

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO**

MEMORIA DE TÍTULO

**PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN MATORRAL Y BOSQUE
ESCLERÓFILO DEGRADADO EN LA RESERVA NACIONAL RÍO CLARILLO,
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO**

JAVIERA ALEJANDRA CORNEJO MORALES

**Santiago, Chile
2016**

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO**

MEMORIA DE TÍTULO

**PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN MATORRAL Y BOSQUE
ESCLERÓFILO DEGRADADO EN LA RESERVA NACIONAL RÍO CLARILLO,
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO**

**PROPOSAL FOR ECOLOGICAL RESTORATION IN DEGRADED SHRUB AND
SCLEROPHYLL FOREST AT RESERVA NACIONAL RÍO CLARILLO,
METROPOLITAN REGION OF SANTIAGO**

JAVIERA ALEJANDRA CORNEJO MORALES

**Santiago, Chile
2016**

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO**

**PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN MATORRAL Y BOSQUE
ESCLERÓFILO DEGRADADO EN LA RESERVA NACIONAL RÍO CLARILLO,
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

JAVIERA ALEJANDRA CORNEJO MORALES

| | Calificaciones |
|--|-----------------------|
| Profesores Guías | |
| Jorge Pérez Q. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph. D. | 6,2 |
| Horacio Bown I. Ingeniero Forestal, M.S. Ph. D. | 6,2 |
| Profesores Evaluadores | |
| Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr. | 6,5 |
| M. Verónica Díaz M. Ingeniera Agrónoma, Mg. Sc. | 6,0 |

**Santiago, Chile
2016**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a mis padres Milsa Morales y Manuel Cornejo, ya que gracias a que creyeron en mí, a su preocupación y cariño es que me es posible cerrar este ciclo universitario. Agradecer también a mis tíos Julio Cornejo y Marta Morales y a mis primos Julio, Juan Pablo y Macarena por el apoyo que me han brindado.

A mis profesores Horacio Bown y Jorge Pérez por su paciencia y consejos durante la realización de esta memoria. Gracias a ambos por confiar en mí y guiarme durante este proceso.

A mis amigos que me acompañaron a realizar las mediciones en terreno, Felipe, Luis, Marlene y Max, ya que sin ellos no lo habría logrado en el plazo propuesto. También agradecer a Patricio por estar a mi lado, ayudarme y apoyarme durante estos años.

A la generación 2009 de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, por todos los buenos momentos y lazos de amistad que se crearon durante estos años.

Finalmente, agradecer a CONAF por otorgarme el permiso para el ingreso del área de estudio dentro de la Reserva Río Clarillo.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 1.1 Objetivos | 9 |
| 1.1.1 General | 9 |
| 1.1.2 Específicos | 9 |
| 2 MATERIALES Y MÉTODOS..... | 10 |
| 2.1 Área de estudio..... | 10 |
| 2.1.1 Hidrografía | 10 |
| 2.1.2 Flora | 10 |
| 2.1.3 Geología y suelos | 10 |
| 2.1.4 Ubicación espacial | 11 |
| 2.2 Selección de sitios según nivel de degradación..... | 13 |
| 2.3 Evaluación de variables de vegetación y suelo | 17 |
| 2.3.1 Análisis estadístico..... | 19 |
| 2.3.2 Elaboración de la propuesta de restauración..... | 19 |
| 3 RESULTADOS | 21 |
| 3.1 Descripción de la vegetación..... | 21 |
| 3.2 Descripción de suelo | 26 |
| 3.3 Propuesta de restauración..... | 29 |
| 3.3.1 Análisis..... | 29 |
| 3.3.2 Síntesis | 30 |
| 3.3.3 Programa de actividades | 32 |
| 3.3.4 Análisis económico | 36 |
| 4 DISCUSIÓN | 38 |
| 5 CONCLUSIONES..... | 41 |
| 6 BIBLIOGRAFÍA | 42 |
| 7 ANEXOS | 46 |
| 8 APÉNDICE..... | 48 |

RESUMEN

La Reserva Nacional Río Clarillo presenta signos de degradación histórica producidos principalmente por incendios, deforestación y engorda de ganado. Es por esto que el objetivo general de este trabajo fue elaborar una propuesta de restauración ecológica para zonas degradadas de matorral y bosque esclerófilo tomando como referencia una imagen objetivo de éstos en la Reserva. Se caracterizaron zonas en distintos estados de degradación de bosques y matorral esclerófilo, proponiéndose actividades de restauración necesarias para alcanzar la imagen objetivo en zonas degradadas. La metodología utilizada consistió en la elección de un área de estudio dentro de la Reserva en base al análisis de una imagen satelital. Dentro del área se seleccionaron 15 parcelas con pendiente y exposición similar, y se separaron de acuerdo a la cobertura observable en 5 parcelas en un buen estado de conservación (Estado 1), 5 para un estado de conservación regular (Estado 2), y 5 para un estado de degradación alto (Estado 3). En terreno se redefinieron algunas parcelas de acuerdo a las condiciones presentes no apreciables en la imagen satelital. Dentro de cada parcela se establecieron puntos de muestreo y se midieron las variables de suelo: densidad aparente, textura y contenido de materia orgánica; y variables de vegetación: altura y espesor, con el que posteriormente se obtuvo el fitovolumen.

Las variables que mostraron diferencias significativas entre los estados fueron altura, riqueza de especies arbóreas y arbustivas, las que fueron la base para la construcción de la propuesta. También se consideraron las variables contenido de limo, densidad aparente, cantidad de carbono orgánico y fitovolumen. Dentro de las actividades de restauración propuestas se encuentran: cercar el área de estudio, siembra de *Quillaja saponaria* en el Estado 1, plantación de *Quillaja saponaria* o *Lithraea caustica* y siembra de *Baccharis rhomboidalis* en Estado 2, y plantación de *Baccharis rhomboidalis* y construcción de barreras vivas con *Baccharis linearis* en el Estado 3.

