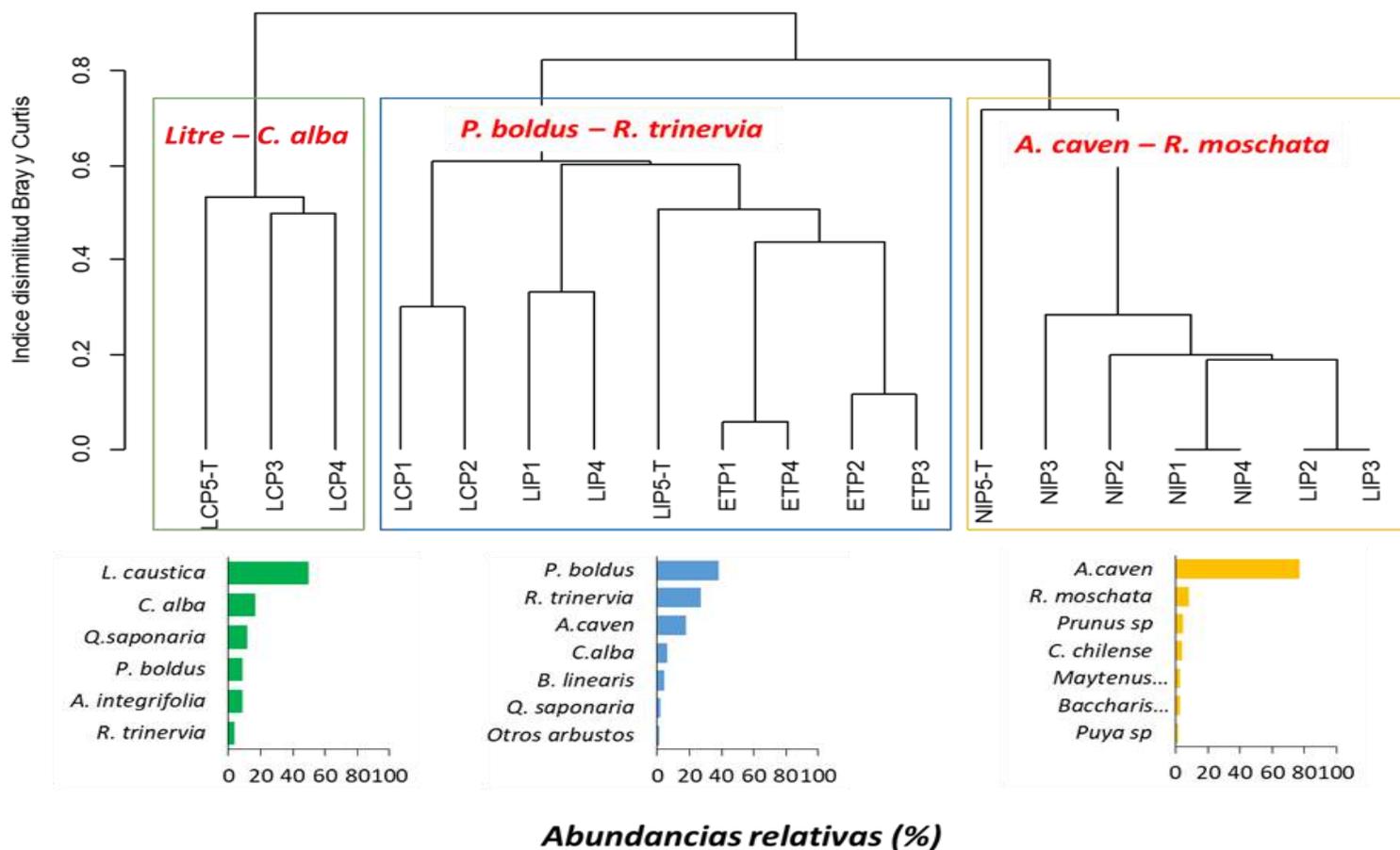
El proceso se sustenta en la evaluación inicial de intensidad y severidad del fuego descrita anteriormente, para luego interpretar estas escalas de afectaciones y vincularlas con las medidas preliminares que se proponen para el tratamiento de cada una de las áreas muestreadas, en función de una imagen objetivo, que es la restauración del bosque y matorral esclerófilo. Por tratarse de distintas situaciones de bosque, existen también opciones diferenciadas entre un área y otra, dependiendo de las condiciones actuales en que estos ecosistemas pueden ser objeto de medidas, que en el futuro, deben propender a restaurar y mitigar el impacto potencial de futuros incendios forestales.

En general la composición florística de todas las condiciones analizadas refleja una larga historia de uso intensivo del fuego, la tala y la ganadería previo a los incendios del 2017. Las situaciones estructurales y de composición de la vegetación son variables y reflejan de alguna manera un gradiente de perturbación humana, de matorrales caducifolios (de mayor degradación) a matorrales siempre-verdes (menor degradación). Los tipos de vegetación basados en disimilitudes florísticas son los siguientes:

- a) Matorrales caducifolios de *A. caven* (árbol), *R. moschata* (arbusto) y *A. barbata* (hierbas).
- b) Matorral esclerófilo siempre-verde *L. caustica* – *C. alba*
- c) Matorral mixto *P. boldus* (árbol) – *R. trinervia* (arbusto) y *A. barbata*

Para integrar la información recopilada en las distintas parcelas (unidades de muestreo), se elaboró un dendrograma utilizando la metodología de similitud de Bray y Curtis, basado en las mediciones de campo y posterior validación en gabinete.

Figura 5.- Tipos de vegetación del bosque esclerófilo de las localidades monitoreadas entre el 2017 y 2018. El dendrograma muestra las disimilitudes florísticas entre las parcelas levantadas en las localidades de Los Coipos (LC), Limache (LI), Nirivilo (NI) y El Toco (ET). El símbolo T significa testigo y se refiere aquellas parcelas no quemadas el 2017. En cada caso, "P1" a "P5" son parcelas de muestreo, y "T" es la unidad testigo



Estos tipos de bosque también tienen fuertes diferencias estructurales. La cobertura de copas y la cobertura de hierbas varía fuertemente. El nivel de cobertura también sugiere un nivel de degradación. Los matorrales caducifolios están muy degradados, tienen escasa cobertura de árboles y arbustos y una fuerte cobertura de hierbas anuales nativas y principalmente exóticas. Los matorrales mixtos tienen una degradación menor, con mayor cobertura de árboles y arbustos (esclerófilas y deciduas) y menor cobertura de hierbas. La situación de matorrales esclerófilos es principalmente cubierta por árboles, aunque debido a la fuerte degradación en el lugar aún puede encontrarse un fuerte componente herbáceo y arbustivo. La composición y estructura de los bosques del área de estudio se encuentra todavía lejos de un bosque esclerófilo siempre-verde no perturbado. Estos bosques dadas las evidencias podrían estar representados por una cobertura importante de *C. alba*- *L. caustica* y con escasa cobertura de arbustos y hierbas exóticas.

Whisenant (1999) otorga el marco general respecto a la escala de degradación de ecosistemas. Este esquema fue aplicado para las primeras fases de evaluación de las distintas áreas de muestreo en zonas quemadas, dando paso a la posibilidad de establecer un modelo de restauración, acorde a cada nivel de afectación. Este modelo se integra entonces con la escala de severidad propuesta por Castillo *et al* (2016), especialmente diseñada para efectos del fuego ecosistemas de bosque y matorral esclerófilo en Chile Mediterráneo.

Las situaciones analizadas (Cuesta Barriga, Los Coipos, Limache, Nirivilo y El Toco) anterior al incendio de 2017 ya se encontraban con un nivel de degradación medio a alto. En la escala de Whisenant (1999), estas situaciones se encontraban con una puntuación entre 1.5 y 2.5 en una escala de 0 a 4, donde 0 representa un ambiente prístino y 4 un ambiente completamente degradado. Lo anterior se debe a una larga historia de degradación de cinco siglos de cultivo, ganadería, extracción de leña e incendios forestales.

Como resultado del incendio de 2017, algunas situaciones donde los incendios tuvieron una intensidad leve (siguientes fotos). Éstas no aumentaron su nivel de degradación y al siguiente verano (2018) prácticamente no se apreciaban los efectos del incendio. En las situaciones en que los incendios tuvieron una intensidad media, la intensidad aumentó en 0.5 puntos de Whisenant (1999), y se pudo apreciar colonización en parches fundamentalmente con especies herbáceas anuales alóctonas (e.g. *Avena barbata*). Además en las especies arbóreas esclerófilas (e.g. *L. caustica*) se pudo apreciar abundante rebrote de las cepas quemadas, y cuando sólo se quemaron algunas ramas, estas generalmente rebrotaron desde las mismas ramas. En las situaciones donde los incendios mostraron una intensidad alta (e.g. San José de Maipo), la degradación aumentó en un punto en la escala de Whisenant (1999), y se observó escasa colonización en parches y rebrote notable de algunas especies esclerófilas (e.g. *L. caustica*).



Fotografías. Incendio de baja intensidad La Estrella. Izquierda: verano 2017.



Derecha: verano 2018.

Fotografías. Incendio de media intensidad San Javier. Izquierda: verano 2017.
Derecha: verano 2018.



Fotografías. Incendio de alta intensidad Mina del Toco - Pichidegua. Arriba verano 2017, abajo verano 2018.

7.10.1.- Vínculo de las afectaciones con las opciones de restauración

De acuerdo a los antecedentes descritos en el análisis de similitud de comunidades y de los grados de afectaciones derivados de Whisenant (1999) y Castillo et al (2016), las opciones de restauración requieren una definición previa de ensamble de especies, que en conjunto permitan otorgar las condiciones de sitio necesarias para el inicio del proceso adaptativo, en coordinación con las acciones activas o implementación de medidas para promover la aceleración del proceso de recuperación de zonas dañadas por el fuego. A base de los datos recopilados en campo y el posterior análisis de similitud aplicado para las distintas comunidades post-incendio, a continuación, se representan tres grupos que describen las principales situaciones vegetales a base de las cuales se sustentan las opciones hipotéticas de restauración post-fuego, considerando una situación como referencia (grupo 4):

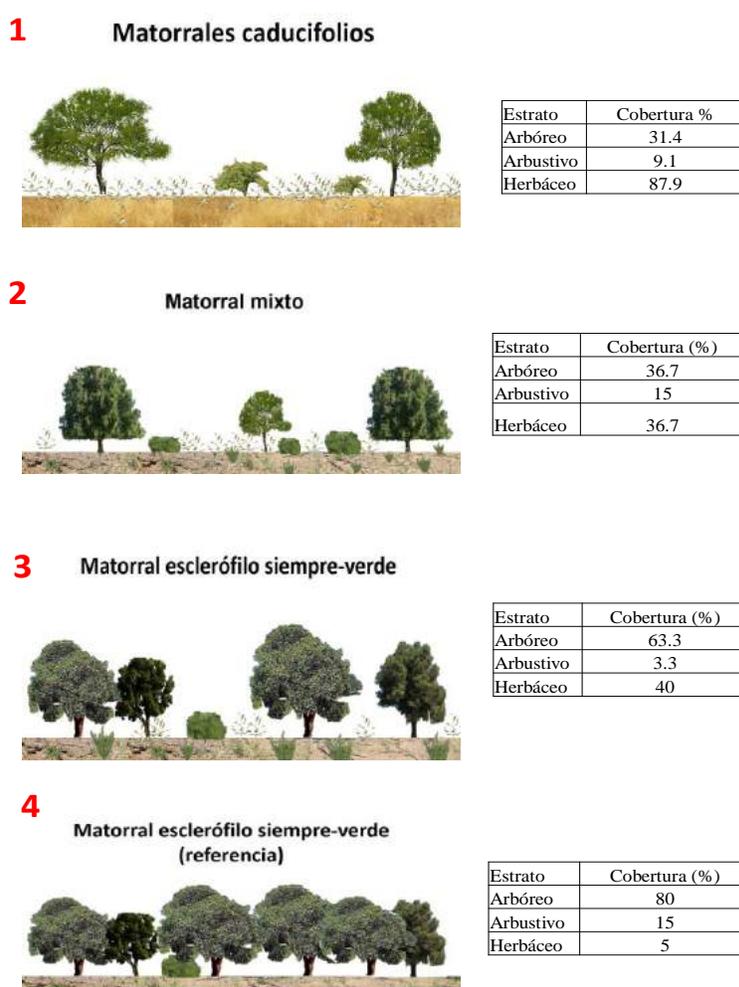


Figura 6.- Estructura de los diferentes tipos de bosques (de matorral caducifolio a matorral esclerófilo. Acorde al análisis de composición y cobertura vegetal en diferentes estratos de las localidades analizadas. El modelo de matorral esclerófilo siempre-verde es hipotético.

7.10.2.- Representatividad de los resultados

Ciertamente que el área en estudio, declarada para cuatro regiones presenta importantes variaciones en cuanto a las condiciones propias de la vegetación mediterránea: estructura, cobertura, edad, pendiente, cambios a nivel de comunidad, presencia de disturbios, efecto borde y las variaciones propias de la latitud y condiciones meteorológicas locales. Todos estos aspectos, si bien es cierto permiten la existencia de variaciones en las condiciones propias de este tipo forestal en cuanto a sus características físicas, para el análisis de los incendios forestales, las variables que miden el comportamiento potencial del fuego no experimentan variaciones significativas en relación a la localización o estado de la muestra. En un caso extremo, las máximas variaciones se presentan entre formaciones existentes entre zona mesomórfica e hidromórfica, con más cercanías y similitudes con la zona xeromórfica. Las muestras y sus localizaciones se encuentran todas en la zona mesomórfica correspondiente a Chile Central, con lo cual los resultados obtenidos en cada parcela de muestreo y sus testigos asociados, son representativas de estas áreas a nivel mesomórfico.

7.10.2.1.- Situación 1: Matorrales caducifolios: *A. caven* (árbol) y *R. moschata* (arbusto) y *A. barbata* (hierbas).

Esta es una de las situaciones con mayor degradación estructural y de composición de especies nativas. Desde un punto de vista funcional, este tipo de vegetación es dominado por especies (nativas y exóticas) con estrategias adaptativas particulares para evadir la sequía, resistir la alta radiación y tolerar los eventos de fuego. Las diferencias en la profundidad de las raíces, la capacidad de rebrote, los síndromes de dispersión de semillas, la temporada y duración de crecimiento son rasgos funcionales importantes para vincular las respuestas de estas especies a estas condiciones ambientales.

Las especies arbóreas tales como *A. caven* pueden capturar agua a mayores profundidades del suelo (aproximadamente 6 metros de profundidad), mientras los arbustos (a 1 – 2 metros de profundidad) y las hierbas a menos de 30 cm. Estas especies tienen gran habilidad regenerativa. Los árboles y arbustos pueden rebrotar de tocones después de eventos de fuego o temporadas de sequía extrema. Se piensa que las cortezas gruesas del fuste pueden reducir el daño del fuego a los fustes (aunque depende de la intensidad del fuego) y las especies cuentan con reservas de carbohidratos que permiten rebrotar después del fuego (aunque la intensidad del rebrote depende de la temporada del fuego y del crecimiento de las especies). Una vez cumplido el ciclo de vida, las hierbas evaden la sequía y a la vez el fuego, y regeneran por semillas en la próxima temporada posterior a los fuegos (incluso el fuego contribuye en el tratamiento de semillas y la liberación de nutrientes). En general todas estas especies son altamente productivas (tasas de crecimiento elevado, altas tasas de fotosíntesis, mayor área foliar específica y contenido de nitrógeno). Sin embargo, su crecimiento se limita a un breve periodo, lo que reduce su productividad anual.

Las especies perennes crecen durante primavera y verano y las hierbas en invierno y primavera.

El crecimiento de estas especies está limitado por la alta radiación y el déficit hídrico en verano, por eso durante la época seca las plantas perennes entran en dormancia y las hierbas cumplen su ciclo reproductivo previo al verano. Las especies arbustivas y herbáceas en verano y otoño forman un material altamente inflamable lo que incrementa las probabilidades de incendios. Estas especies tienen gran habilidad de dispersión de semillas. Generalmente, las semillas son pequeñas y livianas, y son dispersadas por el viento y los animales, lo que permite regenerar en sitios con escasa vegetación arbórea. Por ejemplo, *A. caven* es dispersada por el ganado vacuno y gran parte de las hierbas son dispersadas por el viento y los animales domésticos y silvestres. La principal limitación de estas especies para el crecimiento es el frío en invierno, y el déficit de agua en verano. Estas especies por lo general son sombra-intolerantes. Sin embargo, bajo estas condiciones ambientales las hierbas y los arbustos tienen mayor rendimiento productivo bajo la sombra de *A. caven*, que es una de las pocas especies que mantiene su follaje en verano otorgando sombra a especies que tienen menor acceso al agua por sus raíces superficiales.

7.10.2.2.- Situación 2: Matorral mixto

P.boldus – *R. trinervia*

Este tipo de vegetación representa un estado de transición de matorral caducifolio a matorral esclerófilo. La principal característica de este tipo de bosque es la coexistencia de especies con diferentes estrategias para evitar el estrés hídrico, el estrés radiativo y los fuegos. En este tipo de bosque se debería esperar alta divergencia funcional, la cual es asociada a una mayor complementariedad de uso de recursos limitantes (tales como el agua) por mayor diferenciación de nicho y facilitación, y a una mayor resiliencia a los disturbios (tales como el fuego y la sequía), debido a que no todas las especies son afectadas de la misma manera por eventos extremos, y porque hay mayor probabilidad de que la función de una especie afectada sea compensada por otra no afectada. El equipo de investigación considera que la composición de las especies y la distribución de los rasgos funcionales en los ensamblajes son importantes para emular procesos de sucesión natural e intuir posibles interacciones bióticas positivas entre las especies.

7.10.2.3.- Situación 3: Matorral esclerófilo siempre-verde

La presencia de especies arbóreas siempre-verdes sugiere una menor degradación de la vegetación. Este tipo de bosque es dominado por especies perennes de hojas esclerófilas, aunque debido a la alta degradación, también se extiende una cobertura herbácea y arbustiva caducifolia de menor importancia. Este tipo de bosque está dominado por especies con estrategias adaptativas particulares (casi opuestas a las caducifolias) que les permiten habitar este tipo de ambientes posiblemente de manera complementaria por diferenciación de nicho. Estas especies evitan el estrés hídrico, la alta radiación y el fuego de

diferentes maneras que las caducifolias. El estrés hídrico de estas especies por una parte es evitado por su gran capacidad de explorar el suelo para absorber el agua y los nutrientes. Existen especies como *L. caustica* y *Q. saponaria* que extienden sus raíces hasta profundidades mayores a 5 metros y especies como *P. boldus* y *C. alba* que tienen una gran capacidad de extender sus raíces laterales hasta 2 a 5 metros con una profundidad moderada de 1 a 2 metros. Las primeras dos especies en etapas juveniles tienen alta capacidad para explorar el suelo a mayores profundidades. Sin embargo, las dos últimas son sensibles a la deshidratación debida a que la escasa profundidad radicular y masa restringen su acceso al agua. Estas especies también cuentan con una habilidad para rebrotar de tocones por la presencia de lignotúberes, estructuras subterráneas de los tallos que son fuente de yemas dormantes y reservas de carbohidratos, que les permiten rebrotar posterior a un evento extremo de sequía o un evento de fuego. La esclerofilia en las hojas es un rasgo importante que les permite tener una mayor eficiencia en el uso del agua y de esta manera reducir las tasas de transpiración (pérdidas de agua) con el costo de reducir la asimilación de CO₂. Sin embargo, este costo se compensa con una mayor duración en la longevidad de las hojas que les permite prolongar la fotosíntesis durante todo el año e incrementar la productividad anual (*P. boldus* y *C. alba* renuevan hojas cada 1 o 2 años). De esta manera, el crecimiento de estas especies es de mayor duración, pero con una tasa adquisitiva de recursos reservada, estas tienen su crecimiento principalmente en primavera.

Las especies esclerófilas son menos inflamables que las caducifolias debido a que sus hojas tienen mayor contenido de humedad que las deciduas. Asimismo, su mayor altura de las copas reduce la cantidad de material inflamable próximo al suelo. Los rasgos de las semillas de estas especies (semillas grandes, con frutos carnosos, tales como de *P. boldus*, *C. alba* y *P. lingue*) no facilitan la dispersión de estas especies a larga distancia y bajo condiciones de suelo descubierto. Estas características son una parte de las principales limitaciones para la sucesión natural de los bosques esclerófilos a etapas de sucesión tardía. Sin embargo, se sugiere que las semillas de estas especies pueden dispersarse por aves alrededor de árboles y arbustos maduros distribuidos a través de los matorrales deciduos. El establecimiento de estas especies podría ser posible bajo la sombra de especies arbóreas caducifolias y algunas esclerófilas de raíces profundas, tales como *A. caven*, *L. caustica*, *Q. saponaria* por diferenciación de la morfología de raíces. Una vez que las esclerófilas de raíces superficiales llegan a establecerse, estas alcanzan mayor envergadura de copa y a interceptar gran parte de la energía solar. De esta manera las especies caducifolias son excluidas por competencia de luz y las especies esclerófilas son co-dominantes. Las especies esclerófilas también suprimen hierbas exudando sustancias alelopáticas.

7.11.- Elaboración de pautas para la restauración

7.11.1.- Primera Pauta de terreno: Ensamble de especies

Acorde a los antecedentes de la estructura y composición de las especies y la distribución de los rasgos funcionales en las áreas de estudio, se proponen tres ensambles de especies para asistir la reforestación de especies nativas.

Ensamble A. para matorrales caducifolios (muy degradados).

En estos ambientes es importante el establecimiento de ***A. caven* (60%)**, ***Q. saponaria* (20%)** y ***T. trinervia* (20%)**. Estas especies son resistentes a la sequía y a la alta radiación solar. Las dos primeras tienen la capacidad de explorar suelos más profundos para capturar agua, la principal limitante en estos ambientes. Además, debido a que tienen raíces profundas no competirán por el agua con arbustos y hierbas que tienen raíces superficiales y son altamente competitivas por este recurso. Las altas tasas de crecimiento en primavera y verano de estas especies, una vez desplegadas sus raíces, puede posibilitar establecer árboles en el primer año. *T. trinervia* es una especie fijadora de nitrógeno, y de raíces superficiales que puede competir por agua y luz con hierbas excluyéndolas para reducir la cantidad y la calidad del material inflamable.

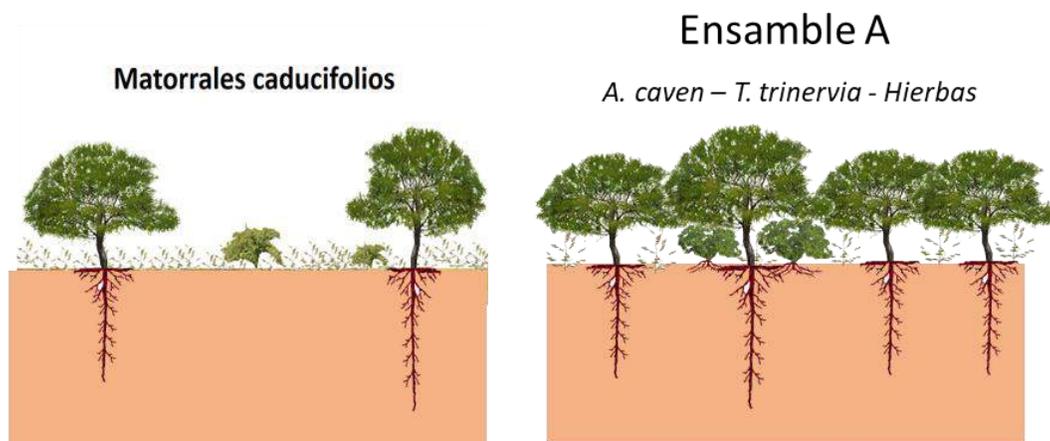


Figura 7.- Ensamble de especies para matorrales caducifolios (muy degradados). Izquierda: antes de plantar, Derecha: después de plantar.