En conclusión, fue posible elaborar una propuesta de restauración capaz de responder a las necesidades de los sitios degradados y potenciar la imagen objetivo propuesta mediante acciones activas y pasivas de siembra, plantación y protección. Se recomienda para proyectos similares el uso de variables e indicadores que permitan un mejor seguimiento de los cambios en el suelo cubierto por vegetación y de suelo desnudo de los sitios a restaurar.

Palabras claves: esclerófilo, degradación, fitovolumen, suelo.

ABSTRACT

Reserva Nacional Río Clarillo shows degradation signs caused mainly by fires, afforestation and grazing. This is why the general objective of this work was to elaborate an ecological restoration proposal for degraded sclerophyllous forest and shrub areas, taking as reference a target image inside the Reserve. Sclerophyllous forest and shrub areas with different degradation states were assessed, considering this, appropriate restoration activities were proposed to achieve the target image in degraded areas. The methodology used consisted in selecting a study area inside the Reserve based on a satelital image analysis. Inside the area, 15 sections with similar slope and aspect conditions were selected and classified according to the observable coverage in 5 sections with a good conservation state (State 1), 5 with a regular conservation state (State 2), and 5 with a high degradation state (State 3). In the field, some sections were redefined according to the actual conditions that couldn't be appreciated in the satellite images. Sampling points were established in each section, where soil (bulk density, texture and organic matter content) and vegetation variables (height and thickness) were measured, resulting in the calculation of phytovolume. The variables that showed significant differences between states where height, tree species richness and shrub species richness and were the base for the proposal construction, also the variables silt content, bulk density, organic carbon content and phytovolume where considered. Between the restoration activities proposed we can find: fencing the study area, seeding *Quillaja saponaria* in State 1, planting *Quillaja saponaria* or *Lithraea caustica* and seeding *Baccharis rhomboidalis* in State 2, and planting *Baccharis rhomboidalis* and constructing a living fence with *Baccharis linearis* in State 3. In conclusion, to elaborate a restoration proposal and to characterize zones in 3 degradations states was possible in the area of study, from whose State 1 was considered as objective image according to the analysis of the measured variables.

In conclusion, a restoration proposal that was able to answer the needs of degraded sites and maximize the proposed target image through active and passive actions as sowing, planting and protection was achieved. The use of variables and indicators that allow a better tracing of the changes between bare soil and vegetation covered soil of the sites to be restored is recommended.

Keywords: Sclerophyllous, degradation, Phytovolume, soil.

1 INTRODUCCIÓN

La degradación de los ecosistemas se traduce en la pérdida o disminución, tanto en calidad como en cantidad, de servicios ecosistémicos, entre los cuales se encuentran los servicios de apoyo, de provisión, de regulación y culturales (Machado, 2008; Millenium Ecosystem Assessment, 2003). Esta degradación se debe principalmente a perturbaciones que son producto de patrones insostenibles de consumo y producción (MMA, 2013). Entre las actividades económicas más contribuyentes a la degradación de ecosistemas se pueden mencionar: la agricultura, debido al uso de pesticidas y monocultivos (Cherni, 2003); la extracción de leña y carbón, y el uso ganadero no sostenible (Gálvez, 2002). Esto se relaciona con las fases de la Curva de Kuznet presentes en el desarrollo de países, estableciendo en una primera instancia una fase industrial, la que prioriza la generación de empleo y extracción de recursos naturales por sobre la calidad del medioambiente (Dasgupta, 2002). En la segunda fase se cuenta con mayores ingresos y valorización en la calidad ambiental: se genera una mayor demanda por una regulación ambiental efectiva, reduciendo los impactos medioambientales (Dinda, 2004). Finalmente, en la tercera fase, existe un aumento de los ingresos: se prioriza una estructura económica enfocada a servicios, minimizando los impactos medioambientales, lo que se traduce en una disminución de la degradación ambiental generada (Grossman and Krueger, 1991). De acuerdo a Suárez (2011), Chile se encuentra en la fase creciente de la Curva de Kuznet, puesto que a medida que aumenta el Producto Interno Bruto (PIB), aumenta la emisión de contaminantes. Sin embargo, se acerca al punto de inflexión de la curva (segunda fase), producto del aumento en la valorización de la calidad ambiental.

La restauración ecológica es una actividad que pretende asistir en la recuperación de ecosistemas degradados, dañados o destruidos, de manera de restablecer algunas, no necesariamente todas, las funciones y servicios ecosistémicos existentes previos a la perturbación (SER, 2004). Para lograr los objetivos del manejo que busca asistir estos ecosistemas degradados se proponen acciones que inician una respuesta de sucesión dinámica dentro de estos ecosistemas (Whisenant, 1999). Esta sucesión se explica en la Figura 1 por el modelo hipotético de degradación de Whisenant, en donde los niveles de degradación son caracterizados en estados, partiendo por el estado 0, un estado prístino bien conservado, al estado 4, que es el estado en un nivel máximo de degradación (Whisenant, 1999). En la parte inferior de la figura se presenta cómo se comporta la funcionalidad de los procesos primarios de acuerdo al nivel de degradación. También se puede observar que existen umbrales de transición: los ecosistemas que se encuentran en un nivel de degradación por sobre el umbral de transición controlado por interacciones bióticas requieren manipulación de la vegetación, en donde algunos individuos, e incluso especies,

deben ser introducidos y/u otros removidos para restaurar esos ecosistemas. En el caso de los ecosistemas que se encuentren por sobre el umbral de transición controlado por limitaciones abióticas, requieren de manipulación física para que puedan ser restaurados, manipulaciones que, por ejemplo, aumenten la infiltración del agua y reduzcan la erosión del suelo (Whisenant, 1999).

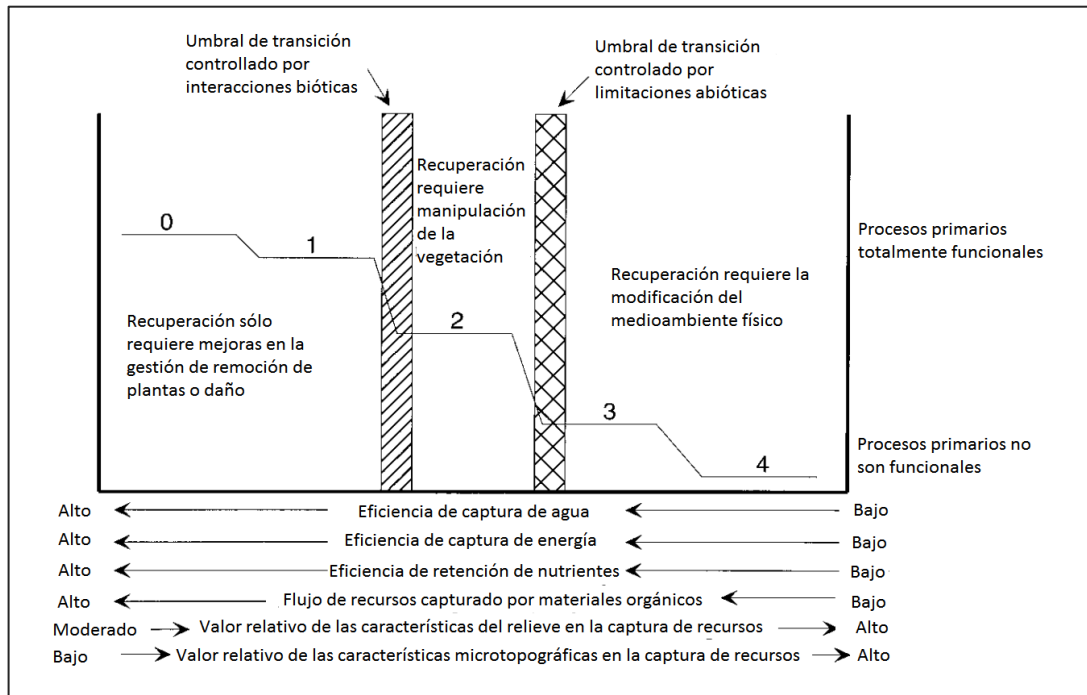


Figura 1. Modelo hipotético de degradación de ecosistemas (Whisenant, 1999).

En la definición de la Society of Ecological Restoration (SER) no se menciona retornar al ecosistema original debido a que resulta una condición imposible de determinar (SER, 2004). En su remplazo se utiliza un ecosistema de referencia o imagen objetivo que representa el estado al que se espera recuperar el ecosistema degradado. Esta referencia puede ser un ecosistema real o modelo conceptual elaborado a partir de recopilaciones en base a varios sitios (SER, 2004), que permite establecer metas y bases para un proyecto de restauración, pues se refiere a un estado avanzado que se encuentra en algún punto de la trayectoria ecológica del ecosistema degradado (SER, 2006).

En los últimos años se ha reconocido el potencial de la restauración ecológica como un elemento fundamental en el manejo de ecosistemas, puesto que sólo con conservar zonas críticas no bastaría para conservar la biodiversidad del planeta (SER, 2006). Muchos de los ecosistemas degradados se encuentran relacionados con la pérdida de biodiversidad, además de proveer los medios de vida de comunidades humanas cercanas (SER, 2006). Es por esto que se considera como un componente principal en la conservación y programas de

desarrollo sostenible, ayudando de esta manera a las comunidades a reparar el daño ecológico y a mejorar el bienestar humano (SER, 2006).

Dentro de los principios de una buena práctica de restauración ecológica con respecto a los ecosistemas, la SER (2006) establece: incorporar una variante espacial biológica y ambiental en el diseño; permitir conexiones dentro de un paisaje más amplio; enfatizar la reparación de procesos en vez del reemplazo estructural; dejar suficiente tiempo para que se reanuden los procesos autogénicos (por las plantas); tratar las causas en vez de los síntomas de degradación; e incluir protocolos de monitoreo para permitir el manejo adaptativo.

Para hablar de la degradación de ecosistemas en Chile se tomará el caso de la zona central, en donde las modificaciones al paisaje natural se han llevado a cabo desde la época colonial, mediante la introducción de especies, la agricultura, la ganadería, los incendios forestales, las actividades mineras, deforestación y el desarrollo urbano (Flores y Díaz, 2007). La extracción de madera en la zona central ha significado una fuerte presión sobre las especies leñosas, puesto que la tala fue intensiva y los suelos quedaron desprovistos de estas especies (Flores y Díaz, 2007). Las actividades agrícolas y ganaderas también influyeron presionando sobre el uso del espacio y fomentando la extracción de la vegetación nativa (Flores y Díaz, 2007).

En los años sesenta los conceptos de desarrollo sustentable y medio ambiente comenzaron a tomar mayor fuerza a nivel mundial y nacional (Camus and Hajek, 1998). Dentro de las acciones que se realizaron es importante destacar la formación del Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IREN) por el consejo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), y el surgimiento de corporaciones privadas a través de CORFO con el objetivo de realizar una evaluación de los recursos naturales (Camus and Hajek, 1998).

En el sector forestal el año 1965 se inicia la mayor campaña de reforestación realizada hasta el momento, la que fue impulsada por la concientización sobre temas de degradación de suelos producto de la actividad forestal no regulada de la época (Camus and Hajek, 1998).