Asimismo, este arbusto aportaría nitrógeno al suelo permitiendo incrementar la productividad en suelos carentes de estos recursos. Como recomendaciones sugerimos plantar *A. caven* en suelos abiertos separados por distancias de 3 a 5 metros para evitar una posible futura competencia intra-específica por luz y agua. Las plántulas de *Q. saponaria* y *T. trinervia* pueden establecer bajo la cobertura de árboles maduros de *A. caven* para utilizar el efecto nodriza de estas especies. El establecimiento de *A. caven* puede ser fundamental para establecer especies esclerófilas de sucesión tardía en una etapa posterior. Sin embargo, las densidades finales de plantación no debieran superar las 600-800 plantas por hectárea.

Ensamble B. para matorrales mixtos (degradados).

Para este tipo de bosque recomendamos el establecimiento de especies esclerófilas y semi-decíduas: ***P. boldus* (30%), *C. alba* (20%), *L. caustica* (20%) y *A. caven* (30%)**. Las especies esclerófilas de *C. alba* y *P. boldus* son sombra-tolerantes y pueden beneficiarse del efecto nodriza de árboles dispersos de *A. caven* y *Q. saponaria*. Las plántulas de estas especies esclerófilas pueden plantarse aglomeradas bajo la cobertura árboles maduros a altas densidades (0.5 x 0.5 m). Se espera que una vez establecidas puedan suprimir a *A. caven* y co-dominar con *Q. saponaria*. En este modelo esperamos que *A. caven* y *Q. saponaria* reduzcan la alta radiación para las plántulas principalmente en verano y no compitan por el agua debido a la amplia diferenciación radicular y fenológica presente entre estas especies. Las plántulas de *L. caustica* pueden ser plantadas a altas densidades bajo la cobertura de árboles maduros de *P. boldus*, debido a que *L. caustica* es una especie sombra-tolerante y tiene amplia plasticidad de copa, lo que le permite co-dominar bajo la cobertura de otras especies esclerófilas. Como en el anterior caso, entre este par de especies existe una amplia diferencia radicular, fenológica y en la arquitectura de sus copas. Las plántulas de *A. caven* deben ser plantadas a suelo descubierto en superficies donde no existen árboles ni arbustos. Debido a que estas especies tienen la misma estrategia de vida, sugerimos plantar espinos a distancias de 4 a 5 metros entre individuos para evitar una posible futura competencia por recursos de luz y agua.

Ensamble B

Matorrales mixtos

P. boldus - *C. alba* - *L. caustica* - *A. caven*

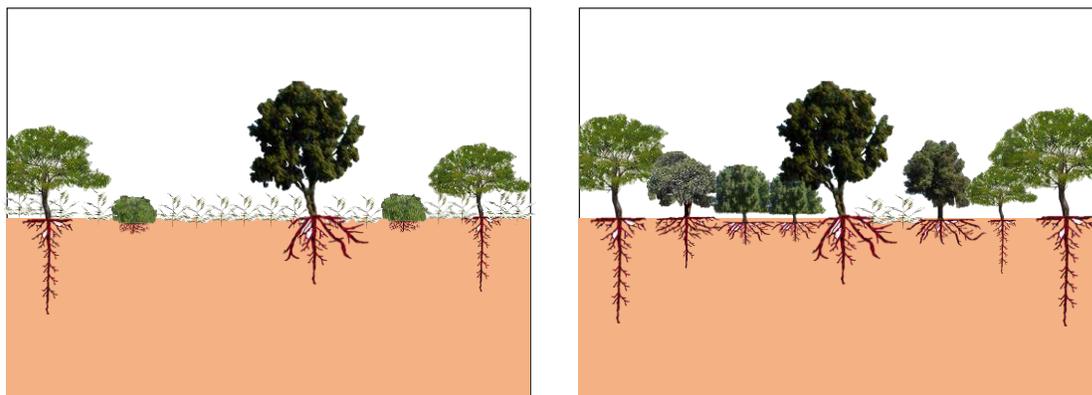


Figura 8.- Ensamble de especies para matorrales mixtos (degradados). Izquierda: antes de plantar, Derecha: después de plantar.

Ensamble C. para matorrales esclerófilos (degradados).

Para este tipo de matorral sugerimos aplicar el ensamble de ***C. alba* (60%), *P. boldus* (30%), 10% *Q. saponaria***. Como el tipo de vegetación ya tiene una mayor cobertura de especies esclerófilas, sugerimos incrementar la abundancia de especies esclerófilas con estrategias de vidas complementarias y propicias para permitir una sucesión de especies tardías. Las plántulas de *C. alba* y *P. boldus* deben ser plantadas próximas, pero no por debajo de la cobertura de copas de los árboles maduros de *L. caustica* y *Q. saponaria* a densidades moderadas (600-800 plantas/ha). Estas especies podrían ocupar el estrato superficial del suelo desplegando raíces superficiales, lo que evitará la competencia por recursos con sus probables plantas nodrizas. Asimismo, se espera que estas especies co-dominen el dosel con los árboles maduros inicialmente establecidos, puesto que son especies de copas más altas. Las plántulas de *Q. saponaria* deben establecerse en áreas abiertas, puesto que además son especies demandantes de luz.

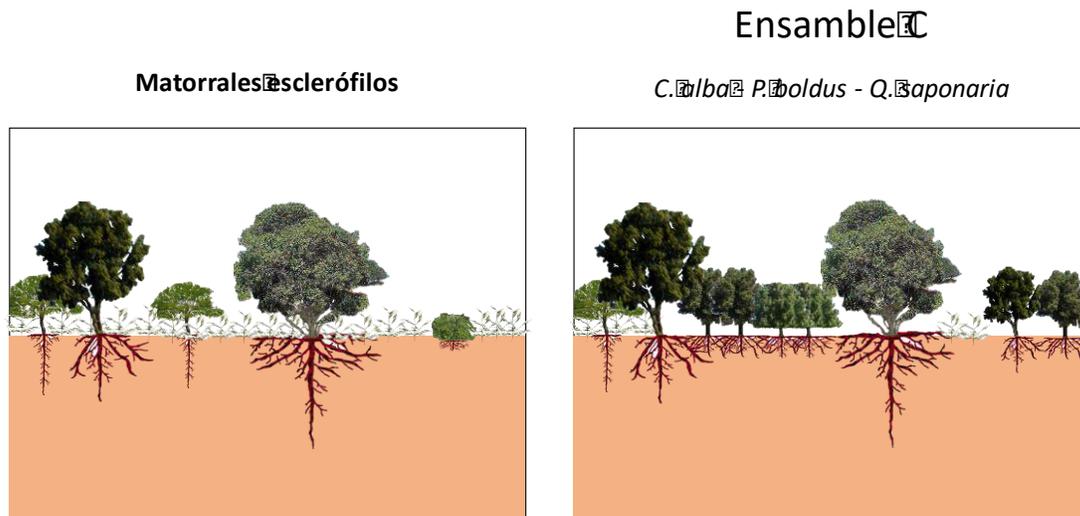


Figura 9.- Ensamble de especies para matorrales esclerófilos (degradados). Izquierda: antes de plantar, Derecha: después de plantar.

Cuadro 23.- Diferenciación de rasgos funcionales de especies propuestas para los ensambles

Especie	Estrategia de vida	Raíz	Temporada a crecimiento	Copa	Productividad	Tolerancia a la sombra	Capacidad de rebrote post-disturbio
<i>A. caven</i>	Árbol caducifolio	Profunda y pivotante (5-6 m)	Primavera-Verano	Mediana	Moderada	Baja	Alta
<i>R. trinervia</i>	Arbusto caducifolio	Superficial (< 1 m)	Invierno-Primavera	Baja	Moderada	Media	Alta
<i>Q. saponaria</i>	Árbol esclerófilo siempre-verde	Profunda pivotante (5-7 m)	Primavera	Alta	Moderada	Baja	Alta
<i>L. caustica</i>	Árbol esclerófilo siempre-verde	Profunda (5 m) y extendida lateralmente (4 m) (duales)	Verano	Mediana	Moderada	Media	Alta
<i>P. boldus</i>	Árbol esclerófilo siempre-verde	Raíces superficiales (< 1 m) muy extendidas (2- 3 m)	Primavera-Verano	Mediana	Alta	Media	Alta
<i>C. alba</i>	Árbol esclerófilo siempre-verde	Raíces moderadamente profundas (< 3 m) muy extendidas (3- 5 m).	Primavera	Alta	Alta	Baja	Media

Este conjunto, corresponde a la **primera pauta de restauración**, consistente en ensambles para imitar procesos naturales de sucesión, acorde a la evidencia funcional de los rasgos de las principales especies del matorral de Chile. Sin embargo, no existen estudios que validen las posibles interacciones inter-específicas que podrían manifestarse entre plántulas leñosas y árboles adultos con estrategias funcionales diferentes. Por tanto, la aplicación de estos ensambles, deben ser aplicados desde un enfoque experimental. Por ejemplo, en un ensamble se sugiere plantar *P. boldus* a densidades mayores bajo la cobertura de *A. caven* en matorrales degradados. Pues entonces, sería importante también plantar algunas plantas de *P. boldus* fuera de la copa de *A. caven* para comparar el rendimiento de las plántulas bajo ambos tratamientos. Esto procedimiento puede ser muy útil para diseñar ensambles que permitan gestionar de manera más eficiente los rasgos funcionales de las especies.

En resumen, las áreas estudiadas pueden ser clasificadas en: (a) Matorrales caducifolios de *A. caven* (árbol), *R. moschata* (arbusto) y *A. barbata* (hierbas), (b) Matorral esclerófilo siempre-verde *L. caustica* – *C. alba* y Matorral mixto *P. boldus* (árbol) – *R. trinervia* (arbusto) y *A. barbata*. Los ensambles propuestos corresponden a: *A. caven* (60%), *Q. saponaria* (20%) y *T. trinervia* (20%) para (a), *C. alba* (60%), *P. boldus* (30%), 10% *Q. saponaria* para (b) y *C. alba* (60%), *P. boldus* (30%), 10% *Q. saponaria* para (c). *A. caven* y *Q. saponaria* son las únicas especies que se recomienda plantar en áreas abiertas espaciadas 3-5 m para que no compitan entre sí. Todas las otras especies deben ser plantadas en clusters o bien bajo nodrizas o micrositos favorables. Las densidades de plantación no deben superar las 600-800 plantas por hectárea.

7.11.2.-Segunda Pauta de terreno: Medidas Silvícolas

Las evidencias de terreno para cada uno de los sectores evaluados permiten establecer directrices generales sobre medidas elementales de manejo de renuevos, de la vegetación sobreviviente, como también en la mitigación del peligro futuro de incendios forestales actuando directamente sobre la carga de material vegetal combustible.

Como se indicaba en el apartado de comportamiento del fuego, una pauta válida a terreno consiste en considerar la respuesta potencial de la vegetación frente a futuros episodios de fuego, bajo la premisa que existen ciertas condiciones promedio que no cambiarán sustantivamente en el tiempo, tales como la topografía, exposición y clima local.

Por lo anterior, en esta sección se exponen lineamientos generales que son válidos no sólo para las áreas prospectadas, sino que además responden a una condición media de la respuesta evidenciada por la vegetación, en respuesta al fuego.

Un área test para la propuesta de acciones corresponde a Quilpué, en donde se visita un área que fue afectada por incendio con el propósito de evaluar el estado de la vegetación a tres meses (febrero 2018) del evento. Para tales efectos, se compara la situación en sector quemado con testigo vecino sin quemar (ver fotografías).



Fotografía 1.- Límite entre sector quemado (derecha) y no quemado (arriba izquierda).

7.11.2.1.- Sector quemado

En el sector se presenta un espinal con estructura de monte bajo, de tres a cuatro metros de altura (siguiente fotografía).



Fotografía 2.- Vista general del espinal quemado.

La cobertura promedio es de 60% con máximo de 80%. Se presentan algunas cactáceas y, en sectores abiertos, existe una abundante evidencia de cuevas del roedor cururo (siguiente fotografía).



Fotografía 3.- Área descubierta con cuevas de cururo.

En un punto ubicado en la orilla de la formación se encuentra un ejemplar de molle (*Schinus latifolius*) de seis metros de altura, acompañado de un ejemplar de maitén de menor estatura y otros de espino conformando el estrato inferior (siguiente fotografía).



Fotografía 4.- Ejemplar de *Schinus latifolius* sobresaliendo sobre el espinal.

Aparte de lo anterior, se registraron tres ejemplares de maitén quemados de una altura aproximada de tres metros. En este sector se observó presencia de rebrote basal inicial en varios ejemplares de tamaño pequeño a mediano.

7.11.2.2.- Sector no quemado

Vecino al anterior. Presenta un espinal con 50% de cobertura, dos a tres metros de alto y estructura de monte bajo. Gran desarrollo de herbáceas (siguiente fotografía).



Fotografía 5.- Sector no quemado.

7.11.3.- Tercera pauta: Propuesta de intervenciones silviculturales

Tal como ocurre habitualmente en estas formaciones tipo mediterráneo, las especies vegetales están adaptadas a la ocurrencia de incendios. Por lo tanto, es esperable el rebrote de cepa de las especies leñosas y el re-establecimiento de especies herbáceas pioneras luego de las primeras lluvias del próximo otoño, sin perjuicio de la eventual incorporación de regeneración natural mediante ejemplares provenientes de semillas de las especies leñosas presentes en el lugar o en las inmediaciones. De este modo, se puede esperar que se iniciará un proceso de restauración pasiva.

No obstante, si se desea restringir los plazos en que dicho proceso se llevará a cabo es necesario intervenir mediante un manejo silvicultural, el cual permite, además, mejorar las características de la futura formación vegetal en términos de composición, estructura y condición. Para tales efectos se plantean los siguientes tratamientos:

7.11.3.1.- Tratamiento de ejemplares quemados

En ejemplares de espino y de maitén parcialmente afectados por el fuego, realizar **clareo** de vástagos y/o **poda** de ramas con evidencias de quema. Con esta operación, que se recomienda aplicar durante el próximo otoño o invierno, se pretende un mayor dinamismo y calidad en la recuperación de los ejemplares.

En ejemplares de las mismas especies anteriores afectados por el fuego en gran parte de su fitomasa o en su totalidad, realizar un **corte bajo** para estimular una vigorosa retoñación. Este corte bajo debe incluir a todos los vástagos presentes, aún en el caso de que exista alguno en estado verde. Al igual que en el caso anterior, esta operación debe realizarse durante el otoño o invierno.

7.11.3.2.- Tratamiento del nuevo rebrote

Tanto para el nuevo rebrote que se observó en la visita, como aquel que se produzca como resultado de la operación anterior, se propone realizar **clareo** de retoños una vez que estos alcancen una altura de un metro, lo que se espera que ocurra al segundo año. En este primer clareo se dejarán entre seis y diez retoños por cepa. Una vez que los ejemplares alcancen una altura de dos metros se hará un nuevo clareo, bajando la densidad a dos a cuatro retoños por cepa. Con posterioridad, dependiendo del objetivo de manejo del área, se podrá mantener una estructura de monte bajo, en el caso de que predomine el propósito de producción de biomasa o bien, alcanzar un estado de monte alto mediante la realización de **raleo** de vástagos para llegar a ejemplares meta de tipo monofustal, en el caso que la producción ganadera y/o mejorar la calidad paisajística de la formación en atención a su ubicación junto a una carretera, constituyan objetivos prioritarios.

Si se presenta la existencia de un vástago antiguo o un ejemplar de otra especie que compita verticalmente (desde arriba) con el rebrote deberá aplicarse una **corta de liberación**, eliminándose total o parcialmente los ejemplares competidores.

7.11.3.3.- Enriquecimiento

Este tratamiento permite aumentar la cobertura y mejorar la composición mediante la incorporación, mediante siembra o plantación de especies existentes o no en la formación. Para ello, se propone la **plantación** de ejemplares de *Schinus latifolius* y *Maytenus boaria* en los claros que no presenten evidencias de cururo. Los ejemplares deben tener una altura mínima de 15 cm y un diámetro de cuello superior a 3 mm. Las plantas se ubican en casillas de 30 cm de lado y profundidad y se evita la remoción de la materia orgánica del suelo. Las piedras de mayor tamaño deben ser extraídas de las inmediaciones donde se ubicarán las plantas. Los ejemplares se instalan de acuerdo a un distanciamiento irregular, considerando una distancia de referencia de cuatro metros entre ellos.

A cada individuo plantado se le coloca una protección en forma de pantalla mediante malla tipo gallinero o papel aluminio (similar a los envases tetra pack la que será fijada en terreno mediante el uso de tutores). Estas protecciones debieran tener 0,5 m de diámetro y 75 cm de alto, siendo enterradas a 10 cm de profundidad.

En ausencia de precipitaciones superiores a 5 mm, se procede a la aplicación de riegos quincenales mediante una tasa de cuatro a cinco litros por ejemplar, durante, al menos, el primero y segundo año después de la ejecución de la plantación. En el caso de la presencia de maleza, será necesario aplicar limpiezas que se prolongarán hasta que los ejemplares plantados alcancen un metro de altura.

Una segunda área test propuesta para la definición de medidas silviculturales corresponde a Quebrada Escobar, sector de Limache, V Región. En este lugar se estableció una parcela de muestreo a 14 meses después de incendio, y en la cual se realizó un completo seguimiento de la dinámica de respuesta de la vegetación esclerófila frente a los efectos del fuego. Mediante la comparación de un área quemada respecto a la sin quemar (testigo), se analizan las siguientes situaciones, para luego proponer pautas de intervención con el objetivo de reducir carga de combustible y con ello aminorar el peligro de futuros incendios forestales.

7.11.3.3.1.- Sector quemado

Se analizan varias situaciones de acuerdo a los siguientes puntos.

Punto 1: Sitio con pendiente de 60-70%, exposición SE. Suelo franco limoso.



Fotografía 6.- Vista general del sector quemado, punto 1.

Vegetación original: Trevo, boldo y litre, con cobertura de 50%, todo quemado. Presenta estructura indefinida cercana a la natural (Vita, 2007).



Fotografía 7.- Vegetación Punto 1.

Actualmente se presenta un rebrote generalizado, muy vigoroso con altura general que alcanza a 0,7 m, sobresaliendo un rebrote de boldo de 1,5 m de alto.



Fotografía 8.- Punto 1. Vigoroso rebrote de boldo.

Punto 2: Sitio de exposición S con pendiente de 60%.



Fotografía 9.- Vegetación Punto 2.

Se presentan espinos como dominantes, observándose un ejemplar de boldo emergiendo entre espinos.

Punto 3: Sitio con exposición SE y pendiente de 40%.

Con predominancia de espino y cobertura de 30%, situación con árboles no quemados.

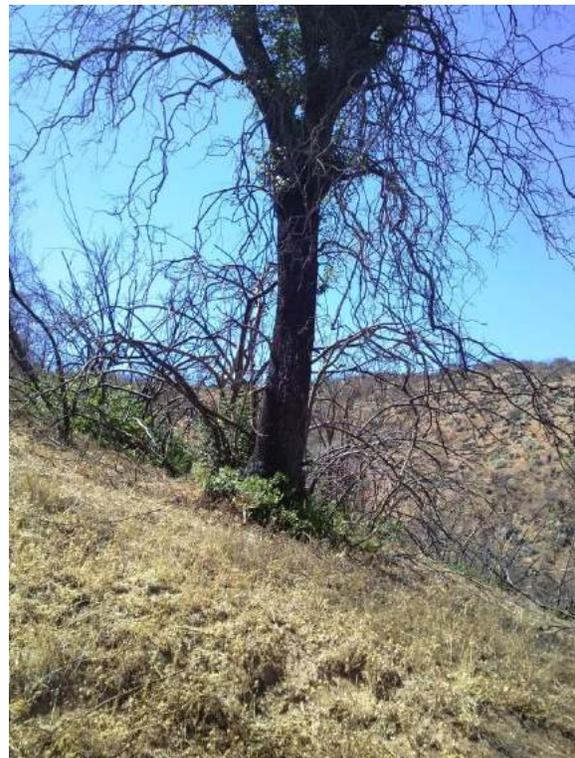


Fotografía 10.- Vegetación Punto 3.

Se aprecia regeneración por semillas de espino y algunos ejemplares de litre con rebrote.

Punto 4: Sitio con exposición SE y pendiente de 70%.

Se presenta un gran ejemplar de quillay quemado en su parte inferior, con algo de rebrote basal. Existen varios ejemplares de espino no quemados, observándose rebrote en boldos. La cobertura original se estima en 50%.



Fotografía 11.- Punto 4. Ejemplar de quillay semiquemado, con rebrote parcial.

7.11.3.3.2.- Sector no quemado

Corresponde a un sitio con pendiente variable entre 40 y 60%, en exposición Sur. Se presenta un espinal con trevo, con algo de boldo, litre y puya. La estructura predominante es de monte bajo. En la parte superior de la pendiente predomina espino, en tanto que en la parte inferior se presentan especies esclerófilas.



Fotografía 12.- Parte alta de sector

no quemado, con presencia de espino.



Fotografía 13.- En la parte baja del sector no quemado se ubican preferentemente las especies esclerófilas.

De acuerdo a lo observado en la visita a terreno, se evidencia un vigoroso rebrote de cepa de las especies esclerófilas que fueron afectadas por el fuego, en particular, la especie dominante *Peumus boldus* (Boldo). Asimismo, en puntos donde el fuego fue suave o nulo, se observaron plántulas de *Acacia caven* (Espino). Para efectos de dinamizar la recuperación post incendio, se plantean los siguientes tratamientos:

7.11.3.4.- Tratamiento del rebrote en desarrollo

Considerando el estado de desarrollo del rebrote producido, para otoño o invierno próximo, se propone realizar **clareo** de retoños. En este primer clareo se dejarán entre seis y ocho retoños por cepa. Una vez que los ejemplares alcancen una altura de dos metros se hará un nuevo clareo, bajando la densidad a dos a cuatro retoños por cepa. Con posterioridad, dependiendo del objetivo de manejo del área, se podrá mantener una estructura de monte bajo, en el caso de que predomine el propósito de producción de biomasa, hojas de boldo, por ejemplo, o bien, alcanzar un estado de monte alto mediante la realización de raleo de vástagos para llegar a ejemplares meta de tipo monofustal, en caso que la producción ganadera y/o mejorar la calidad paisajística de la formación. Otra posibilidad es determinar una estructura de monte medio.

En conjunto, o mejor aún, en forma previa a la operación anterior, se plantea una **corta de liberación** mediante la eliminación de las porciones secas del ejemplar original quemado. Con el propósito de evaluar la efectividad de este tratamiento, se propone dejar algunos ejemplares sin este tipo de corta como testigos.

7.12.- Seguimiento y pronóstico de peligro post-restauración.

De acuerdo a las evaluaciones de las parcelas prospectadas, la respuesta de la vegetación y los análisis asociativos de comunidades de especies, se presentan diagramas de seguimientos con el propósito de apoyar las interpretaciones sobre carga de combustible potencial post-recuperación y condiciones estructurales de la vegetación frente al impacto futuro de incendios. La siguiente figura expone el criterio general para la evaluación de cada uno de los escenarios presentes (Figura 9).

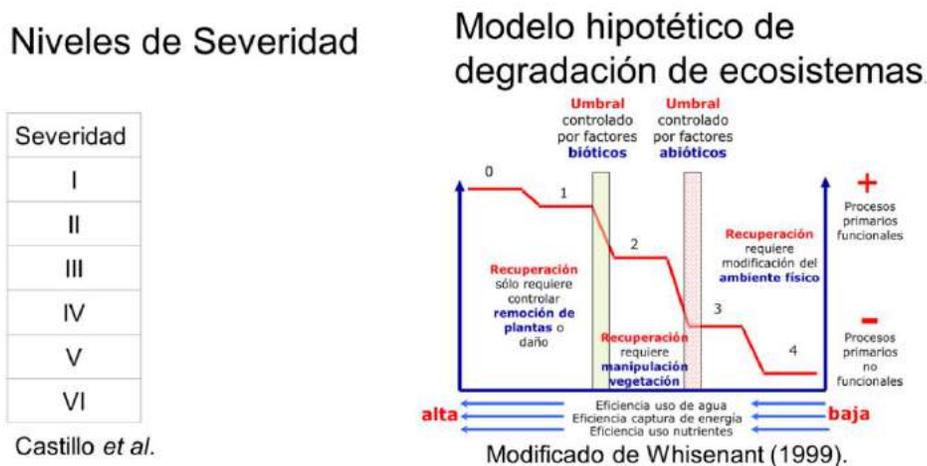


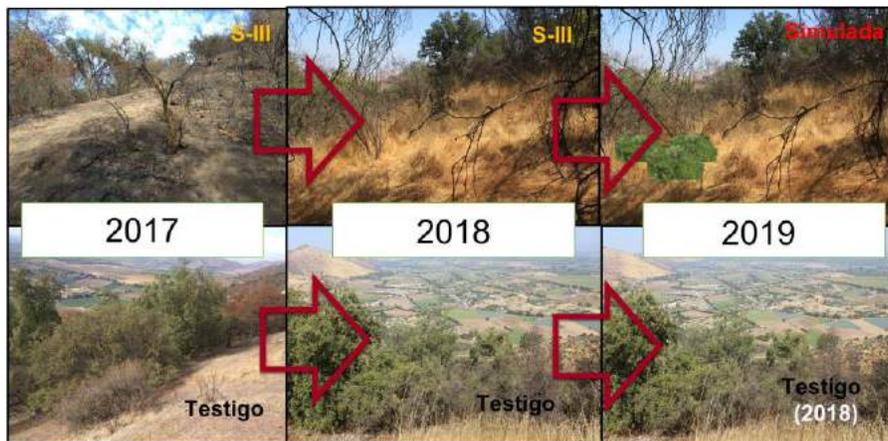
Figura 10.- Nivel de referencia para la asignación de la escala de severidad, en combinación con el modelo de Whisenant.

Nota importante: en los siguientes diagramas, se presenta una simulación de la presencia de especies en la columna "Simulada", sobre la base de la proyección en la recuperación detectada en campo.

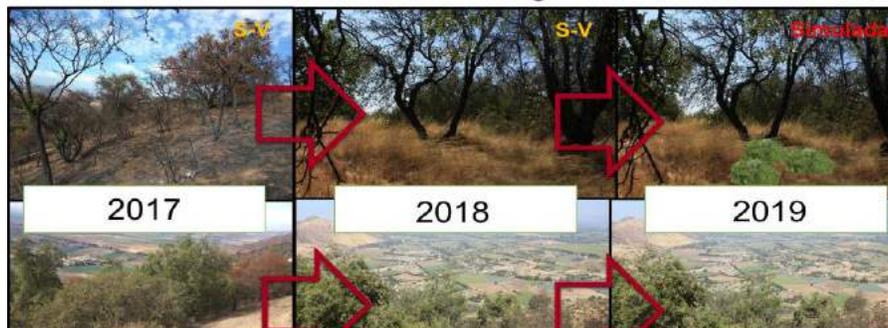
7.12.1.- Región Metropolitana

Los siguientes diagramas muestran la respuesta gráfica en el seguimiento de la recuperación. Para el caso de Cuesta Barriga, las severidades fluctúan entre categorías III y V, lo cual es moderada a alta. Similar situación para San José de Maipo. La carga de combustible se remite a material fino y medio, dispuesta irregularmente en el manto superficial y matorral. El nivel de peligro es moderado con proyección de carga mayor para las leñosas altas por la estructura de copas.

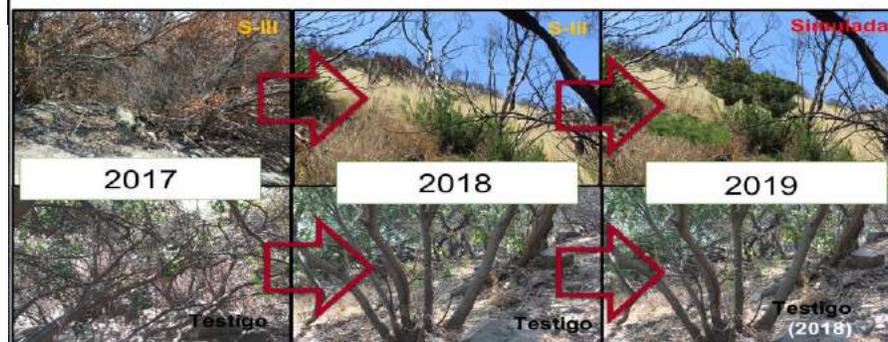
Cuesta Barriga



Cuesta Barriga

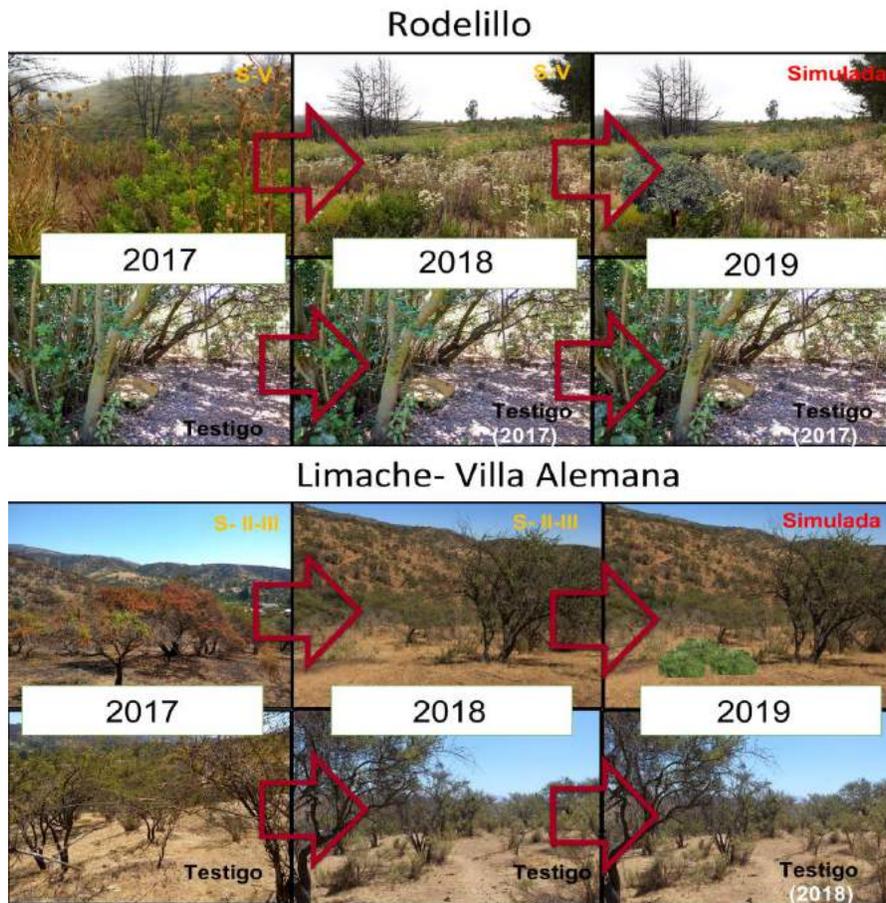


San José de Maipo

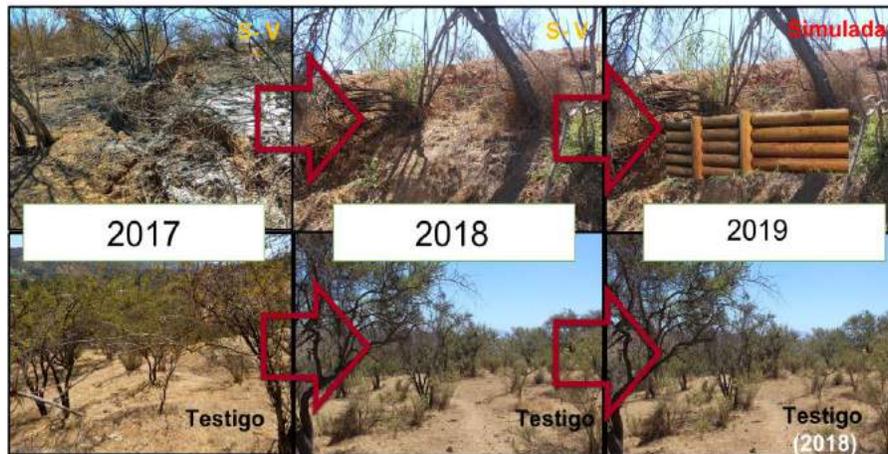


7.12.2.- Región de Valparaíso

La región de Valparaíso se caracteriza por la presencia permanente de incendios en vegetación nativa y matorral producto de la alta ocurrencia y vulnerabilidad del combustible frente a la propagación del fuego. Castillo (2006) ha estudiado estos ecosistemas, especialmente en formaciones de bosque esclerófilo. Las tendencias indican cambios regresivos del paisaje vegetal a una estructura clímax de degradación equilibrada con la presencia de plantas invasoras y un manto vegetal de rápido cubrimiento. La regeneración es preferentemente vegetativa y muy resistente a la herbivoría. Las opciones de restauración están orientadas más al apoyo con medidas localizadas en evitar la pérdida de productividad del suelo debido a la capa hidrofóbica y monitorear permanentemente la recuperación natural (medidas pasivas). En el caso de Villa Alemana el patrón de recuperación es más focalizado a la actividad de especies leñosas y en menor grado a las herbáceas y arbustivas. El suelo expuesto amerita la iniciativa de proponer obras físicas localizadas en puntos con mayor vulnerabilidad al arrastre de materiales. En ambas localizaciones, el nivel de peligro proyectado es moderado a elevado, principalmente por las altas tasas de propagación esperada del fuego debido a la alta cantidad de material fino en el piso vegetal.



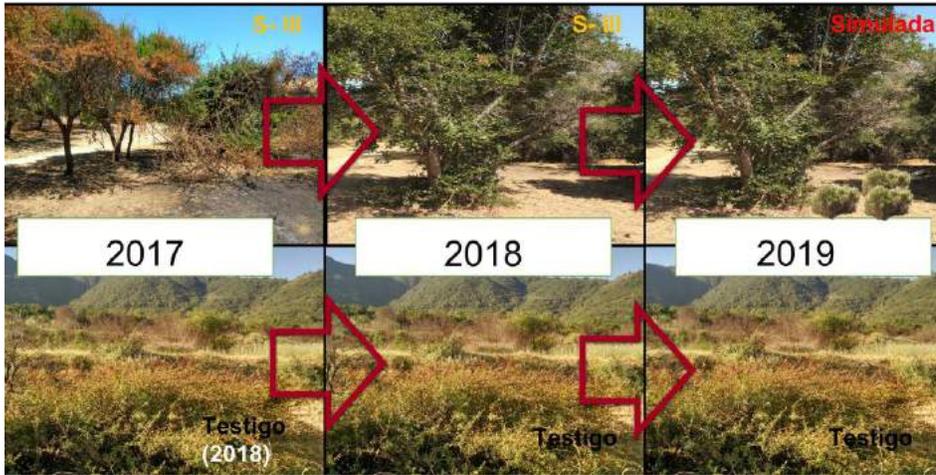
Limache- Villa Alemana



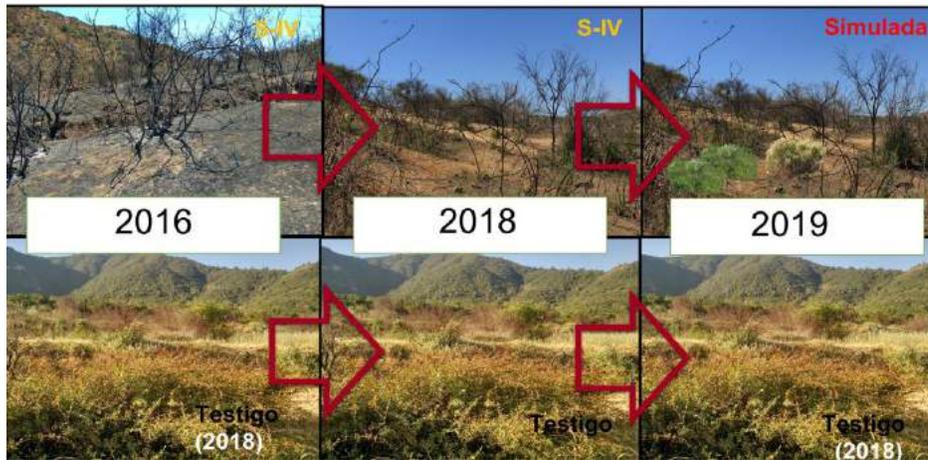
7.12.3.- VI Región

Presenta una diversidad de escalas de afectaciones, concentradas en niveles moderados a muy altos. La recuperación es lenta en Mina del Toco debido a la alta intensidad del fuego, y moderada a acelerada en el sector de La Estrella. La carga proyectada de combustible es baja, siendo necesario monitorear el peligro de incendios mediante tratamiento focalizado del rebrote y acciones específicas de enriquecimiento. En El Toco como en La Estrella, no se prevén aumentos significativos de combustible leñoso alto, concentrándose el nivel de peligro en la activación del combustible liviano en el piso de pastizales y matorral hasta 1,5 metros desde el suelo.

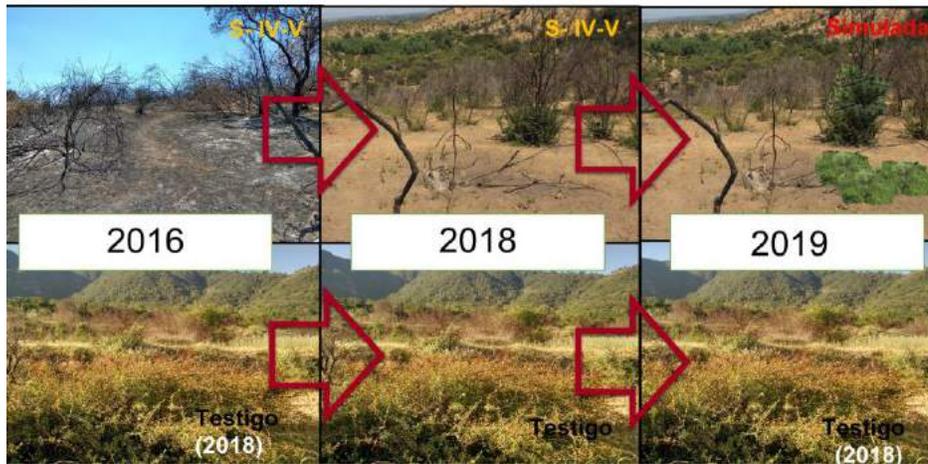
Mina del Toco-Pichidegua



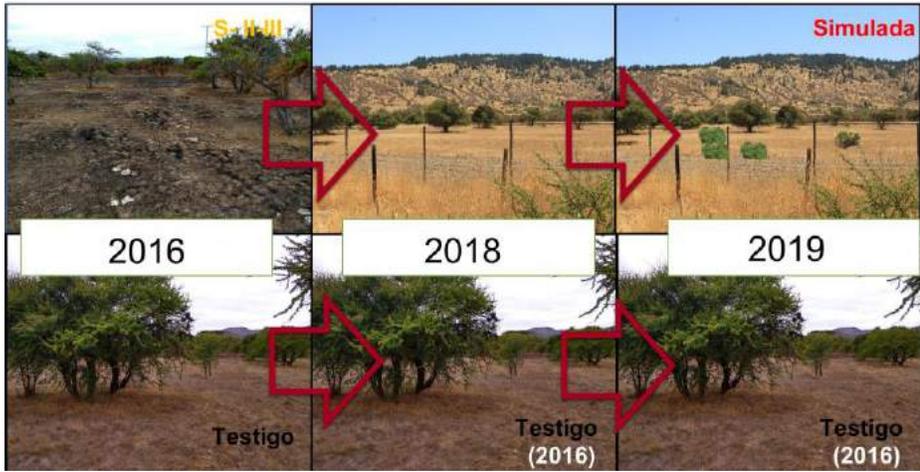
Mina del Toco-Pichidegua



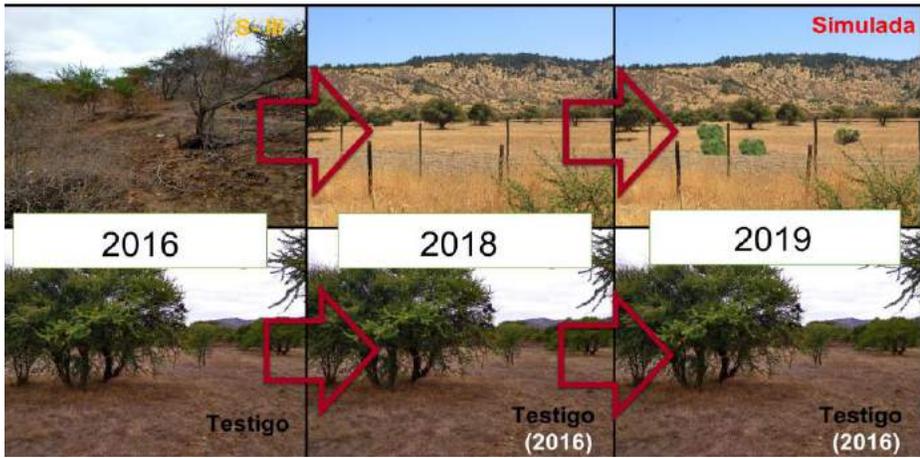
Mina del Toco-Pichidegua



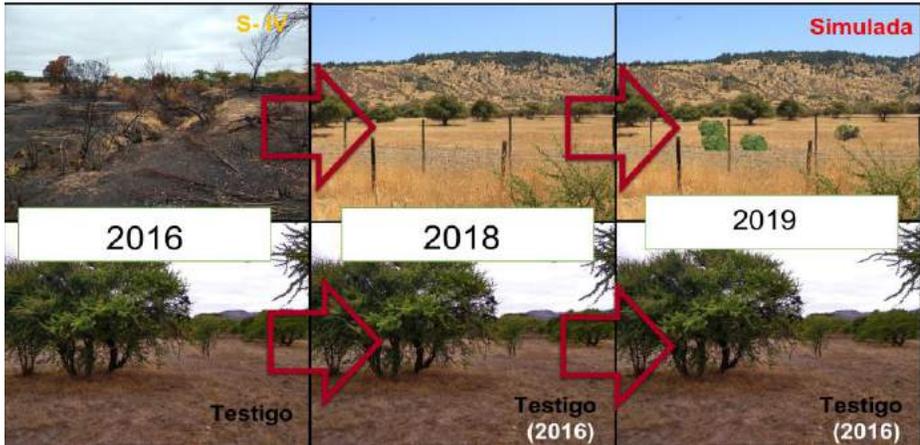
La Estrella



La Estrella



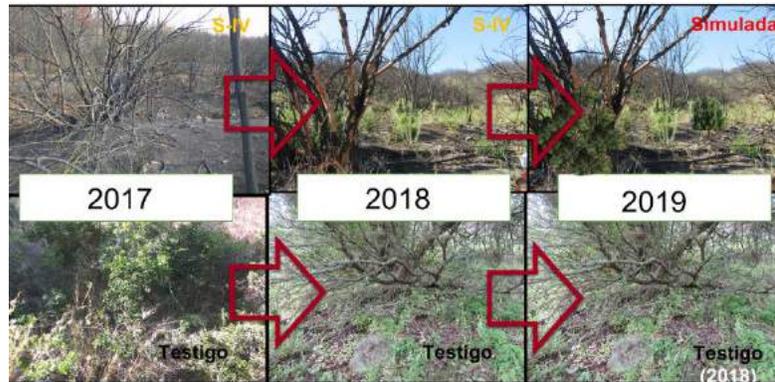
La Estrella



7.12.4.- VII Región

El seguimiento de cubiertas en Los Coipos reviste la particular importancia que se trata de un área protegida, bajo la administración de Forestal ARAUCO. La recuperación ha sido lenta por la alta intensidad calórica del fuego y los elevados niveles de severidad evidenciado en las distintas parcelas prospectadas. La carga proyectada de combustible sin embargo se aprecia elevada debido a la alta presencia de especies esclerófilas con densidades moderadas a altas.

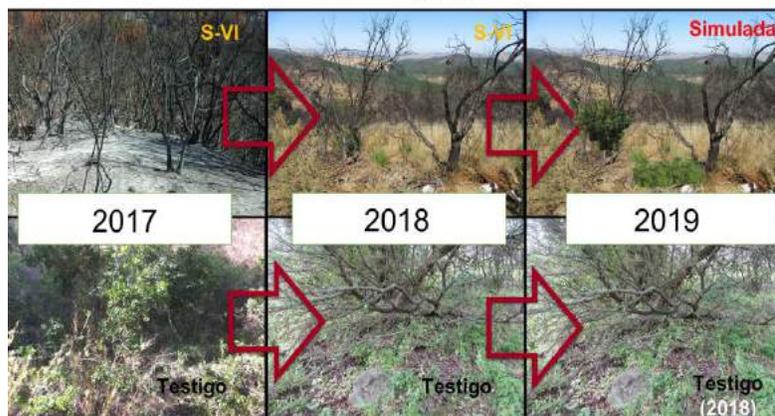
Los Coipos



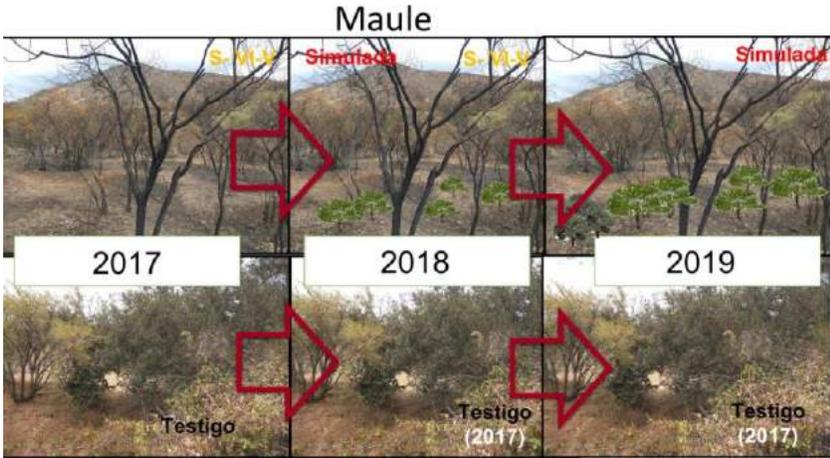
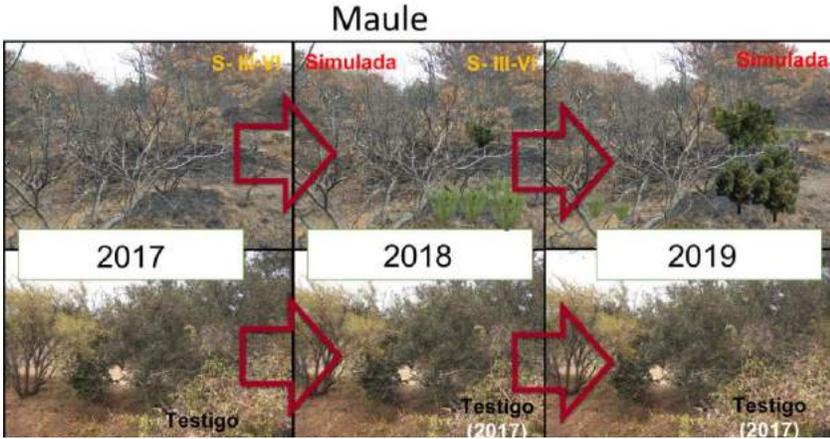
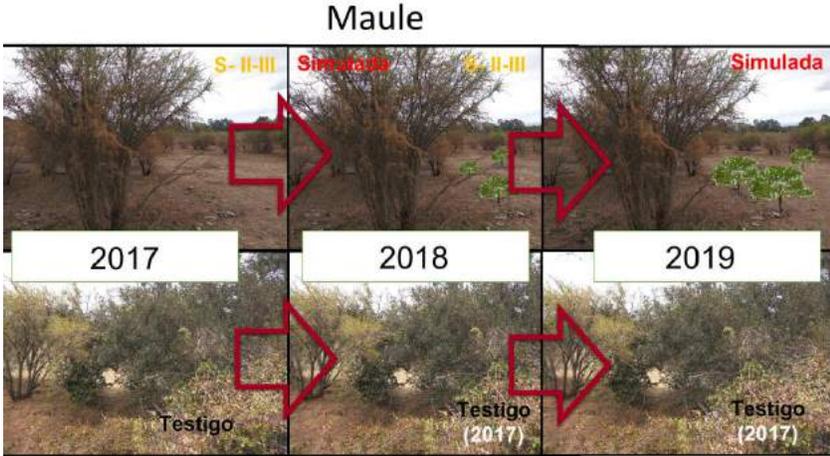
Los Coipos



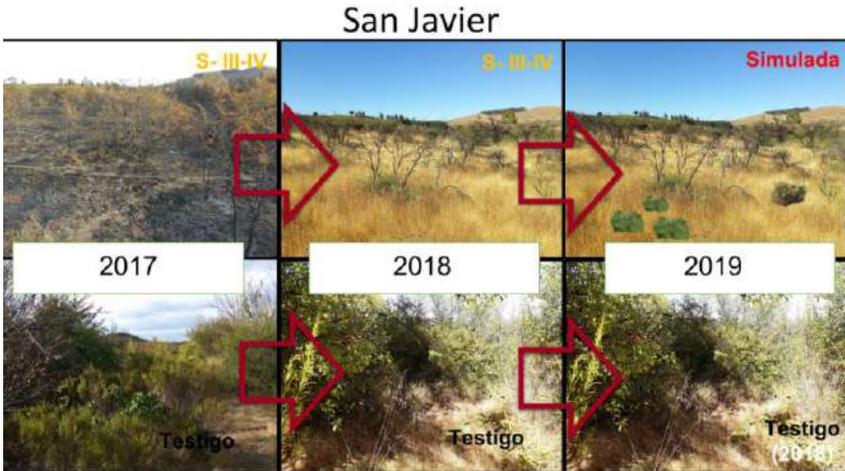
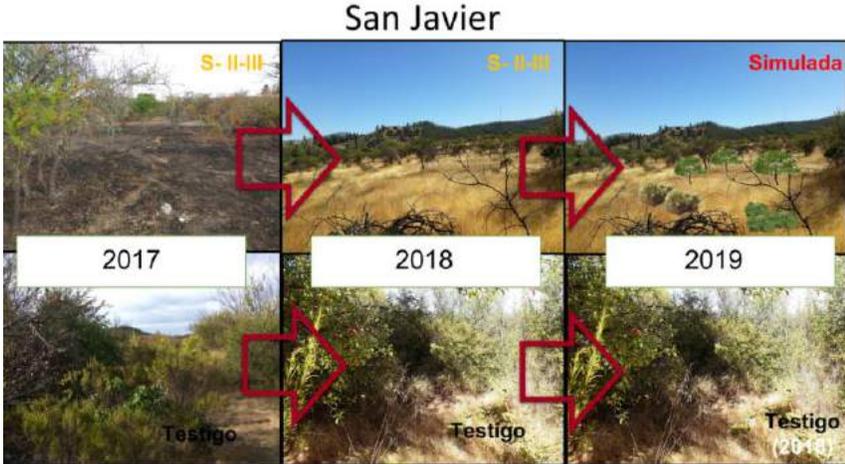
Los Coipos



En el caso de las parcelas del Maule, el nivel de peligro proyectado es elevado debido a la alta carga de vegetación leñosa alta factible de ser auto-regenerada, aun cuando la existencia de enclaves con muy alta severidad, impediría el cubrimiento homogéneo. En este caso, se hace necesario adoptar medidas físicas de apoyo para evitar pérdida de suelo y su productividad.