En el año 1984 se promulga la Ley N°18.362 que crea un Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), en donde se establecen los objetivos de dicho sistema y las categorías de manejo que lo integran, las cuales son: Reservas de Regiones Vírgenes, Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales.

Con respecto a la restauración ecológica en Chile, CONAF la considera como una actividad fundamental para la conservación de la diversidad biológica dentro de las áreas silvestres protegidas del país, destinada a mantener la integridad ecológica y la naturalidad de los ecosistemas, ayudando a restaurar los daños que afecten su equilibrio (CONAF, 2010). Se puede mencionar que esta disciplina se encuentra poco desarrollada, puesto que la información es generada principalmente por organizaciones privadas con el fin de mitigar

impactos ambientales negativos generados por el desarrollo de proyectos privados, causando que la información sobre casos de estudio o proyectos sea escasa, se encuentre dispersa y que no sea de fácil acceso (CONAF, 2010). Estos factores dificultan el establecimiento de una base de datos integrada de proyectos, base que permitiría ahorrar tiempo y recursos al permitir que se disminuyan los posibles errores durante la elaboración y ejecución de proyectos de restauración y la adopción de estrategias para aumentar las probabilidades de éxito (CONAF, 2010). Cabe mencionar que existen diversas propuestas o lineamientos para la restauración en Chile, sin embargo muchos de éstos no son puestos en marcha debido al alto costo que presentan (Clewel and Rieger, 1997).

El año 2014 se creó la Red Chilena de Restauración Ecológica, Restauremos Chile, cuyo objetivo es “la promoción de la investigación, colaboración, difusión y puesta en práctica de la restauración ecológica con el fin de coordinar los esfuerzos de manera integral y transdisciplinaria de las distintas profesiones, oficios y ocupaciones interesados en la restauración ecológica en el país” (Smith et al., 2015).

La Reserva Nacional Río Clarillo fue el lugar seleccionado como área de estudio para esta memoria. Fue declarada como unidad del SNASPE el 6 de marzo de 1982. Originalmente la superficie que conformaba la Reserva formaba parte del fundo El Principal, en donde las principales actividades que se realizaron, durante varios siglos, fueron talaje y extracción de leña y carbón (Niemeyer et al., 2002).

Los viñedos contribuyeron en parte a la degradación del ecosistema, puesto que se utilizaron los terrenos de baja pendiente, además de la extracción de la especie *Kageneckia angustifolia* D. Don para la construcción de postes de viñas. En el caso de la agricultura, se utilizaron terrenos de baja pendiente para cultivar principalmente trigo (CONAF, 1996). La ganadería fue la actividad más importante, durante la época de la reforma agraria, entre los meses de octubre y marzo, el ganado estimado en cerca de 2000 animales era trasladado a zonas interiores de la Reserva, de los que 200 correspondían a caballos y el resto a vacunos, posteriormente también se introdujeron ovinos (CONAF, 1996). La actividad minera tuvo su mayor impacto en 1964 y 1965 con la extracción de tierra colorada (óxido de hierro) y en 1970 y 1971 con extracción de pirita. Por último, la actividad de extracción de leña y carbón ejerció una fuerte presión principalmente sobre las especies *Cryptocarya alba* (Molina) Looser, *Lithraea caustica* (Molina) Hook. & Arn., y *Quillaja saponaria* Molina (CONAF, 1996).

Dentro de los hitos importantes con respecto a degradación en la Reserva, se cuentan también la instalación de dos aserraderos, aproximadamente en 1940, en donde se utilizó madera de *Persea lingue* (Ruiz & Pav.) Nees. para reparaciones varias en las construcciones de la zona, y en 1972 la explotación forestal se intensificó y aumentaron los incendios forestales, posiblemente intencionales para facilitar la extracción (CONAF, 1996).

En la parte baja de la Reserva, la vegetación corresponde a la de la Región del Matorral y Bosque Esclerófilo, esta región se desarrolla desde los 29°34'S hasta los 37°26'S, en donde predomina un clima mediterráneo (CONAF, 2010). En cuanto a vegetación, predominan las especies de arbustos altos de hojas esclerófilas, además de encontrarse arbustos bajos xerófitos, arbustos espinosos, suculentas y árboles esclerófilos y laurifolios (Gajardo, 1994).

La dinámica sucesional en esta región luego de una perturbación está dada por especies que puedan originarse por semillas colonizadoras y crecimiento vegetativo de especies sobrevivientes, por lo tanto, la dinámica sucesional tendrá directa relación con las formas de vida de las especies vegetales y el nivel de la perturbación (CONAF, 2010). En el caso de fuego y deforestación, es posible que existan parches vegetacionales en distintos estados sucesionales en un mismo sector (CONAF, 2010).

En esta región, la especie *Acacia caven* Molina (espino) es la especie pionera más importante, debido a su capacidad de adaptarse a zonas degradadas y secas, en donde su dispersión se genera gracias a la presencia de ganado. Cuando la presencia de ganado es mayor, esta especie es capaz de reemplazar a las comunidades originales, generando junto a una estrata herbácea una comunidad de “espinal”. Cuando disminuye la presencia del ganado, especies como *Cestrum parqui* Benth. y del género *Baccharis* comienzan a surgir, las que gracias a su sombra dan paso a las especies *Muehlenbeckia hastulata* (Sm.) I.M. Johnst. y *Lithraea caustica*, generándose una sucesión media y luego una sucesión tardía (CONAF, 2010). En la Figura 2 se puede observar esta sucesión.