En el caso de San Javier se evidencia una alta recuperación potencial de combustible delgado en pastizal y matorral alto, lo que conduciría a una alta carga de vegetación a 2019, pero con escasa regularidad en continuidad de la vegetación en el plano horizontal.



7.13.- Operativización de las pautas de terreno: obras físicas y enriquecimiento con especies nativas

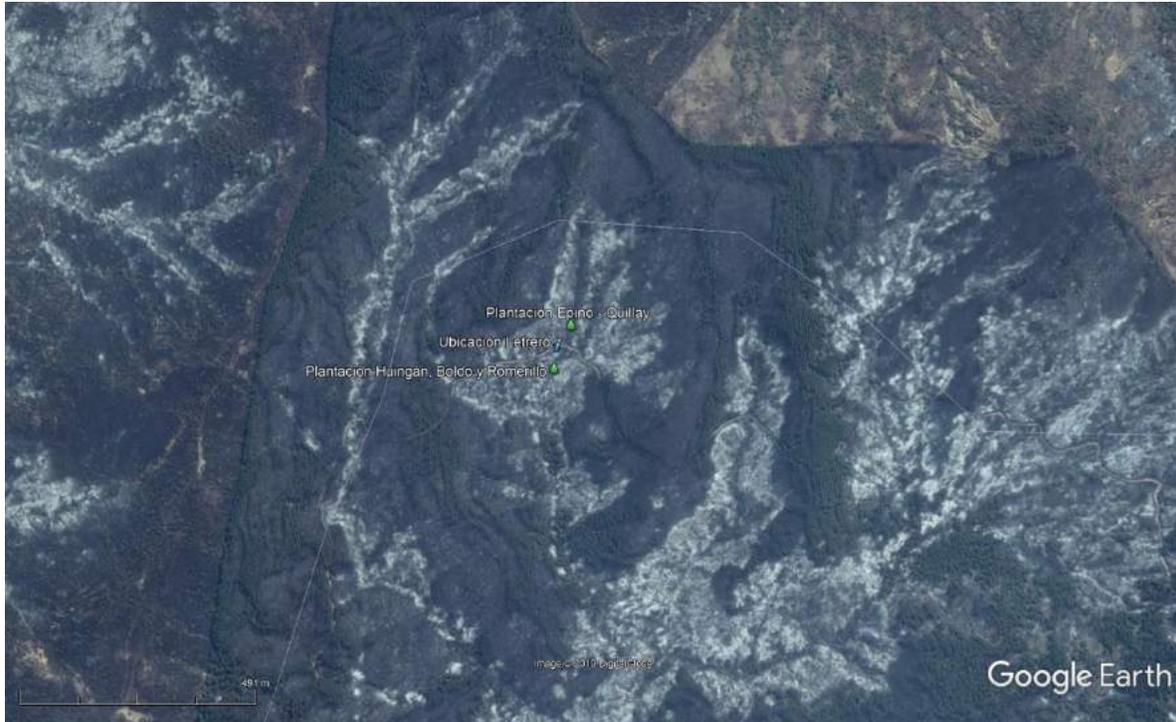
El trabajo realizado en el Predio Los Coipos, VII Región, propiedad de Forestal Arauco, fue realizado en conjunto con la cuadrilla Los Castaños Ltda., la que fue dispuesta por la unidad de Agua, Suelo y Biodiversidad (ASB) de Forestal Arauco, zona Constitución.

Luego de una reunión de coordinación en conjunto con la Srta. Valentina Bobadilla, encargada de la unidad de ASB y la cuadrilla Los Castaños, se identificaron los sectores donde se efectuaría el enriquecimiento, asegurando que la plantación estuviera inmersa dentro del área de influencia de las obras de mitigación de cauces previamente construidas (ver fotografía).



Fotografía 14.- Determinación de las áreas y distribución de los bosquetes en el lugar

De acuerdo con las especies vegetales leñosas que se encuentran naturalmente en el lugar, se decidió que las especies *Quillaja saponaria* y *Acacia caven*, fueran dispuestas en el talud superior al camino de acceso, mientras que las especies *Schinus polygamus*, *Peumus boldus* y *Baccharis linearis*, quedaran en el talud inferior, como se muestra más adelante.



Fotografía 15.- Área de trabajo, indicando la ubicación de los bosquetes y del letrero

Habiendo definido los sectores de plantación y la distribución de los bosquetes en el terreno, se procedió a efectuar un despeje del material muerto remanente, tal como se aprecia en la siguiente fotografía.



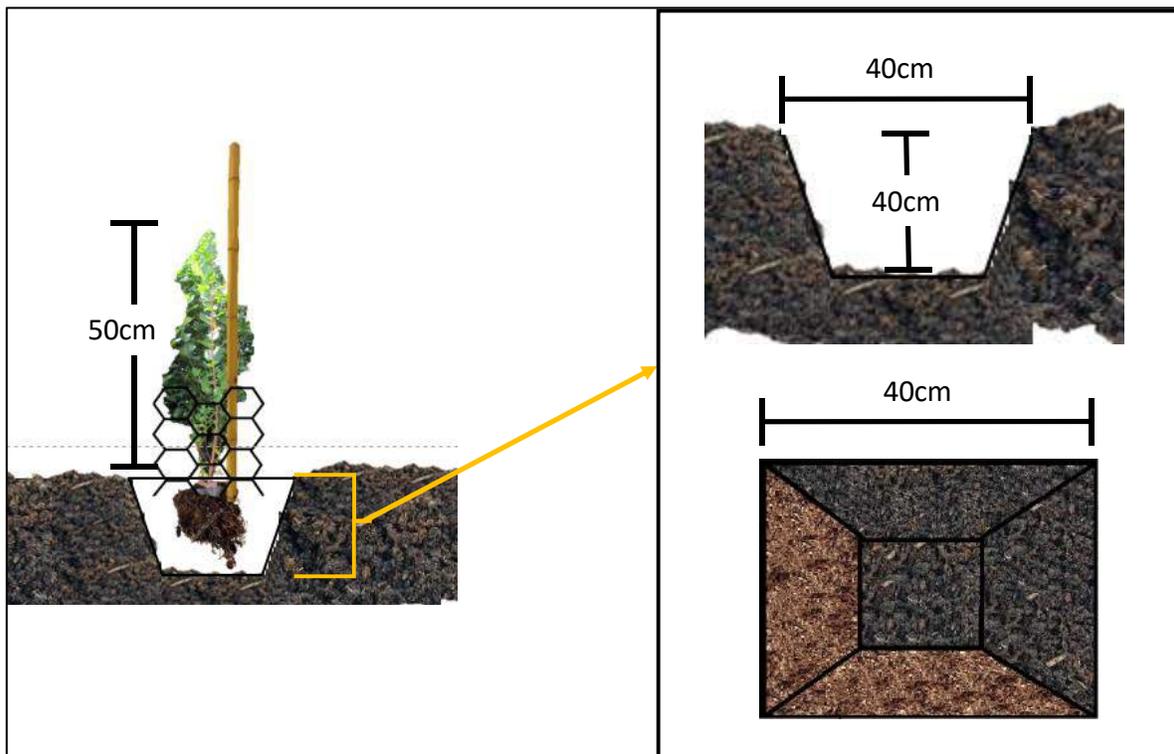
Fotografía 16.- Personal de Los Castaños efectuando el despeje del terreno donde se emplazarán los bosquetes.

A medida que se iban liberando los micrositios para la plantación, parte de la cuadrilla procedió a efectuar las casillas de plantación, las que se determinaron a un distanciamiento de 2x2 metros en tres bolillo sobre la curva de nivel, como se muestra en las siguientes fotografías.

Se utilizó la plantación en vez de la siembra debido a que posee mayor probabilidad de éxito que si se realizase por siembra directa (Becerra, 2017).

Para realizar la plantación se debe realizaron casillas de 40cmx40cmx40cm, esto con el fin de remover la zona compactada del suelo y además se pueda desarrollar su sistema radicular de forma óptima.

Figura 11.- Descripción de casillas de plantación.



Se colocó malla conejera a cada individuo a plantar, debido a la herbivoría presente en la zona a enriquecer. Se puede utilizar malla Rachel para mejorar la sobrevivencia del individuo. (Becerra, 2017)

Se recomienda riego por a lo menos los dos primeros años administrando 16ltr/planta/mes, disminuyendo paulatinamente 2 litros cada 3 meses. Esto a través de un sistema de riego por goteo de preferencia para evitar erosión o bien por dispersión.

Fotografía 17.- Despeje e inicio de las labores de confección de casillas para la plantación



Fotografía 18.- Confección de casillas para la plantación, donde se aprecia el distanciamiento efectivo al que quedarán las plantas.



Habiendo realizado las casillas, se procedió con la plantación de los ejemplares de *Quillaja saponaria* y *Acacia caven*.

Fotografía 19.- Plantación de ejemplares de *Quillaja saponaria*. Se aprecia parte de las obras anteriores de construcción de empalizadas



Fotografía 20.- Ejemplares de *Quillaja saponaria* plantados en el lugar.

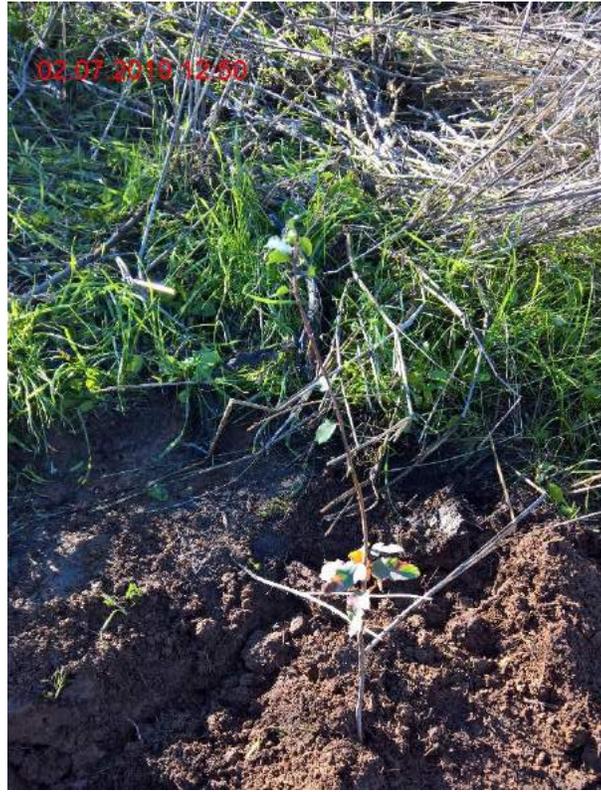


Fotografía 21.- Ejemplar de *Acacia caven* plantado en el lugar.



Por las características del área a enriquecer, se contempló la plantación en bosquetes de otras especies que actúen de reforzamiento en la sobrevivencia y sostén radicular en el entorno, junto con la consideración de resistencia a los estados iniciales de déficit hídrico. Se estableció una plantación en bosquetes con *Schinus polygamus*, *Peumus boldus* y *Baccharis linearis*.

Fotografía 22.- Ejemplar de *Schinus polygamus* plantado en el lugar



Fotografía 23.- Ejemplar de *Peumus boldus* plantado en el lugar



Fotografía 24.- Ejemplar de *Baccharis linearis* plantado en el lugar.



Una vez avanzada la faena de plantación, se decidió comenzar con la colocación de las protecciones individuales para evitar la herbivoría, como se aprecia en las siguientes fotografías, y la instalación señalética que constata la labor realizada.

Fotografía 25.- Término de la plantación e instalación de Protecciones individuales a la plantación.



Fotografía 26.- Vista de un micrositio de plantación con las protecciones individuales de las plantas instaladas.



Fotografía 27.- Vista general del área de ensayo donde se aprecian las plantas con sus protecciones instaladas.



Fotografía 28.- Letrero del proyecto instalado en el lugar.





Fotografía 29.- Trozado de los polines. Predio Los Coipos.



Fotografía 30.- Instalación de empalizada. Predio Los Coipos.



Fotografía 31.- Empalizada terminada. Predio Los Coipos.

7.14.- Tabla de costos

En el marco las actividades de recuperación de sitios sometidos a incendios forestales, en donde se activan procesos de erosión producto de la pérdida de cobertura vegetal, se diseñaron obras que permiten mitigar el impacto de la escorrentía en aquellas quebradas que han quedado expuestas. Para esto, se construyeron empalizadas sobre el cauce de las quebradas para ayudar a retener el material arrastrado, y se ejecutó una reforestación en bosquetes en el área aportante para aumentar la cobertura vegetal.

Con el fin de elaborar una estructura de costos acorde con las obras de control de flujo mencionadas y la plantación anexa, se presenta a continuación un itemizado de tales obras, la que se basó en los siguientes supuestos:

Se consideran 2 empalizadas de 1,5 metros en su ancho máximo, y 0,5 metros en su punto más alto. Cada empalizada está construida con rolletes impregnados de pino, de 3 a 4 pulgadas de grosor y 2,44 metros de largo, dispuestos de manera horizontal, perpendicular al sentido de flujo. Se disponen cinco trozos de estos rolletes acorde al ancho del cauce, uno sobre otro, los que son amarrados con alambre galvanizado N°14 a dos verticales instalados uno a cada lado del eje del flujo, a manera de poste. Para estos verticales se utilizan los retazos producto del corte de los rolletes para adecuarse al ancho del cauce.

Posteriormente, se utiliza el mismo material vegetal de desecho remanente del incendio, el que se dispone aguas arriba y aguas debajo de la obra para disminuir la velocidad y ayudar a retener el avance de sedimentos.

Para el caso de la plantación, se considera el costo de las plantas puestas en vivero, el costo de las protecciones tipo shelter de polipropileno alveolar corrugado de 45x15 cm y tutores de colihue sin considerar el traslado de éstos últimos. Para el caso de la plantación, se considera un rendimiento promedio para una cuadrilla de 4 personas, de 400 ejemplares con casilla manual, incluyendo la instalación de sus protecciones.

Se considera un costo por tres jornales de \$30.000 más un capataz por \$40.000. El costo de esta cuadrilla considera traslado dentro de la misma provincia, alimentación, uso de herramientas y sus insumos.

La superficie en la que se encuentran inmersas las obras de empalizadas y plantación que justifican los costos siguientes, tiene un orden de magnitud de entre 3.000 a 4.000 metros cuadrados. Todos los costos indicados son netos.

Cuadro 24.- Tabla de costos (pesos chilenos)

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	\$ UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	GENERAL
1	CONSTRUCCIÓN EMPALIZADAS				
1.1	Materiales				
1.1.1	Rollete impregnado 3 a 4"x 2,44 m.	1.740	unidad	10	17.400
1.1.2	Alambre galvanizado N°14	2.900	kilo	1	2.900
1.2	Mano de Obra				
1.2.1	Despeje y habilitación	16.500	hh Cuadrilla	1	16.500
1.2.2	Construcción de Empalizada	16.500	hh Cuadrilla	3	49.500
2	PLANTACIÓN				
2.1	Insumos				
2.1.1	Plantas	800	unidad	400	320.000
2.1.2	Protecciones individuales	250	unidad	400	100.000
2.1.3	Tutor para protecciones 1m	200	unidad	400	80.000
2.2	Mano de Obra				
2.2.1	Casilla Manual y Plantación	16.500	hh Cuadrilla	5	82.500
2.2.2	Instalación de tutores	16.500	hh Cuadrilla	3	49.500
			TOTAL NETO		716.900

Cuadro 25.- Tabla de costos (Uf al 11-7-2019)

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	\$ UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	GENERAL
1	CONSTRUCCIÓN EMPALIZADAS				
1.1	Materiales				
1.1.1	Rollete impregnado 3 a 4"x 2,44 m.	0,062	unidad	5	0,311
1.1.2	Alambre galvanizado N°14	0,104	kilo	1	0,104
1.2	Mano de Obra				
1.2.1	Despeje y habilitación	0,590	hh Cuadrilla	1	0,590
1.2.2	Construcción de Empalizada	0,590	hh Cuadrilla	2	1,181
2	PLANTACIÓN				
2.1	Insumos				
2.1.1	Plantas	0,029	unidad	400	11,448
2.1.2	Protecciones individuales	0,009	unidad	400	3,577
2.1.3	Tutor para protecciones 1m	0,007	unidad	400	2,862
2.2	Mano de Obra				
2.2.1	Despeje y habilitación	0,590	hh Cuadrilla	5	2,951
2.2.2	Casilla manual y plantación	0,590	hh Cuadrilla	3	1,771
			TOTAL NETO		24,770

7.15.- Elaboración de la cartografía de peligro

Como se indicaba anteriormente, un aporte de este proyecto se refiere a la caracterización de las condiciones potenciales de peligro de incendios basado en el análisis de la vegetación desde el punto de vista de la carga de combustible, de su densidad, poder calorífico y condiciones de crecimiento potencial, enlazando con ello indicadores de estructura y continuidad, que normalmente se expresan fuertemente en la propagación libre del fuego.

El peligro de incendios forestales se manifiesta de dos maneras: en términos estructurales, y en términos dinámicos (comportamiento del fuego). En el primer caso intervienen las variables topográficas, las características de la vegetación combustible y el clima. Estos antecedentes fueron determinados, evaluados y expresados en una cartografía preliminar. En el segundo caso, el peligro se expresa acorde a las variables que condicionan el comportamiento del fuego, y con ello la intensidad calórica de las llamas. En este último aspecto se consideran los criterios de velocidad de propagación lineal (velocidad de avance de las llamas cuando actúa sobre distintos tipos de modelos de combustibles), la Resistencia al control (oposición físico-mecánica que ofrece la vegetación ardiente frente a las labores de construcción de líneas cortafuegos basados en el uso de herramientas manuales), la intensidad calórica y la longitud de las llamas. Estos parámetros dan cuenta de las características que adquiere el fuego en sus distintos frentes de propagación.

Ahora bien, el comportamiento del fuego está estrechamente ligado a la intensidad calórica y también a los eventuales daños que puede ocasionar, dependiendo del componente ambiental evaluado: suelo, raíces, materia orgánica, corteza de árboles, troncos, follaje, copas, y otros elementos asociados a la biomasa calcinada. En este escenario intervienen las escalas de intensidad y severidad, que para el caso de este proyecto, se basan en los estudios de Castillo et al (2016), e interpretaciones modificadas de Keeley (2009).

Los efectos del fuego se consideran entonces como parte fundamental – para este proyecto – para la evaluación o respuesta regenerativa de las distintas cubiertas de vegetación esclerófila para cada una de las áreas prospectadas. Ello lleva entonces a establecer vínculos de las afectaciones con las opciones de restauración, y en consecuencia, a proponer una cartografía de peligro potencial para proyectar de manera cualitativa la futura carga de vegetación potencialmente combustible que podría constituir un nuevo estado de ignición e inflamabilidad.

7.15.1.- Resultados

7.15.1.1.- Análisis a macro escala

El actual escenario sobre la prolongada sequía que afecta a gran parte de Chile Centro-Sur, y muy particularmente al área de nuestra investigación, se ve de manifiesto en el aumento de las condiciones de peligro de propagación sobre la vegetación combustible, aun cuando existen otros factores que también repercuten en el aumento de esta condición: la conectividad, fragmentación de paisajes, competencia por uso del suelo, mayor demanda de agua, actividades de extracción no fiscalizadas y que ocasionan nuevos focos de incendios forestales, etc.

Considerando estos factores, este estudio consideró necesario estimar cartográficamente, primero, la condición actual de peligro en la propagación del fuego a niveles regionales, más allá de la existencia o no, de formaciones esclerófilas de bosque y matorral. Ello, porque en la propagación del fuego, no necesariamente los puntos de inicio están asociados a la existencia de este tipo de formaciones vegetales.

Por otra parte, disponer de este tipo de producto cartográfico permitirá también contar con más información para la toma de decisiones sobre planificación para la prevención y sectorización del problema potencial de los incendios forestales para el área de interés. El siguiente mapa, ha sido construido a macroescala (1:2.000.000), en donde se ilustra la distribución especial del peligro, sectorizado en cinco categorías o niveles. Los resultados se dividen en dos sinópticas: a nivel de todas las formaciones vegetales, y un segundo análisis a nivel regional, para la situación de bosque esclerófilo.

En este objetivo, la elaboración de la cartografía se realiza en dos etapas: la primera corresponde a la definición de variables y criterios que permitirán caracterizar el nivel de peligro potencial que presentan las distintas formaciones vegetales en las áreas prospectadas. Este trabajo se realiza mediante el Método de Determinación de Prioridades de Protección¹, ampliamente aplicado en disciplinas relacionadas a Manejo del Fuego. En este análisis el componente de peligro se realiza mediante la ponderación de las variables indicadas en el siguiente cuadro, para posteriormente expresarlas en una cartografía de pronóstico.