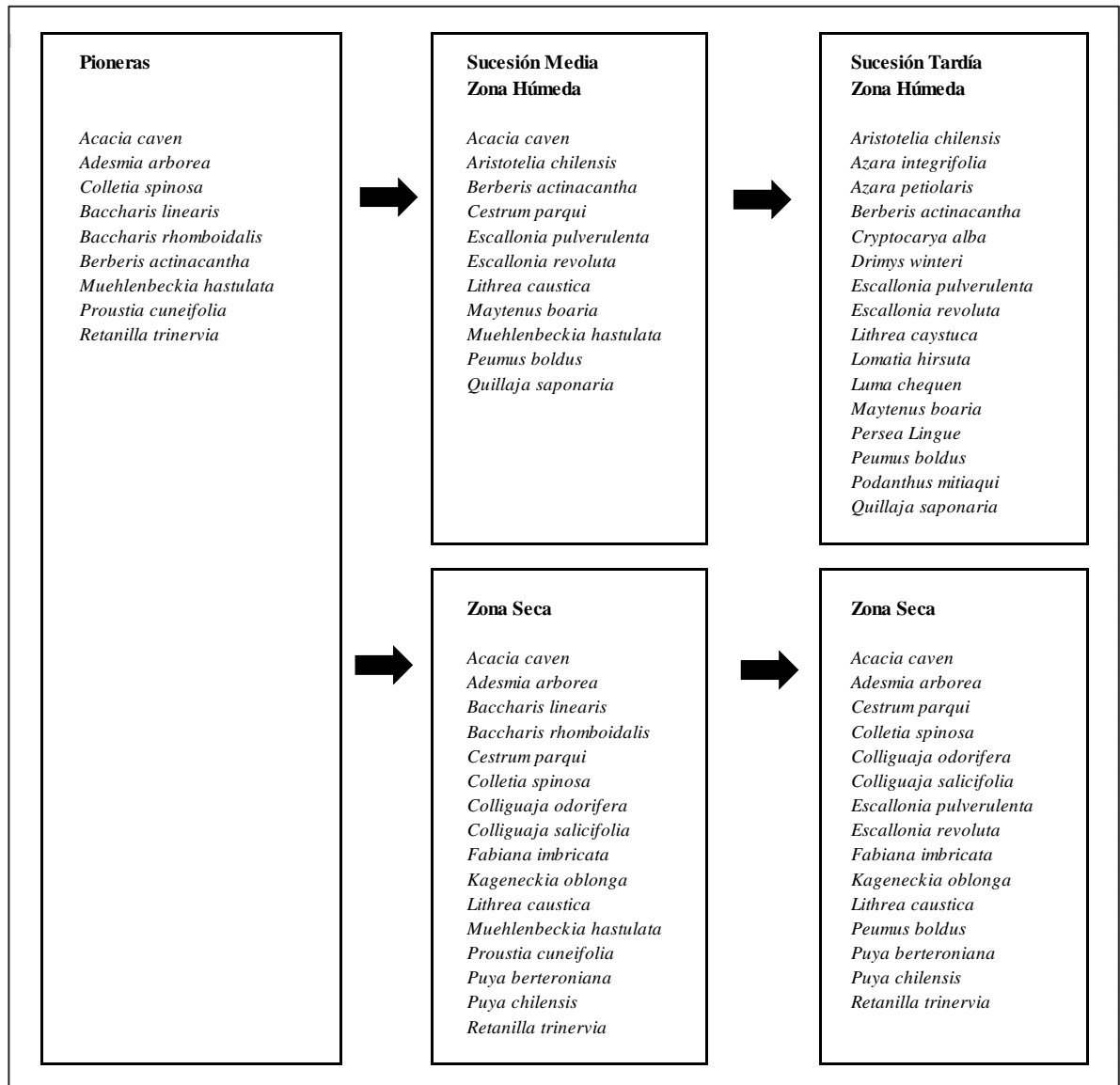


Figura 2. Esquema de sucesión vegetal para la formación de bosque esclerófilo montano (CONAF, 2010).

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Elaborar una propuesta de restauración ecológica para zonas degradadas de matorral y bosque esclerófilo tomando como base una condición de referencia en la Reserva Nacional Río Clarillo, Región Metropolitana de Santiago.

1.1.2 Específicos

Caracterizar zonas en distintos estados de degradación de matorral y bosque esclerófilo.

Proponer actividades de restauración necesarias en zonas degradadas para alcanzar la imagen objetivo propuesta.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La Reserva Nacional Río Clarillo se ubica en la comuna de Pirque, Región Metropolitana, a 45 kilómetros de la ciudad de Santiago, en la Precordillera y Cordillera de los Andes. Posee una superficie de 13085 ha, correspondiente a la cuenca del río Clarillo (Niemeyer et al., 2002). El clima presente en la Reserva es mediterráneo semiandino, con temperaturas promedio de 7,5°C en invierno y 21,5°C en verano, junto con una precipitación promedio de 648mm (Niemeyer et al., 2002).

2.1.1 Hidrografía

El Río Clarillo tiene una extensión de 8,6km desde que nace de la confluencia de las cuencas mayores, el cajón de los Cipreses y el cajón del Horno a 1100 msnm, hasta que sale de la Reserva (Teillier et al., 2005). El caudal del río se considera bimodal, con crecidas entre julio y agosto por las precipitaciones estacionales y en los meses de noviembre y diciembre por derretimiento de las nieves, mientras que desde enero a mayo se presentan los menores caudales (Teillier et al., 2005).

2.1.2 Flora

Con respecto a la vegetación presente, corresponde a la Región del Bosque y Matorral Esclerófilo, en el que predominan las especies leñosas, tales como el quillay (*Quillaja saponaria*), litre (*Lithraea caustica*), lingue (*Persea lingue*) y peumo (*Cryptocarya alba*) (Niemeyer et al., 2002). Se estima que en la Reservase pueden encontrar 600 especies de plantas, de las cuales el 40% son endémicas de Chile (Teillier et al., 2005). Dentro de las especies que se encuentran bajo amenaza de extinción, se pueden mencionar; el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Serm. & Bizzarri), el lingue, el peumo, el guayacán (*Porlieriachilensis* I.M. Johnst), la llareta (*Laretiaacaulis* (Cav.) Gillies & Hook.), quisquito (*Neoporteriacurvispina* (Bertero ex Colla) Donald & G.D. Rowley) y el helecho *Dennstaedtia glauca* (Cav.) C. Chr. ex Looser (Teillier et al., 2005).

2.1.3 Geología y suelos

En la Reserva se pueden encontrar distintos tipos de unidades geológicas: en la parte sur de la Reserva predomina la unidad geológica M3i, correspondiente a complejos volcánicos

parcialmente erosionados y secuencias volcánicas del mioceno inferior-medio; en la parte central de la Reserva predomina la unidad Mimg, correspondiente granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, monzonitas y dioritas de biotita y hornblenda; en menor medida se encuentra la unidad Q1 en la zona oeste-centro, correspondiente a depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; por último, en la zona norte de la reserva predomina la unidad geológica OM2c, correspondiente a secuencias volcanosedimentarias: lavas basálticas a decilicas, rocas epiclásticas y piroclásticas (SERNAGEOMIN, 2003).

Los suelos de la Reserva son en general delgados y poco profundos, de un máximo de 75cm de profundidad, formado a partir de roca volcánica, en donde el tipo de suelo muestra formaciones de la roca granítica, lo que hace que sean suelos altamente permeables de acuerdo a Rubio (1980) y Thiele (1980). Los suelos muestran generalmente una textura arenosa y colores claros, procedentes probablemente de la desintegración de roca granítica, esto significa suelos de estructura de grano simple, débiles y altamente erosionables (CONAF, 1996). La pendiente también es un factor que favorece los riesgos potenciales de erosión, puesto que fluctúa en general entre los 15° y los 30° de acuerdo a Lira (1983).

Según Lazo 1990, (citado por CONAF 1996) las clases de suelo corresponden principalmente a las clases VII y VIII, junto con un bajo porcentaje de suelo clase VI en las zonas planas de la Reserva.

En la zona pre-cordillerana en la que se encuentra la reserva, los suelos son representativos de la Asociación Challay, la que en una profundidad de 0 a 16 cm muestra clase textural franca, carbono orgánico de 1,79% y pH de 5,68 (Luzio et al., 2010). Se aprecia que estos suelos no son salinos, no son calcáreos y poseen bajo porcentaje de materia orgánica.

2.1.4 Ubicación espacial

En la Figura 3 se puede observar la ubicación de la Reserva en la zona central del país y la delimitación de la misma. El área de estudio se encuentra en la parte noroeste de la Reserva, entre la Quebrada Loma del Medio, Quebrada del Hospital y el Río Clarillo. Fue seleccionada de acuerdo a un análisis de pendiente y exposición, ambos realizados a través del Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Reserva. También se tomó como referencia la imagen satelital de la Reserva correspondiente al mes de abril del año 2013 para poder identificar, de manera preliminar mediante cobertura vegetal, los tres estados de degradación que se utilizaron.

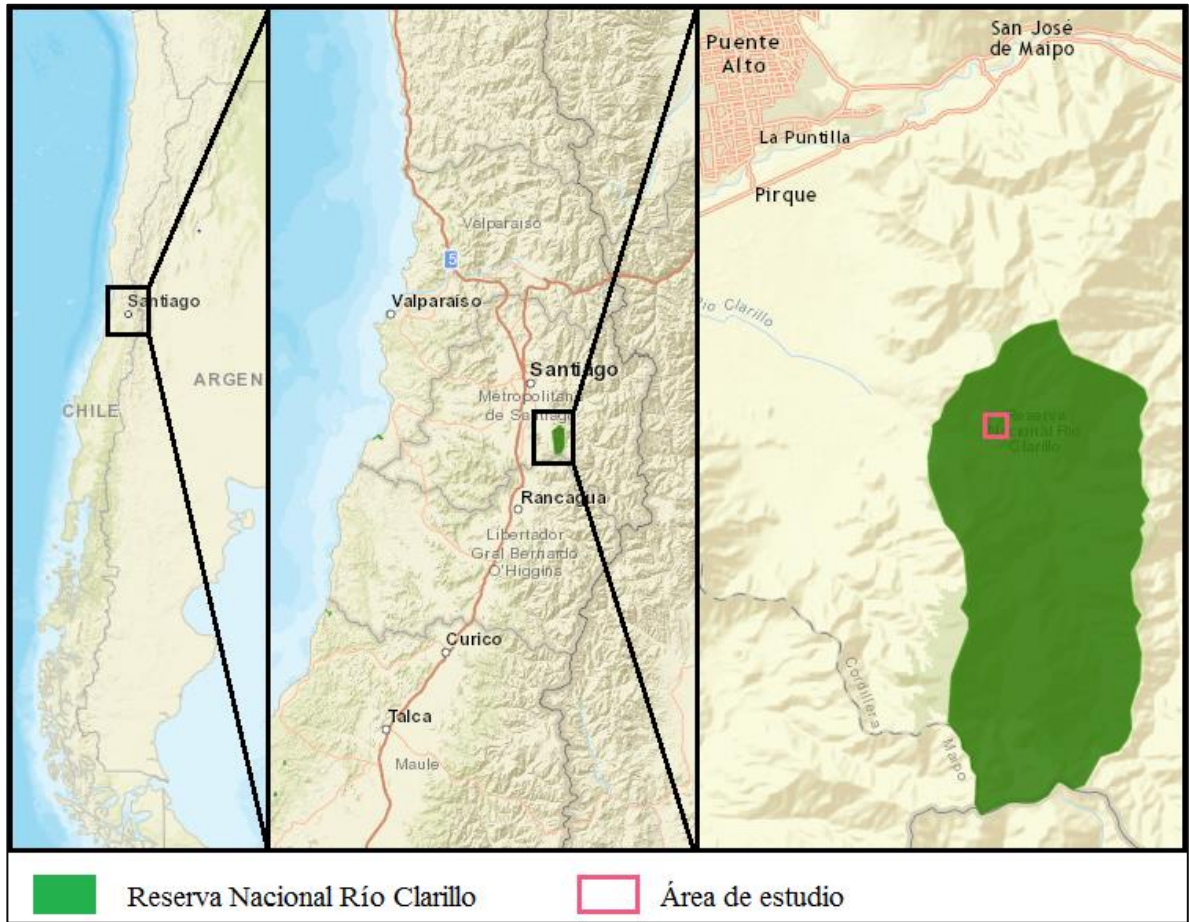


Figura3. Ubicación de la Reserva en la zona central del país.