Como el objetivo central corresponde a la elaboración de pautas para la restauración, bajo un escenario de distintas escalas de afectaciones en vegetación esclerófila y componentes de suelo y paisaje, la información contenida en la cartografía corresponderá a una estimación de la intensidad y severidad de los daños potenciales frente al impacto de la propagación del fuego. La respuesta de la vegetación frente al fuego podrá adquirir en consecuencia

¹ Julio, G. (2017). Apuntes de Manejo del Fuego. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. 450p.

distintas categorías de afectación, dependiendo de las condiciones de la vegetación y topografía en que ocurre la combustión.

Cuadro 26.- Detalle de variables y puntajes asignados para la Determinación del Peligro Potencial, como apoyo a las acciones en restauración

Criterio	Descripción	Ponderación
Energía del combustible (kcal/kg)	Monto de energía que se libera en el proceso inicial de encendido y combustión, medido a diferentes escalas de humedad en campo.	12 puntos: máximo para matorral denso y leñosas mayores, 10 para semidenso, 8 para pastizales semidensos con matorral, 6 para pastizales puros.
Potencial de propagación (m/seg)	Velocidad o tasa de avance del fuego bajo condiciones de campo, dependientes de: velocidad del viento, pendiente.	28 puntos: máximo para pastizales finos y densos; 20 para pastizales finos y ralos; 18 para matorral semidenso con pastizal; 16 para matorral denso y leñosas mayores.
Resistencia al control (m/hr)	Oposición o resistencia mecánica que opone la vegetación combustible a ser extraída o removida con herramientas manuales.	18 puntos: máximo para leñosas mayores y matorral denso; 15 para matorral semidenso; 8 para pastizales densos y semidensos; 6 para pastizales ralos.
Densidad de la vegetación (%)	Continuidad en el estrato horizontal: porcentaje de cobertura al suelo y cruce de copas.	24 puntos: máximo para cobertura total de copa (proyección al piso); 16 puntos 2/3 y 12 puntos 1/3.
Carga de combustible (kg/m²)	Cantidad de biomasa (ramas finas y vegetación delgada, total o parcialmente seca), existente en el piso del bosque, evaluado hasta 1,5 metros de altura, como parte condicionante del encendido inicial.	18 puntos: máximo para valores superiores a 3,4 kg/m ² ; 12 puntos para 1,8 kg/m ² ; 6 puntos para valores inferiores.

Estos criterios se basan en estudios publicados por Castillo *et al* 2016, sobre estándares en propagación de incendios para vegetación de bosque y matorral esclerófilo. El proceso se realizó mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizando para ello el modelo de datos raster (celdillas de información), a una resolución espacial de 25 x 25 metros, para de esta manera poder precisar del mayor nivel de detalle posible para las distintas capas de datos. El sistema de proyección a utilizar corresponde a UTM WGS84, Huso 19 Sur.

Figura 12.- Sinóptica de peligro de incendios forestales, considerando las características de la vegetación combustible. Visión general para las cuatro regiones en conjunto.

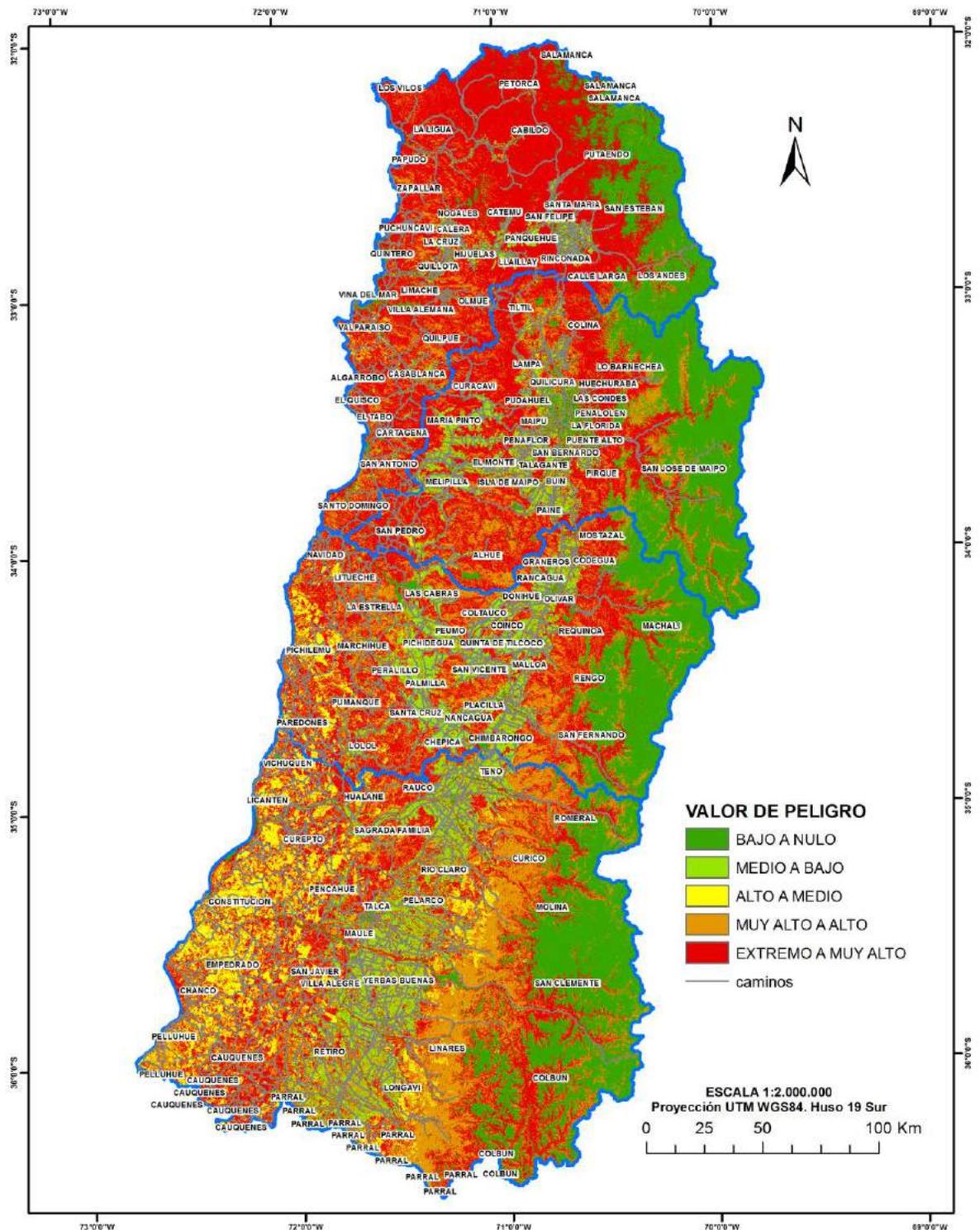


Figura 13.- Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región de Valparaíso, considerando las características de la vegetación combustible.

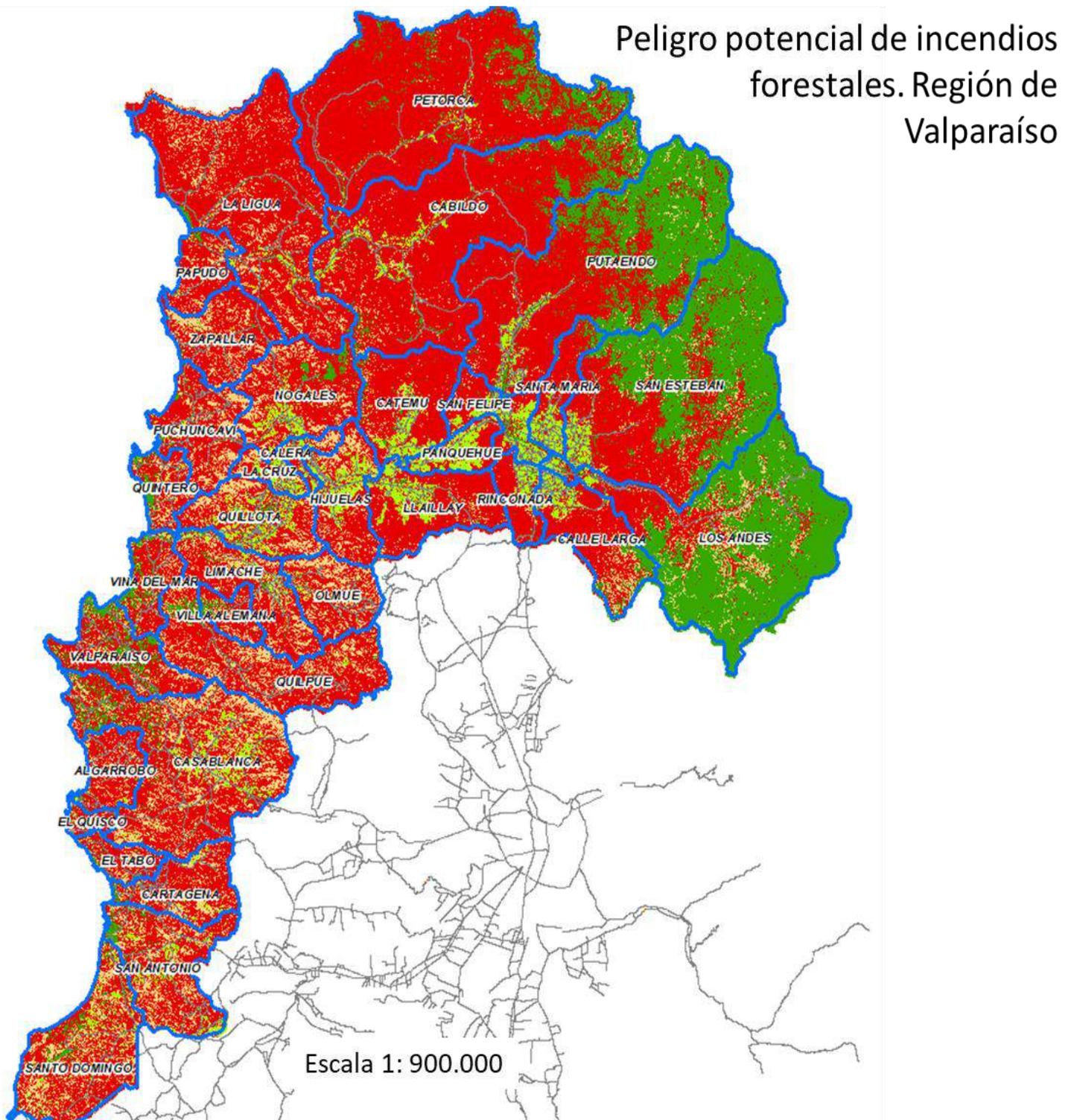


Figura 14.- Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región de Valparaíso, para bosque y matorral esclerófilo, considerando las características de la vegetación combustible.

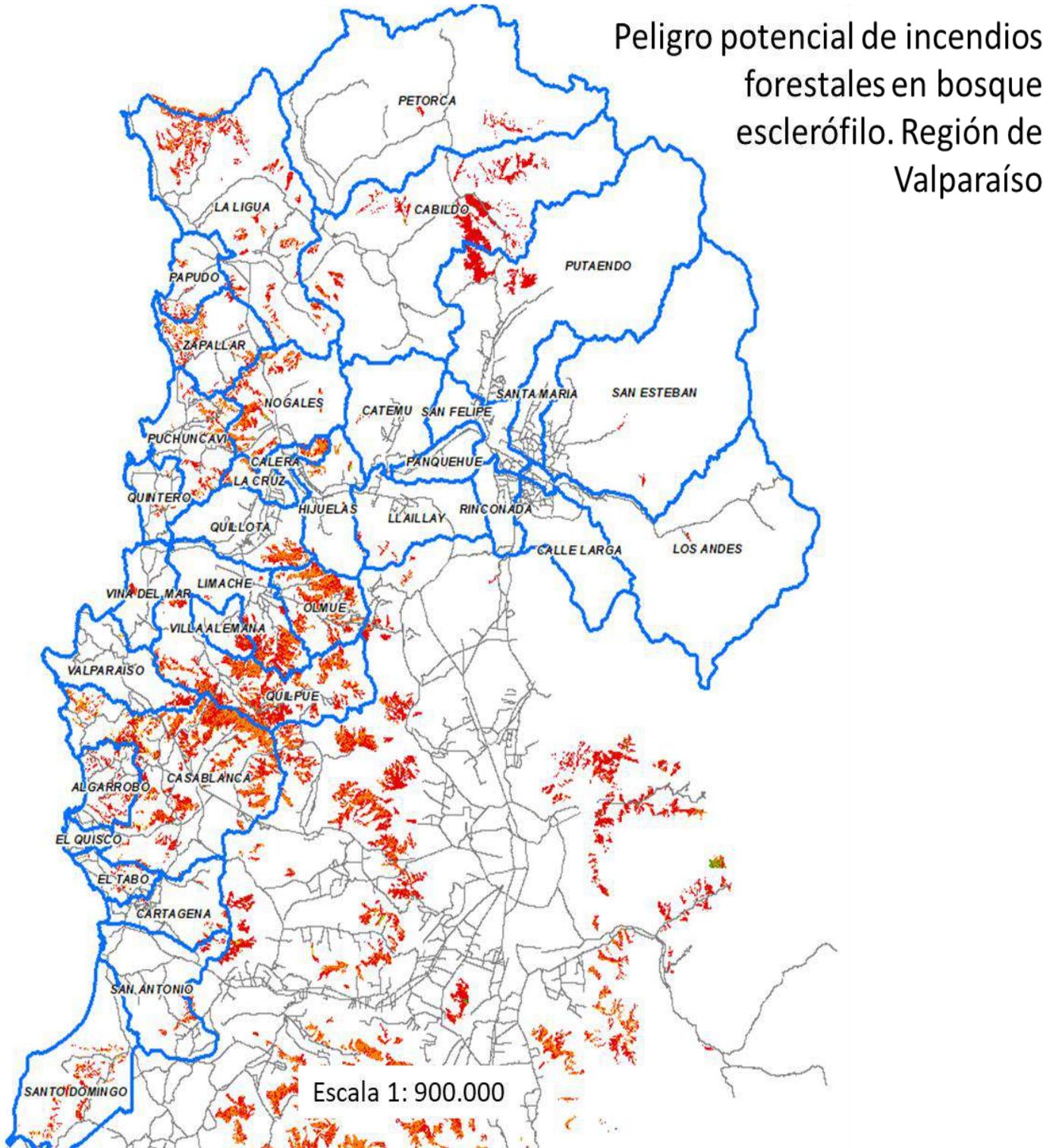


Figura 15.- Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región Metropolitana, considerando las características de la vegetación combustible.

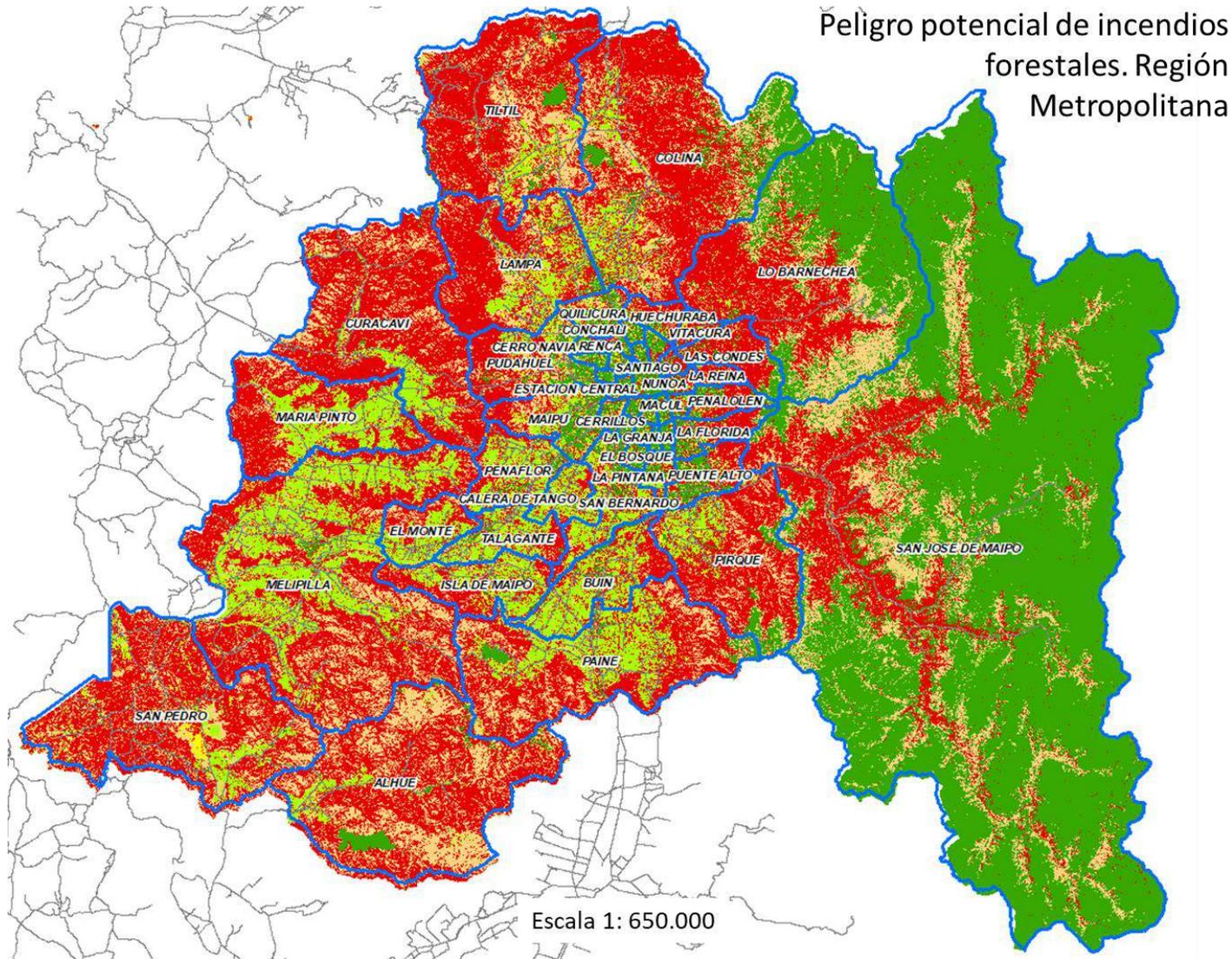


Figura 16.- Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región Metropolitana, en bosque y matorral esclerófilo, considerando las características de la vegetación combustible.

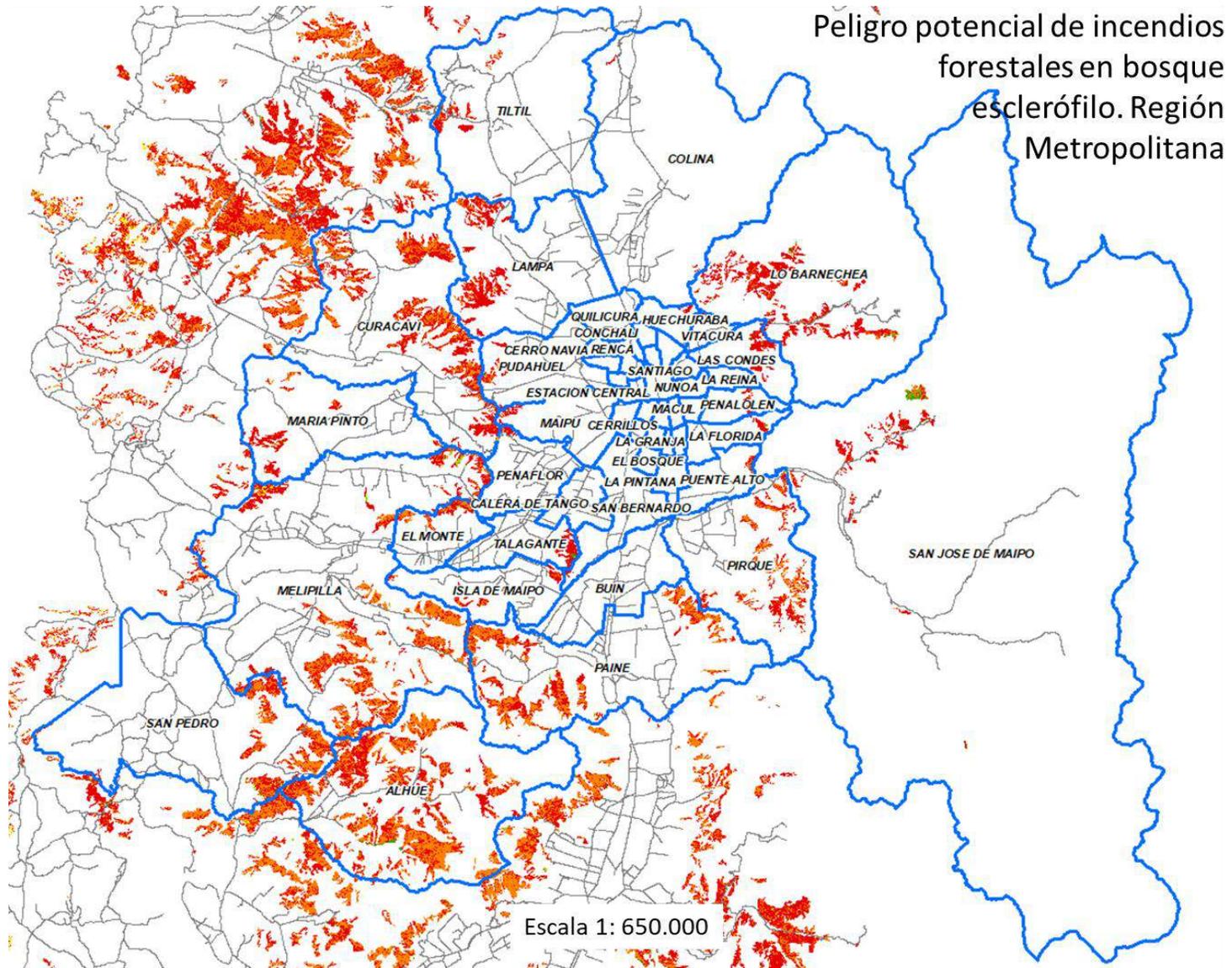


Figura 17.- Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región de O´Higgins, considerando las características de la vegetación combustible.

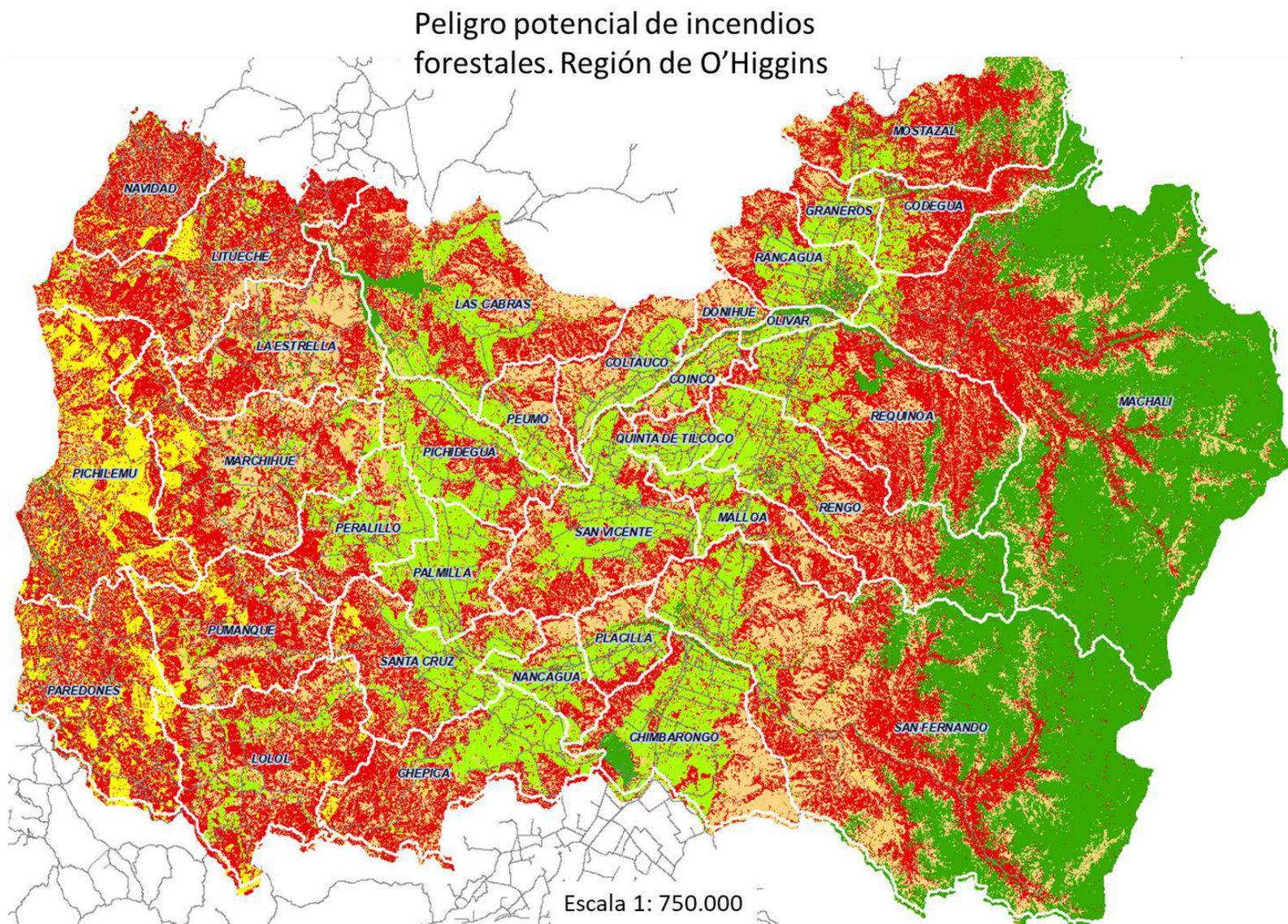


Figura 18.- Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región de O'Higgins, en bosque y matorral esclerófilo, considerando las características de la vegetación combustible.

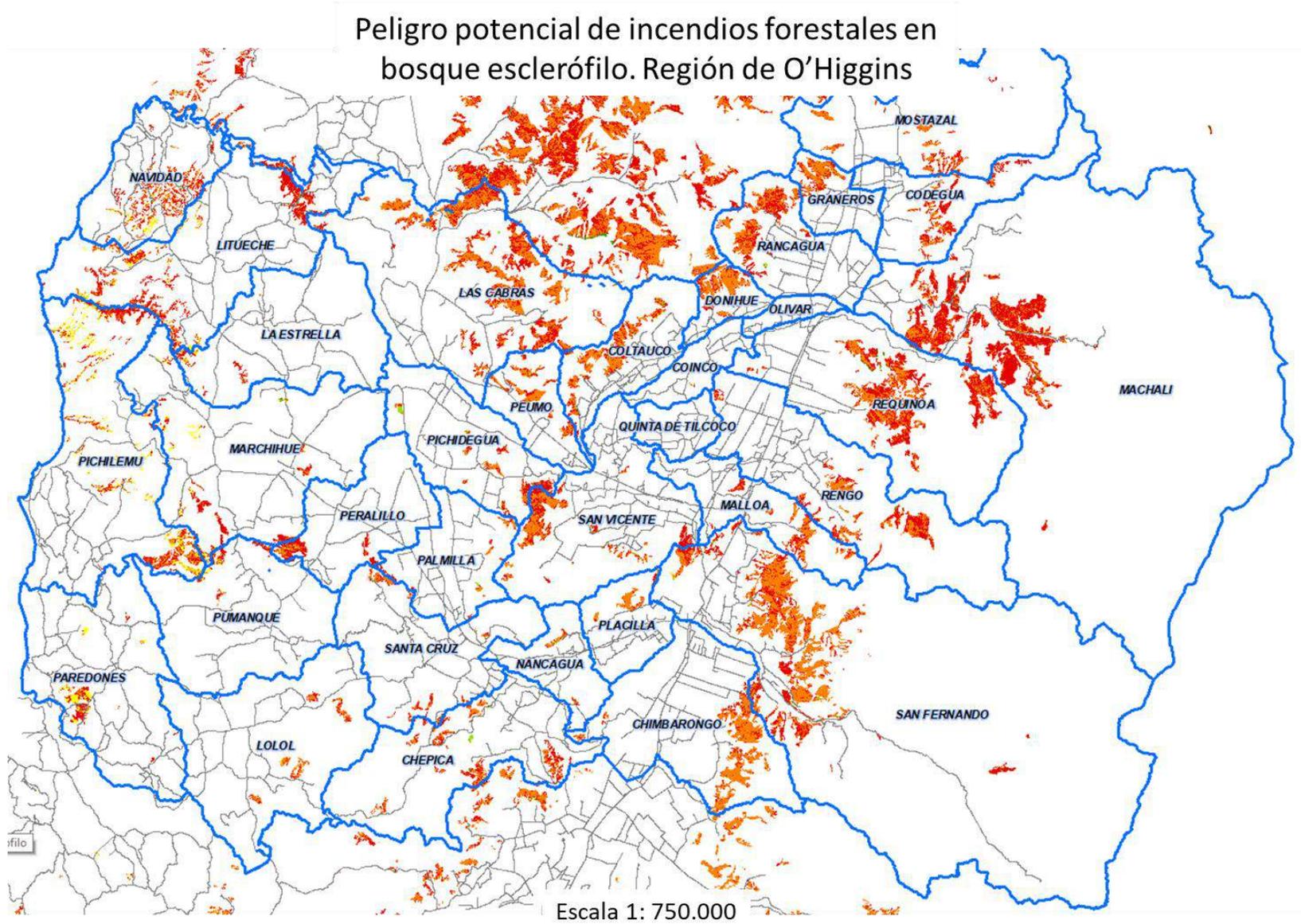


Figura 19.- Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región del Maule, considerando las características de la vegetación combustible.

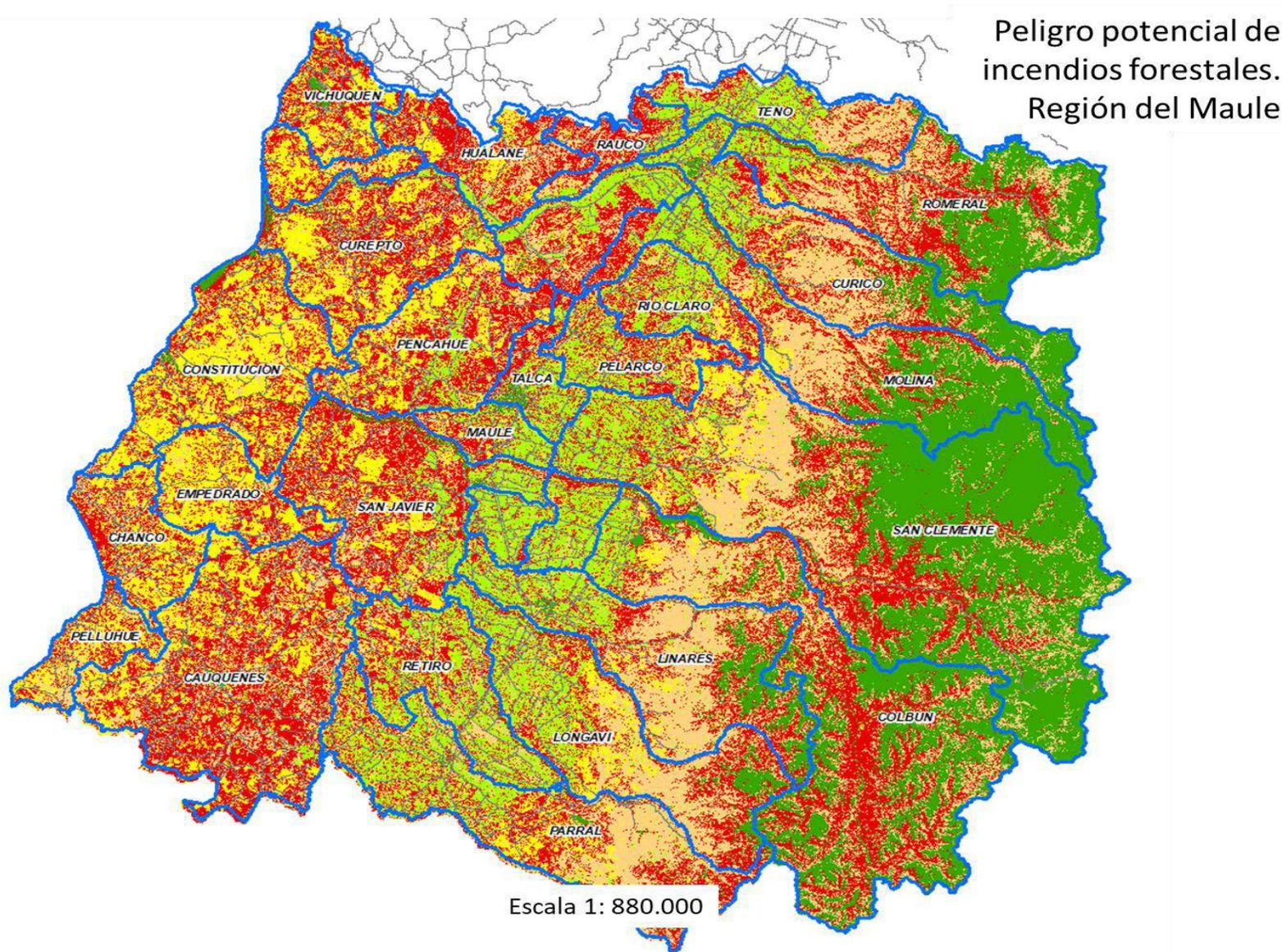
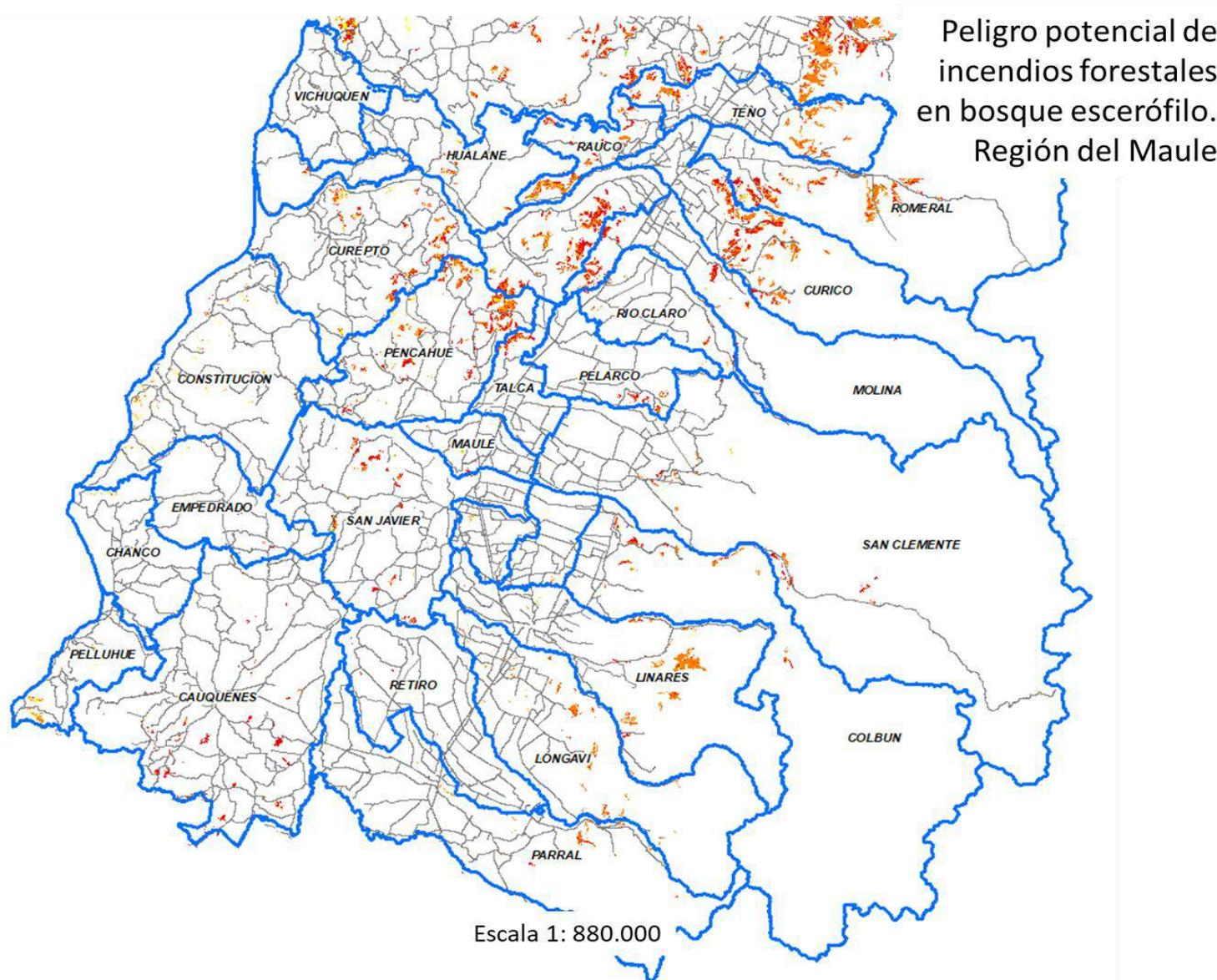
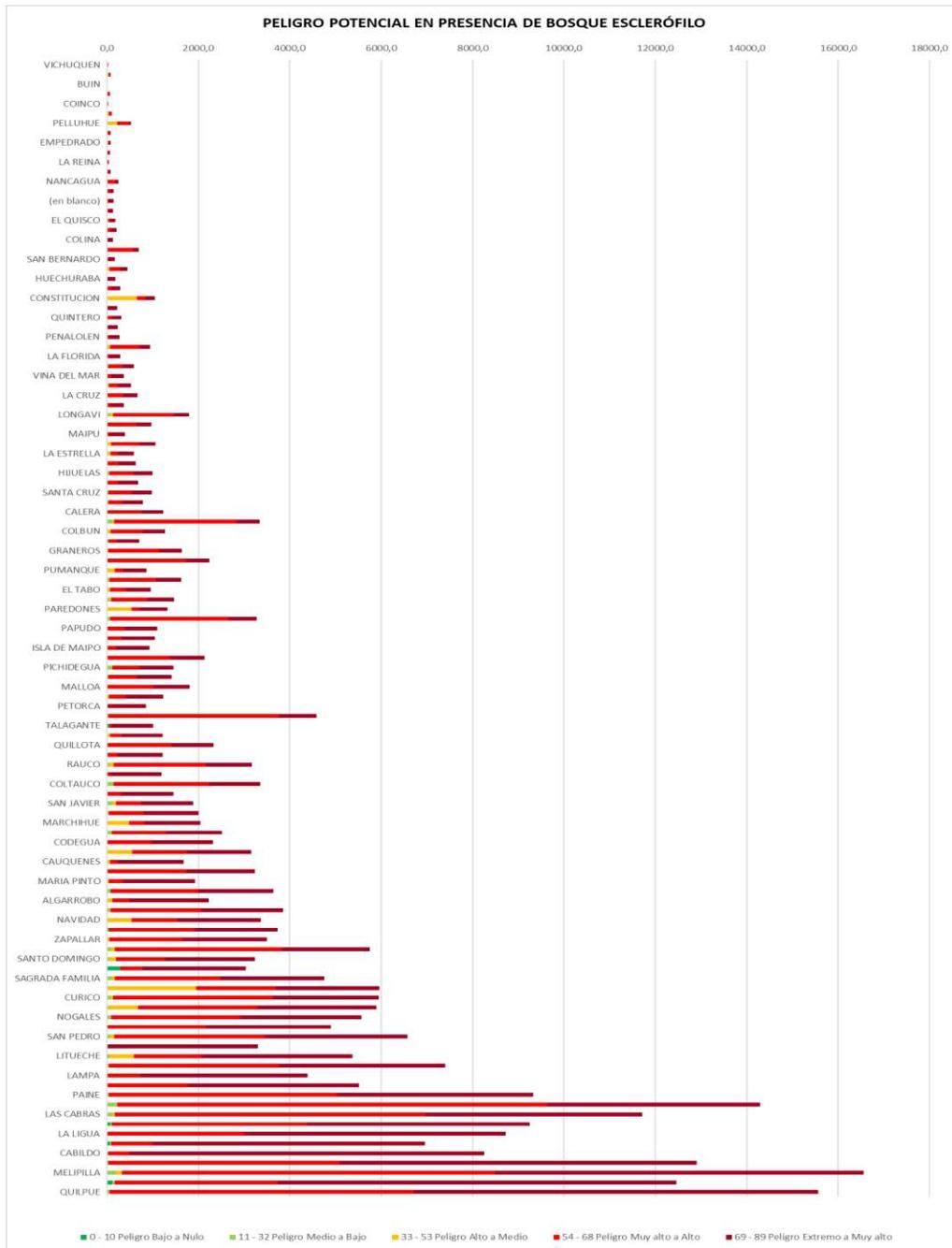


Figura 20.- Sinóptica de peligro de incendios forestales para la Región del Maule, en bosque y matorral esclerófilo, considerando las características de la vegetación combustible.



La siguiente figura muestra la composición de las diferentes categorías de peligro para todas las comunas cartografiadas. Estos resultados se basan en el cruce de datos entre: presencia de bosque y matorral esclerófilo y los cinco niveles de peligro para la propagación potencial del fuego.

Figura 21.- Composición del peligro potencial de incendios forestales en bosque y matorral esclerófilo, para todas las comunas del área en estudio.



7.15.1.2.- Análisis a micro escala

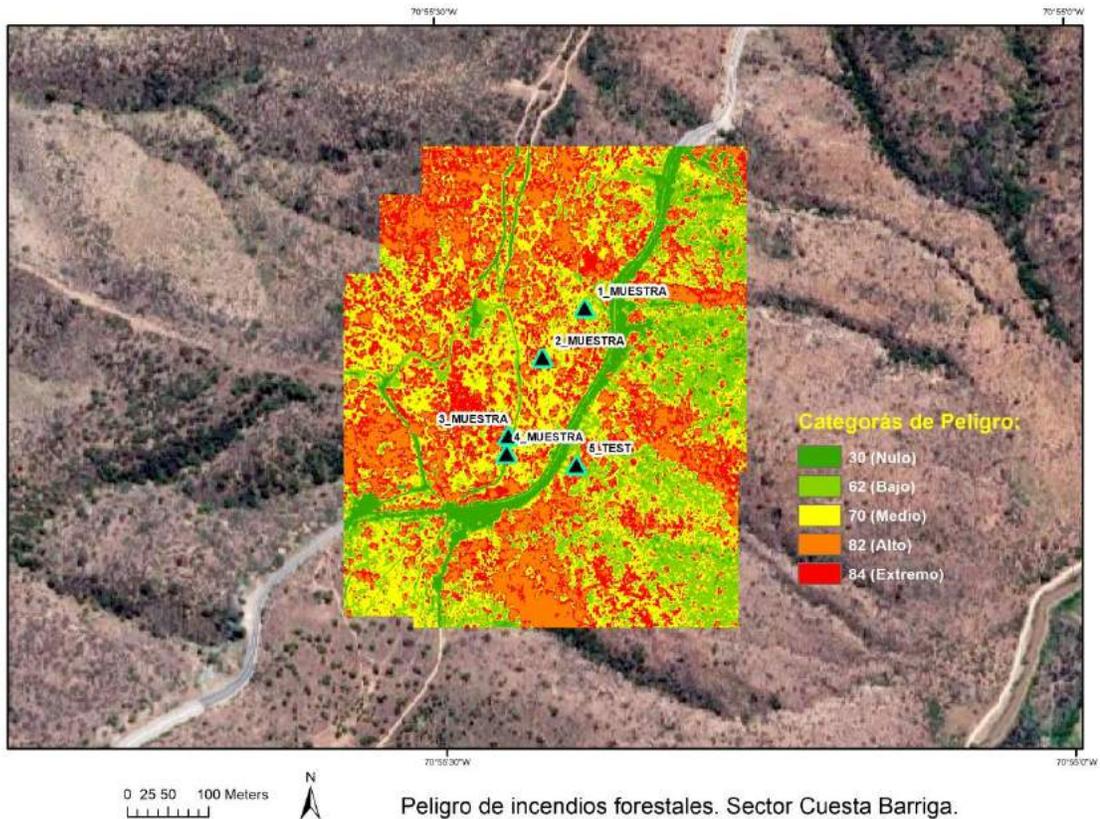
Sobre la base de un área de 4 hectáreas (200x200 metros), se efectuó una caracterización multicriterio, de acuerdo a las variables descritas en el cuadro 25. La información fue reclasificada en cinco categorías, respecto al peligro potencial que puede experimentar la vegetación posterior al incendio forestal, bajo condiciones de productividad y crecimiento propias de este tipo de vegetación. Las variables y sus factores de propagación han sido previamente evaluados por el simulador de expansión de incendios forestales de KINTRAL, que es capaz además de estimar, mediante condiciones de carga potencial de combustible, los niveles de intensidad y liberación calórica, asociados directamente a la condición de peligro, tanto en la parcela evaluada como hacia el entorno. Para este análisis se consideró una corrección de pendiente entre -10/+10%, para efecto de las estimaciones en la propagación potencial en el interior del área de cada parcela muestra y testigo. En consecuencia, los siguientes resultados muestran una simulación de escenario de peligro a dos años de permanencia de carga residual de combustible, bajo el supuesto de ausencia de nuevas perturbaciones producto de incendios. En cada caso los resultados dependen esencialmente del tipo y estructura de la vegetación existente.

Caso 1: Cuesta Barriga. Región Metropolitana.

Se trata de un sector caracterizado por la presencia de leñosas altas y bajas, con coberturas dominantes de 30% y alturas medias que fluctúan entre 2,5 y 8 metros. Especies dominantes: litre, quillay, colliguay, tevo, maitén y espino. Estrato arbustivo con cobertura de 50%, con una altura media de 2 metros. En general se observa escasa regeneración post-incendio en aquellos sectores afectados por el fuego.

La aplicación de las expresiones de comportamiento el fuego asociado al análisis de la intensidad y potencial de propagación, da cuenta de un predominio de peligro potencial predominantemente alto (valor medio de 82 de un total de 100). Los resultados se representan en la siguiente figura.

Figura 22.- Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Cuesta Barriga.

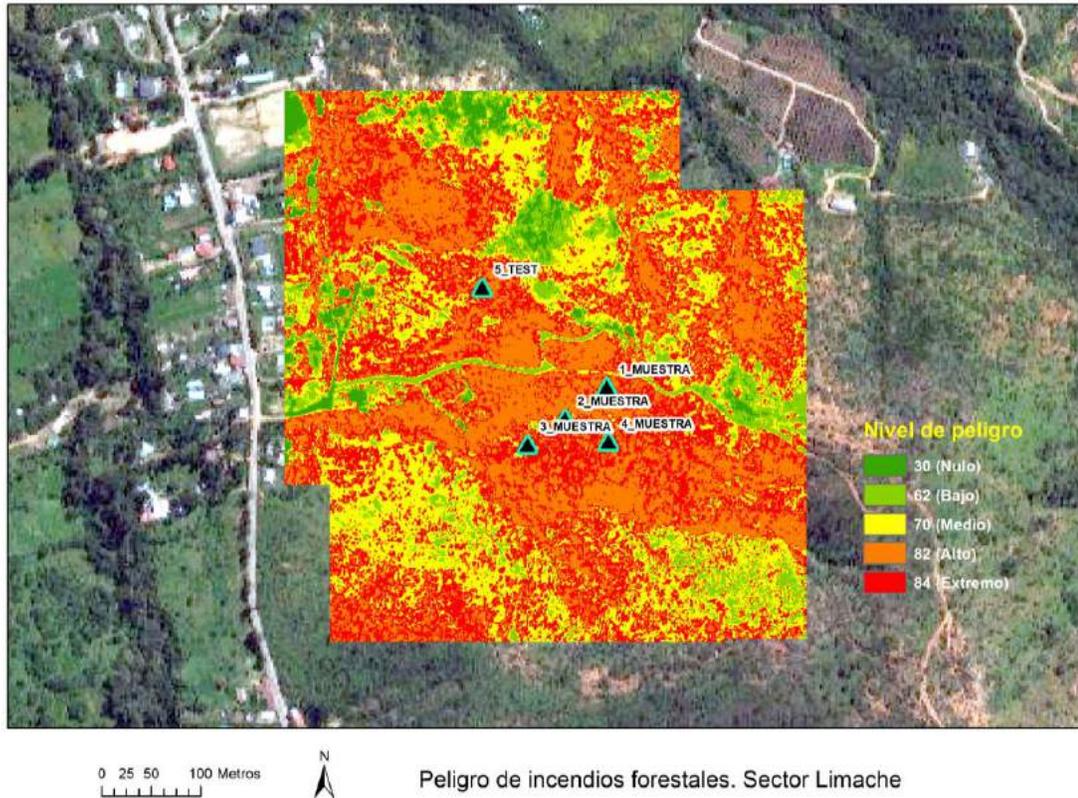


Caso 2: Sector Limache.