En la Figura 4 se puede observar la delimitación del área de estudio. De izquierda a derecha se muestran la pendiente y exposición. Se escogió esta área puesto que su exposición es mayoritariamente norte (color rojo), seguido de noroeste (morado) y noreste (naranja), con una variación de pendiente desde el 0 al 5% (color verde oscuro a color verde claro). Por último, se puede observar la imagen satelital utilizada para seleccionar los puntos de muestreo de manera preliminar.

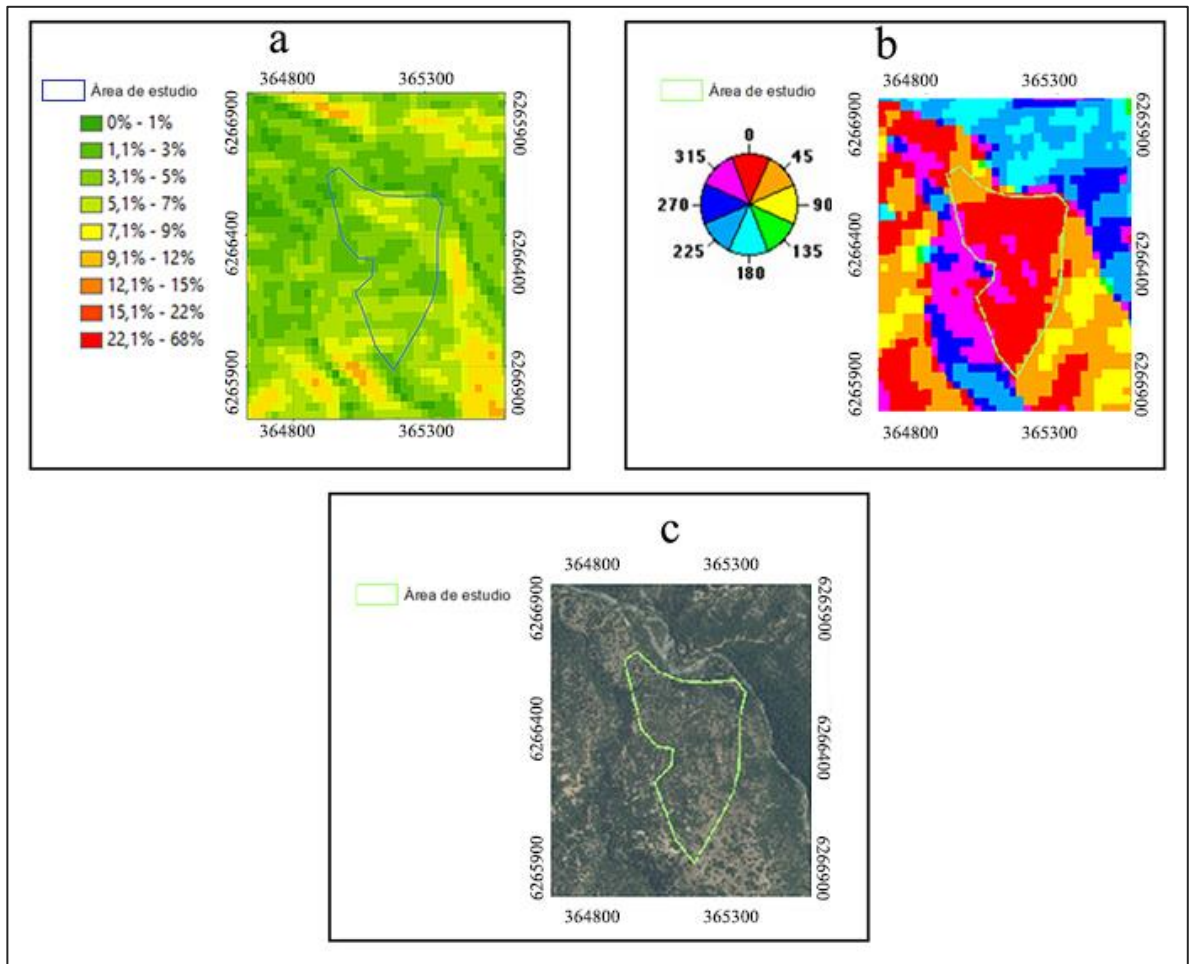


Figura 4. Pendiente (a, en %), exposición (b, en grados) e imagen satelital del área de estudio (c).

2.2 Selección de sitios según nivel de degradación

Dentro del área de estudio, se identificaron en forma aleatoria niveles o estados de degradación a partir del modelo hipotético de Whisenant, considerando sólo 3 estados de degradación en lugar de 5, siendo los Estado 1, 2 y 3 de Whisenant equivalentes a los Estados 1, 2 y 3 de degradación establecidos en este trabajo:

1. Estado 1: bien conservado, sitios en los que se puede apreciar alta diversidad de especies, presencia de especies leñosas y suelo con alto porcentaje de cubierta vegetal. Este estado será la imagen objetivo para la propuesta de restauración.
2. Estado 2: estado moderadamente degradado, sitios en los que se puede apreciar menor diversidad de especies, presencia mayoritaria de especies herbáceas y arbustivas, y superficie con mayor porcentaje de suelo desnudo.