La vegetación está compuesta por un estrato arbóreo, con especies que incluyen con mayor presencia *Acacia caven*, acompañado de *Lithraea caustica*, *Trevoa trinervis*, *Schinus latifolius* y *Peumus boldus*. En fondos de quebrada se encuentra *Quillaja Saponaria* y *Aristotelia chilensis*. Terreno con pastoreo frecuente, por lo que no se evidencia la presencia de matorral bajo. En exposiciones norte, se encuentra *Puya spp*, y algunas cactáceas. La cobertura media para todos los estratos es de aproximadamente 50%. En partes más bajas asociadas a pequeñas quebradas, la cobertura aumenta a 70%, compuesta por especies arbóreas con alturas promedio de 5 m, severidad del fuego baja, no se aprecia daño al suelo, encontrándose aún presencia de mantillo orgánico.

En la representación del peligro, domina la condición de categoría alta (82 de 100 puntos), y una importante proporción en extrema (84 de 100). Estos valores son atribuibles principalmente por la alta carga de vegetación remanente, especialmente de leñosas más altas. Existe una clara separación de estratos, atribuible a la alta presencia de pastoreo y pisoteo de ganado en partes más abiertas.

Figura 23.- Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Limache.

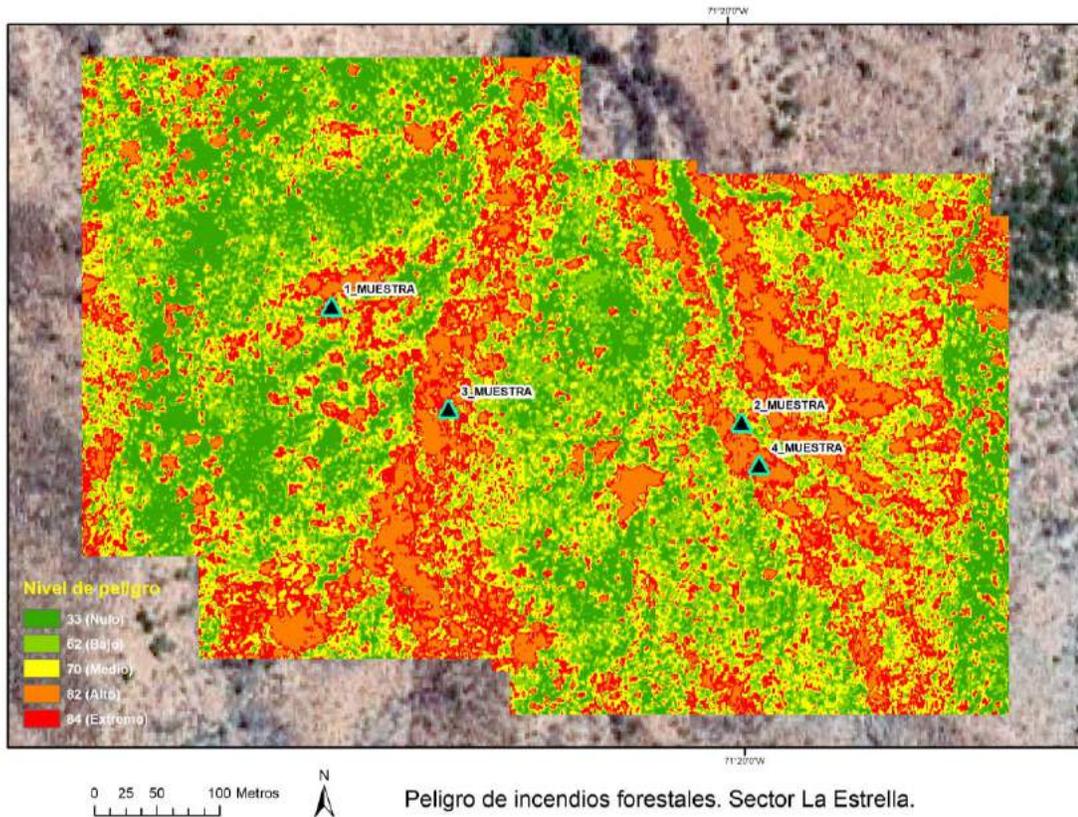


Caso 3.- Sector La Estrella.

Corresponde a un área sensiblemente afectada por el pastoreo, con presencia dominante de *Acacia caven* en sector suavemente ondulado a plano; altura media de 1,5 metros y cobertura media de leñosas altas de 20%. No se observan árboles multifustales, presencia de zarzamora, no se observaron leñosas bajas. Especies observadas: Espino (especie principal), Maitén y Boldo son otras especies que predominan en este sector. Las cicatrices de fuego son evidentes, asociadas a categorías de severidad alta a muy alta (Castillo et al, 2016). Las áreas bajo pastoreo cubren parcialmente los sectores con regeneración vegetativa.

El análisis de peligro indica categorías altas a extremas asociadas a sectores de zanjas arboladas y acumulación de combustible denso. La proyección de crecimiento de vegetación fina se ve dificultada por el alto tránsito de ganado en el lugar.

Figura 24.- Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector La Estrella.

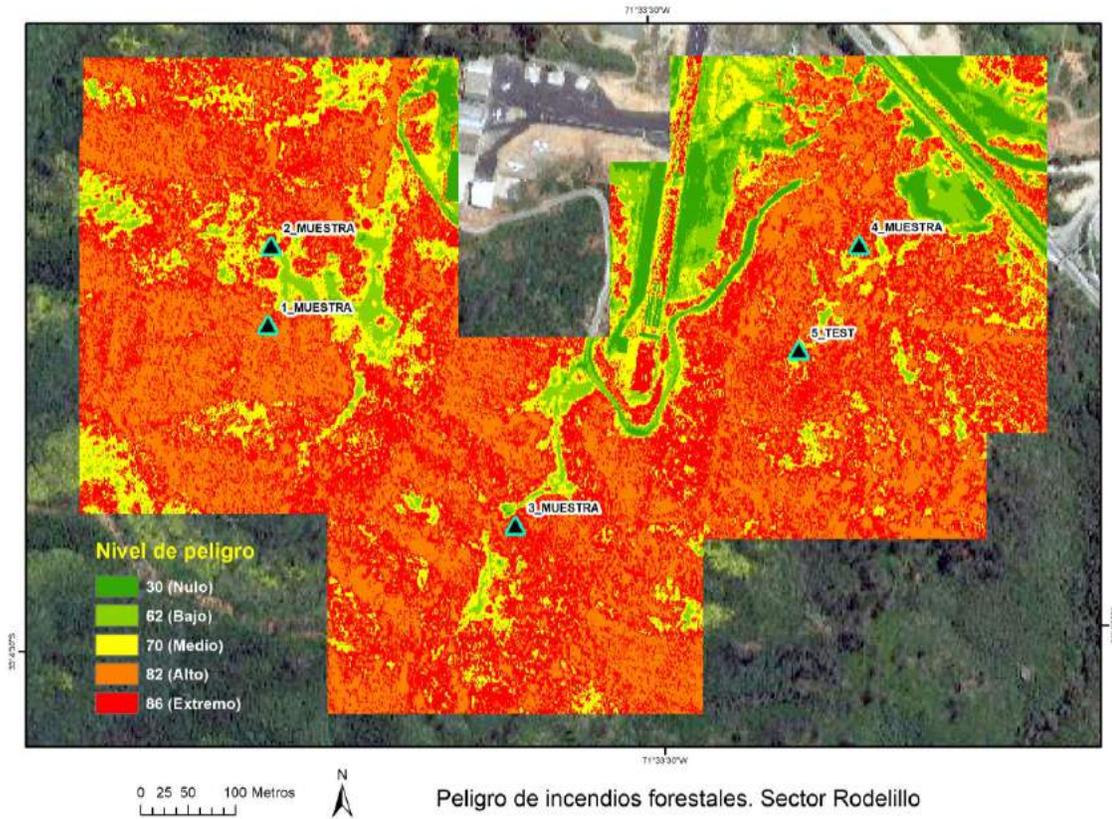


Caso 4: Rodelillo

La vegetación está compuesta por un estrato arbóreo, con especies que incluyen con mayor presencia *Lithraea caustica*, *Schinus latifolius* y en menor proporción, *Acacia caven*. En las zonas de quebradas y exposiciones sur y sur-oeste, se encuentra además *Aristotelia chilensis*, *Peumus boldus* y *Azara petiolaris*. Esta formación se encuentra acompañada por matorral compuesto por *Baccharis spp*, *Escallonia spp.*, *Trevoa trinervis*, *Puya spp.*, *Lobelia spp*, *Muhlenbeckia hastulata*, entre otras. En forma aislada se encuentran ejemplares de *Jubaea chilensis*, y especies exóticas como *Pinus spp*, *Eucalyptus spp*, y *Acacia melanoxylon*.

Corresponde a un área muy densa en vegetación extremadamente combustible, con alto poder calorífico y factores muy altos en velocidad de propagación lineal del fuego. La respuesta de la vegetación es marcadamente abundante en cuanto a generación de biomasa. Por ello, se constata un alto peligro de propagación proyecta de acuerdo a los modelos de comportamiento del fuego aplicado a los combustibles presentes en las parcelas muestra y test. Es un área sensible en cuanto a la propagación del fuego y proyecciones del incendio. El factor de viento local contribuye a la obtención de muy altos valores de peligro (figura 24).

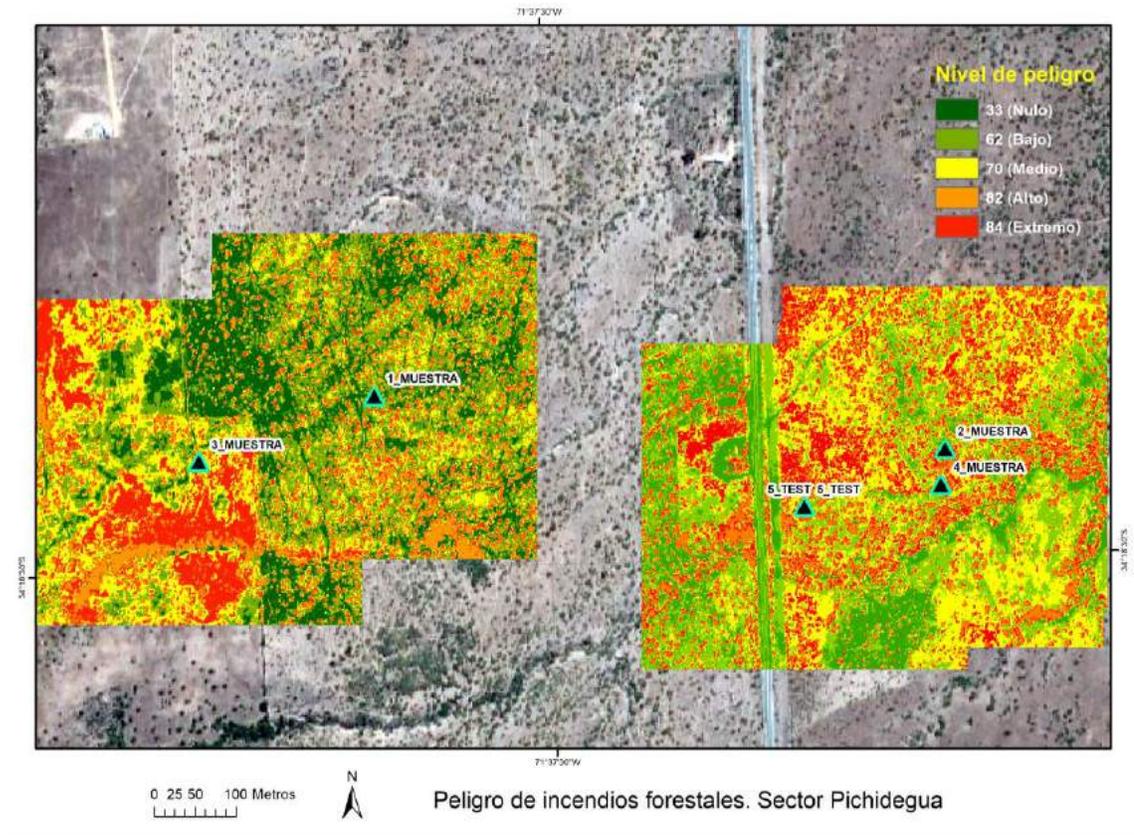
Figura 25.- Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Rodelillo.



Caso 5: Pichidegua

El peligro potencial de incendios es extremadamente variable, no siendo posible inferir un patrón de categoría dominante. Predomina el espino, boldo y tevo. Las diferencias existentes entre estructura y cobertura expresan todas las clases de potencial de propagación. Las distintas intensidades del incendio en los puntos de prospección – aproximadamente un 30% de la superficie prospectada – llevan a una equivalencia de las cinco categorías de peligro. No obstante, se considera que la dispersión espacial de los valores altos y extremos en el área de estudio, posibilitan la generación de escenarios de alto peligro por la cercanía de fuentes de intensidad calórica y con ello una alta posibilidad de un crecimiento exponencial del modelo de propagación del fuego.

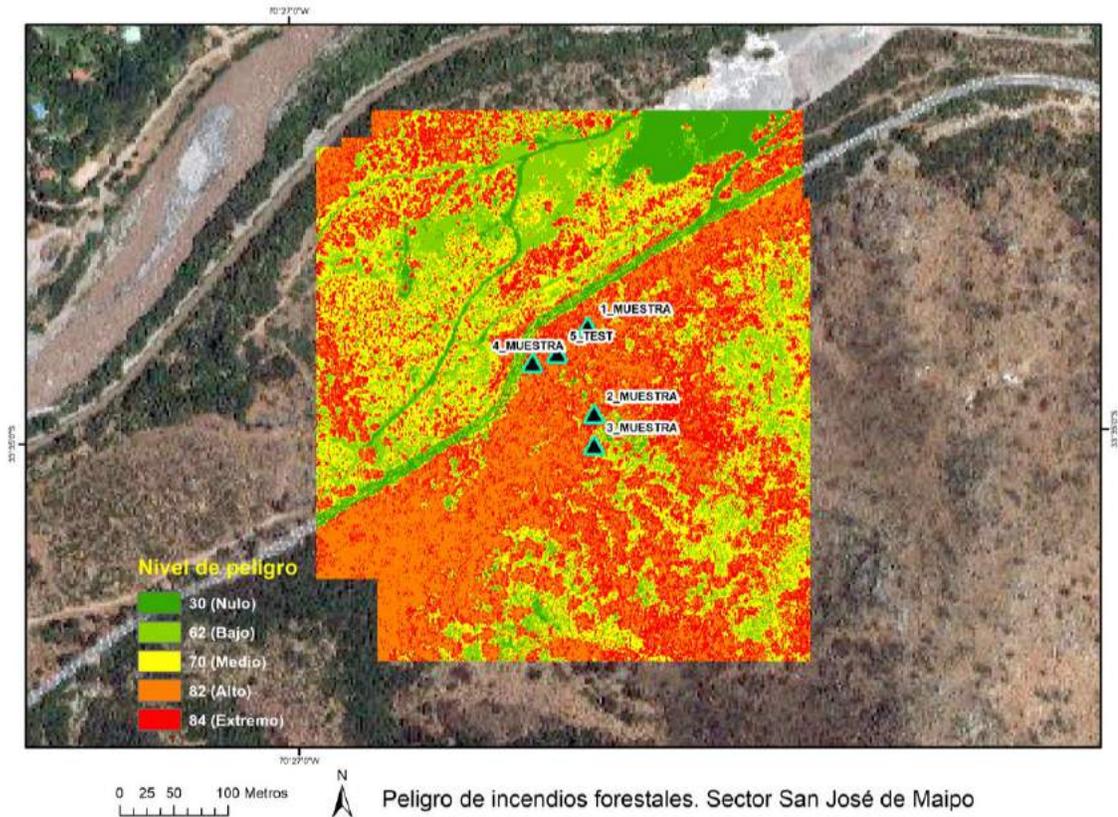
Figura 26.- Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Pichidegua.



Caso 6: San José de Maipo

El peligro de incendios forestales se manifiesta mayormente en el rápido crecimiento de la vegetación baja y arbustiva con bajo a mediano poder calorífico pero altos factores de propagación. En general, en la parte baja de la ladera, la cobertura es mayor (70 a 80 %), que en la parte alta de la ladera (30 a 40). Las opciones de aumento en carga de combustible se ven limitadas por la presencia de alta pedregosidad y mayor nivel de exposición de zonas ralas y compactadas. Aún así, es posible encontrar coberturas en leñosas altas cercana a 80% con una altura media de 6 metros, lo cual favorecería la propagación por copas en presencia de vientos de mayor intensidad. Predomina el litre, quillay, colliguay, palqui y algunas variedades de cactáceas. En cuando a las leñosas bajas el peligro proyectado es sensiblemente mejor, con presencia de cobertura de 10% y altura media de 2,5 a 3 metros. La presencia de retamilla promueve el potencial de propagación en el estrato arbustivo. En sectores con pedregosidad media a baja predomina el estrato arbóreo compuesto por litre y quillay, mientras que el peligro en las estructuras más bajas se concentra en el rápido desarrollo de colliguay y en menor presencia el palqui. La continuidad horizontal es muy variable. No obstante, la condición de irregularidad por claros, favorece la propagación de las llamas y con ello las proyecciones de propagación.

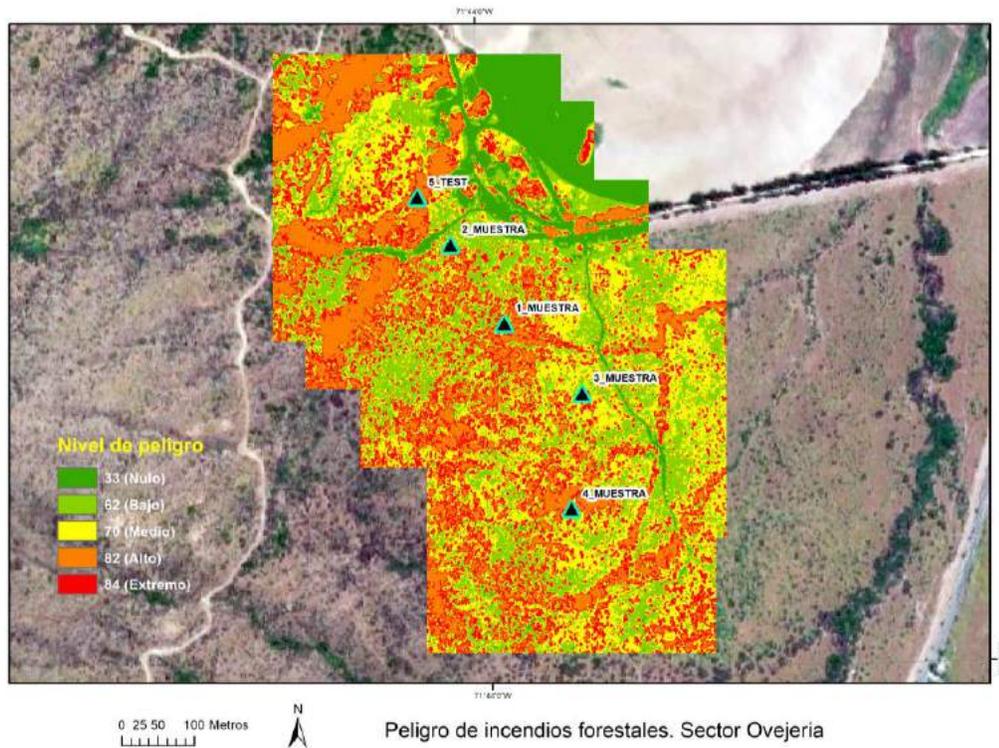
Figura 27.- Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Cajón del Maipo.



Caso 7: Ovejería

Corresponde a un área dominada por Espino, Litre, Peumo, Boldo, Berberis, Tevo y Zarzamora. Presenta una cobertura media entre 60-80%, con estrato superior con altura promedio de 3 metros, y estrato medio con altura aproximada que oscila entre 1,5 y 2,5 metros. De acuerdo a los parámetros de modelos de combustibles, se estima una carga media de 3,2 kilos por metro cuadrado para el estrato de hojarasca y ramas finas hasta 1,5 metros desde el piso. Una proporción importante de la vegetación se quemó al igual que la capa de hojarasca con probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo. Aún cuando se constatan fuertes efectos de la hidrofobicidad producto de las altas temperaturas alcanzadas por el fuego, la regeneración vegetativa es abundante, constituyendo un alto potencial de peligro de acuerdo a las evaluaciones de pronóstico en el comportamiento potencial de fuego. En las parcelas evaluadas y entorno, predominan las categorías altas a extremas, principalmente por la abundancia de pastizales y vegetación fina bajo 1,5 metros de altura. Coexiste abundante presencia de tevo y berberis altamente inflamables, que con la densidad constatada, promueve la continuidad en la propagación futura del fuego.

Figura 28.- Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Ovejería.

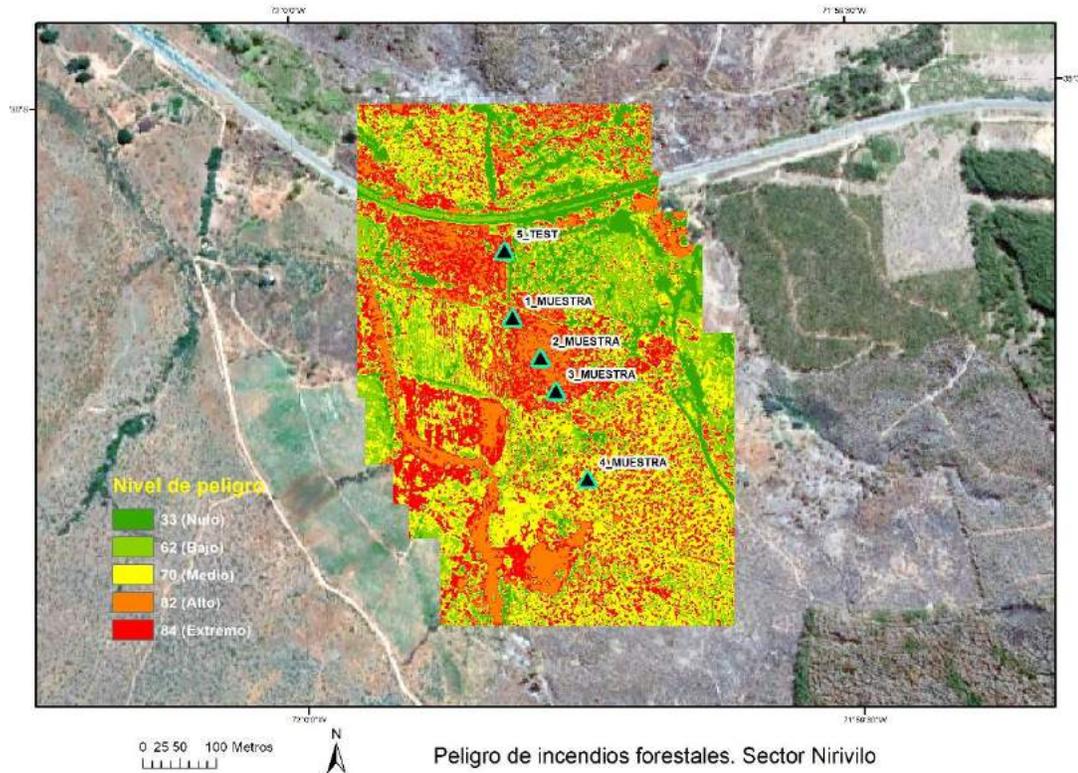


Caso 8: Nirivilo

Corresponden a matorrales de espinos fuertemente degradados como resultado de su uso histórico: ganadería, cultivos, extracción de leña y carbón e incendios forestales. Posterior al incendio, una proporción importante de los espinales se quemó con intensidad variable, eliminando cobertura herbácea y afectando parcialmente los espinos. En las zonas donde el incendio tuvo mayor intensidad existe probable combustión de carbono en los primeros 10 cm de suelo.

En el área incendiada predomina el Espino, luego el Maitén, Litre y Rosa mosqueta. Los dos estratos marcados con alturas medias de 3,5 metros y 2,5 metros, albergan una gran cantidad de vegetación densa tipo matorral expresada en ramas gruesas y vástagos de regeneración. La carga media es del orden de 4,7 kilos por metro cuadrado, de acuerdo al inventario efectuado en campo para las cuatro parcelas afectadas, proveyendo una condición alta de peligro. Existen sectores ralos en donde la propagación potencial es menor. En este sector, el pronóstico del comportamiento del fuego podría indicar niveles de intensidad calórica superiores a las 300 kcal/m/seg, se acuerdo a las tablas de conversión del Sistema KITRAL.

Figura 29.- Categorías de peligro potencial para el entorno asociado a las parcelas de muestreo y test. Sector Nirivilo.



7.15.1.3.- Discusión de resultados (cartografía de peligro)

No obstante que los resultados obtenidos reflejan con claridad los grados de peligro e impactos del fuego sobre la vegetación y suelos, se ha estimado como un tema de interés desarrollar un pronóstico del comportamiento potencial del fuego en la zona de estudio para los próximos años y, consecuentemente, los grado de severidad con que este problema podría afectar a los ecosistemas involucrados.

Está claro, sobre la base de las innumerables evidencias, estudios y opiniones de expertos, que el cambio climático mantendrá en el futuro una tendencia al incremento de las temperaturas y períodos de sequía en las zonas central y centro sur de Chile, y que ello consecuentemente derivará en un aumento de la ocurrencia e intensidad de los incendios forestales y de los impactos mismos del fuego sobre el medio ambiente. Una muestra de este problema está representada por la superficie superior a las 600 mil hectáreas afectadas para todo el país en la temporada 2016/17, que superó en cerca de cuatro veces al récord histórico, también alcanzado recientemente (128.000 ha en la temporada 2014/15). De hecho, el mega-incendio conocido como Las Máquinas, en la provincia de Cauquenes, que en enero se propagó

consumiendo alrededor de 168:000 ha de vegetación, se constituyó por lejos en el evento de mayor gravedad desde el año 1963, oportunidad de establecimiento del sistema estadístico nacional de incendios forestales.

La gravedad de la temporada 2016/17 fue extrema, provocando pérdidas e impactos ambientales, sociales y económicos inimaginables en los supuestos y pronósticos que plantearon los expertos en la materia en los meses previos al verano. Es probable que los próximos años sucedan nuevamente tragedias similares, sin embargo, aunque es unánime la opinión respecto a que el proceso de incremento de las condiciones ambientales en los próximos años será cada vez más severo, no existe la certeza suficiente que ello ocurra en la magnitud que se constató en los meses recién pasados.

El problema de iniciación, propagación e intensidad de los incendios forestales es netamente de carácter estocástico, es decir, se pueden generar y localizar en cualquier momento, con padrones de comportamiento de fuego muy variables dependiendo de las condiciones de riesgo y peligro que estén afectando al lugar afectado. Incluso, dos incendios que se inicien en un mismo sitio en períodos distintos pueden observar un desarrollo y dificultad de control muy diferente, porque las condiciones climáticas previas en la temporada y el estado meteorológico en el día de la ocurrencia podrían variar de manera significativa. Por otra parte, se considera que no sería correcto suponer, en el pronóstico y análisis sobre los futuros niveles de peligro en cualquier zona, que el comportamiento del fuego estaría presentándose permanentemente en niveles extremos tanto en el tiempo y como en el espacio, por efecto del incremento de situaciones ambientales críticas derivadas del cambio climático.

Por tal razón, las referencias sobre el comportamiento potencial del fuego que se plantean y describen más adelante, se establecen en niveles de riesgo y peligro algo superiores a las que prevalecieron en las temporadas anteriores, en períodos que podrían calificar como normales en cuanto a la ocurrencia y daños de incendios forestales.

Nuestros resultados indican que no hubo diferencias importantes en la velocidad de propagación lineal, la intensidad de la línea frontal y la longitud de la llama en las ocho localidades estudiadas. Sin embargo, registramos valores más altos de estos parámetros en dos localidades: Rodelillo (V Región) y La Estrella (VI Región). Estas diferencias pueden estar relacionadas con variaciones en la biomasa fina disponible a nivel del suelo. Castillo (2013) encontró valores similares en incendios experimentales en la zona costera de esta región, con vegetación análoga.

Las intensidades de primera línea encontradas en nuestro estudio son características de incendios con una producción de alta energía y un tiempo de residencia bajo. Estos pueden ser una consecuencia del bajo contenido de humedad en el material vegetal fino y muy fino, después de una sequía prolongada en el área de estudio. Rodríguez y Silva *et al.* (2010) reportaron valores similares para la misma vegetación en una interfaz rural-urbana; en su caso, los niveles de severidad fueron mayores debido a la presencia de materiales estructurales con alta inflamabilidad.

El tiempo de encendido depende no solo del contenido de humedad del material combustible, sino también de su inflamabilidad. La inflamabilidad es la capacidad de un material para continuar quemándose después de la ignición hasta que se consume totalmente, sin la adición adicional de energía calórica desde el exterior. En nuestro caso, la presencia de hojas de especies exóticas (como *Pinus radiata*) en la cama favorece la ignición, como lo demuestran Murray *et al.* (2013).

Los niveles de intensidad de fuego estimados en nuestro estudio fueron altos en todas las localidades (de IV a VI). Esta es probablemente la consecuencia de una carga muy grande de biomasa vegetal seca y fina combinada con los altos contenidos calóricos de las especies de arbustos presentes. Estas intensidades generalmente resultan en un alto nivel de daño, pero en nuestro caso, también observamos una rápida recuperación después del incendio. Roldán-Zamarrón *et al.* (2006) encontraron niveles de severidad similares en el sur de España. Sin embargo, estos niveles de severidad son más altos que los reportados por Muñoz-Navarro *et al.* (2018) en su estudio de modelos de combustibles para vegetación mediterránea.

Contrariamente a la alta intensidad calórica predominante, la gravedad se calificó principalmente con valores medios, y se estimó la cobertura vegetal principalmente en un nivel medio (50%).

Los informes sobre el comportamiento de los incendios en los ecosistemas mediterráneos que proporcionan información detallada sobre los parámetros de incendios forestales son escasos, a pesar de la abundante literatura sobre incendios forestales de vegetación. Además, los resultados dependerían, por un lado, de las condiciones climáticas y las peculiaridades de la ubicación y, por otro, de los métodos de análisis. Todas estas difíciles comparaciones de resultados. No obstante, al comparar nuestros resultados con algunos estudios de otras regiones mediterráneas, encontramos un patrón interesante. Los valores de velocidad de propagación lineal (VP) son similares o incluso más bajos que los nuestros, pero nuestros valores de intensidad de primera línea son mucho más altos. Tal es el caso en De Luis *et al.* (2004) que reportan resultados de incendios experimentales en Alicante (España). Sus valores de VP (de 0,66 a 1,74 ms^{-1}) son proporcionales a los nuestros, pero sus valores de intensidad de primera línea son mucho más bajos (de 231 a 343 $\text{Wm}^{-1}\text{s}^{-1}$). Saglam *et al.* (2008) informan el resultado de incendios experimentales de vegetación mediterránea en los maquis de Turquía. Sus valores de VP (de 0,38 a 7,35 ms^{-1}) son más altos que los nuestros; sin embargo, sus valores de intensidad de primera línea (de 45 a 1,410 $\text{Wm}^{-1}\text{s}^{-1}$) fueron mucho más bajos que los nuestros. Las condiciones climáticas de estos experimentos fueron similares a las de nuestro estudio. Estas diferencias en la intensidad de primera línea probablemente no sean el resultado de contenidos calóricos más bajos de la vegetación en los experimentos europeos. Lo más probable es que sean atribuibles a una carga de combustible mediana y fina más grande en nuestro caso, lo que significa una mayor energía potencial liberada en el proceso de combustión. Esto advierte peligro respecto a la posible respuesta de la nueva biomasa vegetal en crecimiento, con encendido acelerado e inflamabilidad.

Los resultados presentados aquí sobre las características de la propagación lineal de la superficie del fuego sugieren que estos incendios forestales se desarrollaron en un plano de propagación horizontal de la superficie, convirtiéndose en tridimensional bajo una cubierta de vegetación más densa, como lo indican los altos valores de intensidad calórica. Parece que la recurrencia de estos incendios forestales en la región está promoviendo la sucesión hacia condiciones degradadas y fragmentadas de la vegetación, lo que muestra una baja tolerancia a estas perturbaciones frecuentes (Armesto *et al.* 2009).

Nuestro proyecto representa una contribución significativa al conocimiento del comportamiento del fuego en los ecosistemas mediterráneos; sin embargo, es una visión reducida de los incendios forestales en el centro de Chile en 2016-2017. No incluye los impactos ambientales y sociales ni los daños económicos producidos. Este es un análisis de los parámetros físicos basados en una muestra limitada de parcelas de estudio en ocho localidades; en consecuencia, no puede representar todos los atributos diversos de los incendios forestales que afectaron un área de más de seis mil kilómetros cuadrados. Los informes técnicos posteriores al incendio calificaron estos eventos como "megafires" y "tormentas de fuego" y se consideraron "categoría seis". Además, aún no hemos abordado el papel de la diversidad de tipos de vegetación nativa y especies exóticas en las propiedades físicas de los incendios forestales.

Después de estos incendios, es urgente implementar medidas a corto plazo para recuperar los ecosistemas afectados, dada la pérdida de cobertura vegetal, especies nativas y servicios ecosistémicos. Además, debido a las sequías esperadas en los próximos años según lo predicho por los estudios de cambio climático (FAO 2010), deberíamos esperar incendios forestales más frecuentes en esta región (Arca *et al.* 2010).

Basados en nuestros resultados, sugerimos que los programas de restauración se concentren en ayudar a mantener la cohesión en estos ecosistemas. Esto requiere un monitoreo frecuente de las prácticas de restauración pasiva, recurriendo a un apoyo físico más activo en las áreas más gravemente afectadas. Los esfuerzos de recuperación deben apuntar a un rápido crecimiento de las poblaciones de plantas nativas.

8.- Conclusiones

Las pautas de restauración deben ir en concordancia a los daños evaluados, no sólo en la cubierta vegetal sino también en los distintos componentes de suelo, raíces, materia orgánica, grietas en corteza y estructuras aéreas de plantas y leñosas mayores. Estas evidencias también deben ser consideradas en cuanto a la formación de capa hidrofóbica producto de la intensidad calórica en el suelo. No obstante estos efectos no fueron descritos en las parcelas evaluadas, sí se midió el efecto de repelencia en bosques de hualo en un sector de la Región del Maule, para de esta manera aprovechar los efectos coyunturales de un reciente incendio sucedido en 2017.

Las pautas se remiten a la condición inicial de no perder mayor productividad del suelo post-incendio. Esta condición difícilmente se puede lograr tras dos a tres semanas del disturbio, por las condiciones de vigor en la regeneración vegetativa y la mayor actividad lumínica que se produce por la apertura de dosel. En síntesis, proponemos construir obras de contención en empalizadas considerando para ello material leñoso del mismo lugar y en consideración a una sectorización de la prioridad para la restauración. Para ello se realiza previamente un análisis multicriterio que da cuenta de las variables fisiográficas y vegetacionales más relevantes que inciden en las posibilidades de recuperación del entorno local afectado por el fuego. Esta pauta se desarrolla y documenta en el desarrollo de una Memoria de Título de Ingeniería Forestal, ya finalizada.

El estudio del comportamiento del fuego se instala como un elemento útil para post-evaluaciones en la respuesta de la regeneración y crecimiento vegetativo después de incendio, utilizando para ello parámetros de comportamiento del fuego diseñados y validados específicamente para los tipos vegetacionales de bosque nativo mediterráneo acá estudiados. Los resultados dan cuenta de la alta condición de peligro, y con ello apoyar al entendimiento cartográfico de la respuesta regenerativa de la regeneración a mayor escala.

9.- BIBLIOGRAFÍA

1. Armesto J, Bustamante-Sánchez M, Díaz M, González M, Holz A, Núñez-Ávila M, Smith-Ramírez C (2009) Fire Disturbance Regimes, Ecosystem Recovery and Restoration Strategies in Mediterranean and Temperate Regions of Chile. In: "*Fire Effects on Soils and Restoration Strategies*". (Eds A Cerda, PR Robuchaud, R. Primlani), Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. 537–567.
2. Becerra, P (2017) Efectos de los incendios en la regeneración de la vegetación en Chile Central. Seminario Internacional: Acción temprana post incendios forestales: conservación de suelo y reforestación. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. 24p.
3. Braun-Blanquet J (1948) Übersicht der Pflanzengesellschaften Ratiens. *Plant Ecology* 1(1):29-41.
4. Braun-Blanquet, Bolós J (1958) Les groupements vegetaux du bassin moyen de l'Ebre et leur dynamisme, Zaragoza: Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), D.L. 1958, 2 tomos. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei* (5):1-4.
5. Brown, A.; Davis, K (1973) *Forest Fire Control and Use*. McGraw-Hill, N.York, 686 p.
6. Byram, G.M. (1957) Some Principles of Combustion and their Significance in Forest Fire Behavior. *Forest Fire Control Notes* 18, 47-57
7. Castillo M, Molina JR, Rodríguez y Silva F, García-Chevesich P, Garfias R (2017) A System to evaluate fire impacts from simulated fire behavior in Mediterranean areas of Central Chile. *Science of the Total Environment* 579, 1410-1418.
8. Castillo M (2015) Diagnosis of Forest Fires in Chile. In: "*Wildland Fires – A worldwide reality*". (Eds. AJ Bento-Gonçalves, AA Batista-Vieira). Nova Publishers, pp. 211-224. ISBN: 978-1-63483-397-4
9. Castillo M, Molina-Martínez JR, Rodríguez y Silva F, Julio G (2013) A territorial fire vulnerability model for Mediterranean ecosystems in South America. *Ecological Informatics* 13, 106-113.
10. Castillo, M (2013) Integración de variables y criterios territoriales para la protección contra incendios forestales. Área de estudio: Valparaíso, Chile Central. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. España. 267p.
11. Castillo M, Garfias R, Julio G, González L (2012) Análisis de grandes incendios forestales en la vegetación nativa de Chile. *Interciencia* 37, 796-804.
12. Castillo M (2006) El cambio del paisaje vegetal afectado por incendios en la Zona Mediterránea Costera de la Quinta Región de Chile. Tesis Magíster en Geografía. Universidad de Chile. 143p.
13. Castillo M (1998) Método de validación para el simulador de expansión de incendios forestales del Sistema KINTRAL. Technical Report. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 132p.
14. 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. 56 p. Santiago, Chile.
15. CONAF Corporación Nacional Forestal (2018) Estadísticas de incendios forestales. Available in www.conaf.cl. Visited: August 28, 2018.
16. CONAF (2015) Registros del Sistema Nacional Estadístico de Manejo del Fuego. Depto. Protección contra Incendios Forestales. Santiago.
17. De Luis M, Baeza MJ, Raventós J, González-Hidalgo JC (2004) Fuel characteristics and fire behaviour in mature Mediterranean gorse shrublands. *International Journal of Wildland Fire* 13, 79–87.

18. Dirección Meteorológica de Chile (2005) La sequía en Chile. Antecedentes globales. Boletín de la Dirección Meteorológica, Sub-Departamento de Climatología y Meteorología Aplicada. 4p.
19. FAO (2010) Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile. Technical Report. Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Santiago de Chile, 125 pp.
20. Fernández I, Morales N, Olivares R, Salvatierra J, Gómez M, Montenegro G (2010) Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, 162 pp.
21. Frandsen, W.H (1971) Fire Spread through Porous Fuels from the Conservancy of Energy. *Combustion and Flame*, Vol.16:9-16.
22. Fulé P, Crouse J, Heinlein T, Moore M, Covington W, Verkamp G (2003) Mixed-severity fire regime in a high-elevation forest of Grand Canyon, Arizona, USA. *Landscape Ecology* (18):465-486.
23. Gajardo R (1994) *La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 165 pp.
24. Garcia-Chevesich, P, Martínez E, García A, Castillo Garfias R, Neary D, Pizarro R, Valdés R, González L, Magni C (2019) Formation of post-fire water repellent layers on *Nothofagus glauca* (Hualo) forests, after the historical "Las Máquinas" wildfire in south-central Chile. *International Journal of Wildland Fire* 15(1):1-6.
25. Garcia-Chevesich, P (2015) Control de la erosión y recuperación de suelos degradados. Outskirts Press. Denver, CO. 486 p.
26. Jardel P., E.J., R. Ramírez V., A. Saldaña A., F. Castillo N., J.C. Chacón M., S. Zuloaga A., O.E. Balcázar M., H. Quiñones y A. Aragón C (2003) Restauración de áreas afectadas por incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Informe final del Proyecto F6-00-14. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. y Universidad de Guadalajara. Autlán, Jalisco, México. 35p.
27. Jordan W.R. III, M.E. Gillpin y J.D. Aber (1987) Restoration ecology: A synthetic approach to ecological research. Cambridge University Press. Cambridge, Gran Bretaña.
28. Julio, G (2015) Manual de Manejo del Fuego. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. 435p.
29. Julio, G.; Castillo, M; Fuentes, J.P.; Garfias, R (2012) Estudio de impactos de incendios forestales en la Zona Central de Chile – propuestas de acciones de restauración y mitigación. Informe de cierre, Proyecto Fondecyt 1095048. Laboratorio de Incendios Forestales, Universidad de Chile. 177p.
30. Julio G (2009) Fundamentos del Manejo del Fuego. VI Edición. Publicación del Depto. Gestión Forestal y Medio Ambiente, Fac. Cs. Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. Santiago. 326p.
31. Julio G (2007) Formulación de Lineamientos Políticos y Estratégicos para la Protección contra Incendios Forestales en Chile. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, España. 341 p.
32. Julio G, Aguilera R, Pedernera P (1997) The Kitral System. *Proceedings International Workshop on Strategic Fire Planning Systems*. USDA Forest Service, Fire Research Lab., Riverside, California. pp 100.
33. Julio G, Castillo E, Pedernera P (1995) Modelación de Combustible. Actas de Taller Internacional sobre Prognosis y Gestión en Control de Incendios Forestales. Proyecto Fondef FI-13. U.Chile/INTEC/INFOR, Santiago, pp. 111-127.
34. Julio, G.; Pedernera, P.; Castillo, E (1995b) Diseño Funcional de un Simulador de Incendios Forestales. Actas de Taller Internacional sobre Prognosis y Gestión en Control de Incendios Forestales. Proyecto FONDEF FI-11. Santiago de Chile. Pág 218-226.

35. Keeley JE (2009) Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire* 18, 116–126.
36. Keeley JE, Brennan T, Pfaff AH (2008) Fire severity and ecosystem responses following crown fires in California shrublands. *Ecological Applications* 18, 1530–1546.
37. Luebert F, Pliscoff P (2006) *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 316 pp.
38. Machado A (2001) Restauración Ecológica. Una introducción al concepto. Gobierno de Canarias. *Revista de Medio Ambiente* (21). 7p.
39. Molina JR, Castillo ME, Rodríguez y Silva F (2014) Determining the economic damage and losses of wildfires using MODIS remote sensing images. *Advances in Forest Fire Research. Universidade de Coimbra editions*. Chapter 7, 1821-1831.
40. Muñoz M, Fuentes E (1989) Does fire induce shrub germination in the Chilean matorral? *Oikos* 56, 177-181.
41. Muñoz-Navarro JA, Rodríguez y Silva F, Molina-Martínez JR (2018) Diagnóstico y caracterización de los incendios de copa en las masas arboladas de la comarca forestal de Villaviciosa de Córdoba (Córdoba, España). In: *Investigaciones de Pregrado sobre Manejo del Fuego*, pp 42-61. Grupo Compás, ISBN 978-9942-770-59-2.
42. Murray B, Hardstaff L, Phillips M (2013) Differences in leaf flammability, leaf traits and flammability-trait relationships between native and exotic plant species of dry sclerophyll forest. *PLOS ONE*. 8, 8p.
43. Pausas JG, Llovet J, Rodrigo A, Vallejo R (2008) Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? – A review. *International Journal of Wildland Fire* 17, 713–723.
44. Pausas, J (1999) Mediterranean vegetation dynamics: modelling problems and functional types. *Plant Ecology* (140): 27–39.
45. Quintanilla V, Castillo M (2009) Degradación de ecosistemas de la palma más austral del mundo (*Jubaea chilensis*), acelerada por los fuegos estivales en los cordones litorales de Valparaíso y Viña del Mar (32°50′-33°02′S). Un caso sostenido de perturbación del paisaje. *Investigaciones Geográficas* 41; 41-60. SciELO.
46. Quintanilla, V. (2000) Influencia del fuego en el desequilibrio ecológico de la vegetación en la zona mediterránea de Chile: casos de estudio. *Investigaciones Geográficas*. (34): 3-14.
47. Quintanilla, V (1999) Modificaciones por efecto del fuego en el bosque esclerófilo de quebradas húmedas de Chile Central y su incidencia en la Palma chilena. *Terra Australis*. 44, 7-18.
48. Quintanilla V, Castro R (1998) Seguimiento de las cubiertas vegetales post-incendios forestales en la zona mediterránea costera de Chile. *Serie Geografica* 7, 147-154.
49. Rodríguez y Silva F, Julio G, Castillo M, Molina JR, Herrera M, Toral M, Cerda C, González L (2010) Aplicación y adaptación del Modelo SEVEIF para la evaluación socioeconómica del impacto de incendios forestales en la Provincia de Valparaíso, Chile. Technical Report, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). 52p. ISBN 978-84-693-0740-3.
50. Saglam B, Bilgili E, Küçük O, Durmaz BD (2008) Fire behavior in Mediterranean shrub species (Maquis). *African Journal of Biotechnology* 7, 4122-4129.
51. SER (2004) Society for Ecological Restoration. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Principios de restauración ecológica. Society for Ecological Restoration International. 15p.

52. Turner M, Romme W, Reed R, Tuskan G. (2003) Post-fire aspen seedling recruitment across the Yellowstone (USA) Landscape. *Landscape Ecology* (18):127-140.
53. Ubeda X, Sarricolea P (2016) Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change* 146, 152-161.
54. Villaseñor R. (1977) Unidades de vegetación de los cerros de la provincia de Valparaíso, Chile. 6p. Inédito.
55. Vita, A. (2007) Silvicultura en zonas áridas. In: Hernández, J., De la Maza, C. y Estades, C. (Eds.). *Biodiversidad: Manejo y conservación de recursos forestales*. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. Pp 362 - 403.
56. Westhoff V, Van der Maarel E. (1978) The Braun-Blanquet approach. In Whittaker, R.H. (ed.), *Classification of plant communities*: 287-399.
57. Whisenant S.G. (1999) *Repairing damaged wildlands. A process-oriented landscape-scale approach*. Cambridge University Press. Cambridge, Gran Bretaña.