3. Estado 3: estado altamente degradado, baja diversidad de especies y superficie de suelo mayoritariamente desnuda.

Se identificaron parcelas preliminares mediante la imagen satelital (Figura 4), seleccionando finalmente en terreno 15 parcelas de 30 m x 30 m: 5 parcelas para cada nivel de degradación dentro del área delimitada.

Las visitas a terreno se realizaron entre el 24 de septiembre y el 3 de octubre de 2014. En terreno se reclasificaron algunas parcelas de acuerdo a las condiciones presentes no apreciables desde imagen satelital, tales como cambios debido a la diferencia de estaciones entre la imagen y la visita en terreno, y la identificación de especies cuya cobertura vegetal en la imagen satelital fue clasificada como parcelas bien conservadas, bajando de categoría tras la visita en terreno.

Al centro de cada parcela se estableció un punto de muestreo desde el cual fueron realizadas las mediciones de las variables vegetacionales.

Como referencia para un mejor entendimiento sobre los estados de degradación identificados, en la Figura 5 se pueden observar imágenes del punto de muestreo B1 correspondiente al Estado 1 (A), del punto de muestreo R3 correspondiente al Estado 2 (B), y del punto de muestreo D5 correspondiente al Estado 3 (C).

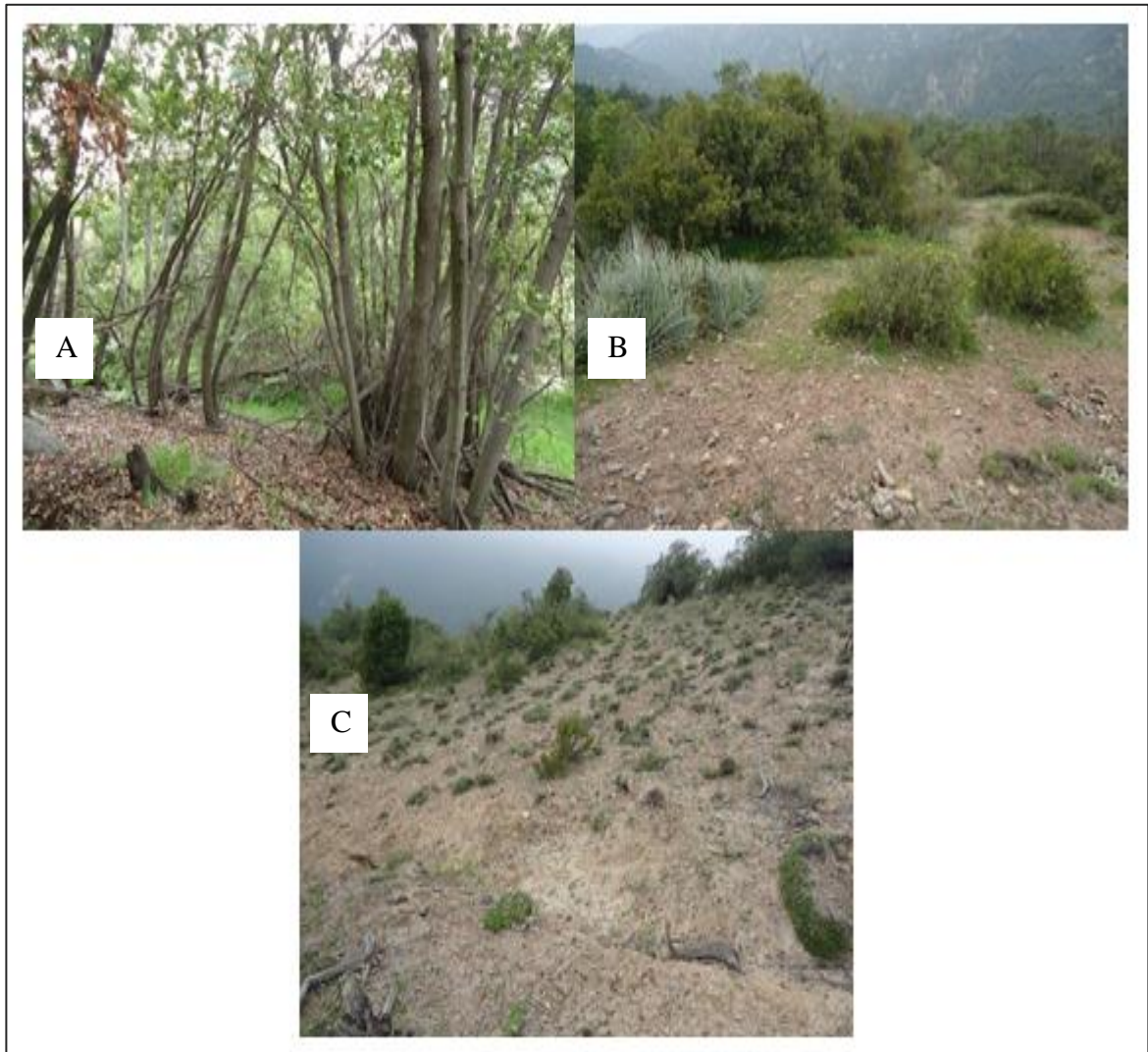


Figura5. Imágenes de los distintos niveles de degradación: Estado 1, degradación baja (A), Estado 2, degradación media (B), y Estado 3, degradación alta (C).

En el Apéndice I se pueden observar los puntos de muestreo con sus respectivos estados de degradación, coordenadas y pendiente. En la Figura 6 se muestra la ubicación espacial de los puntos de muestreo dentro del área de estudio.

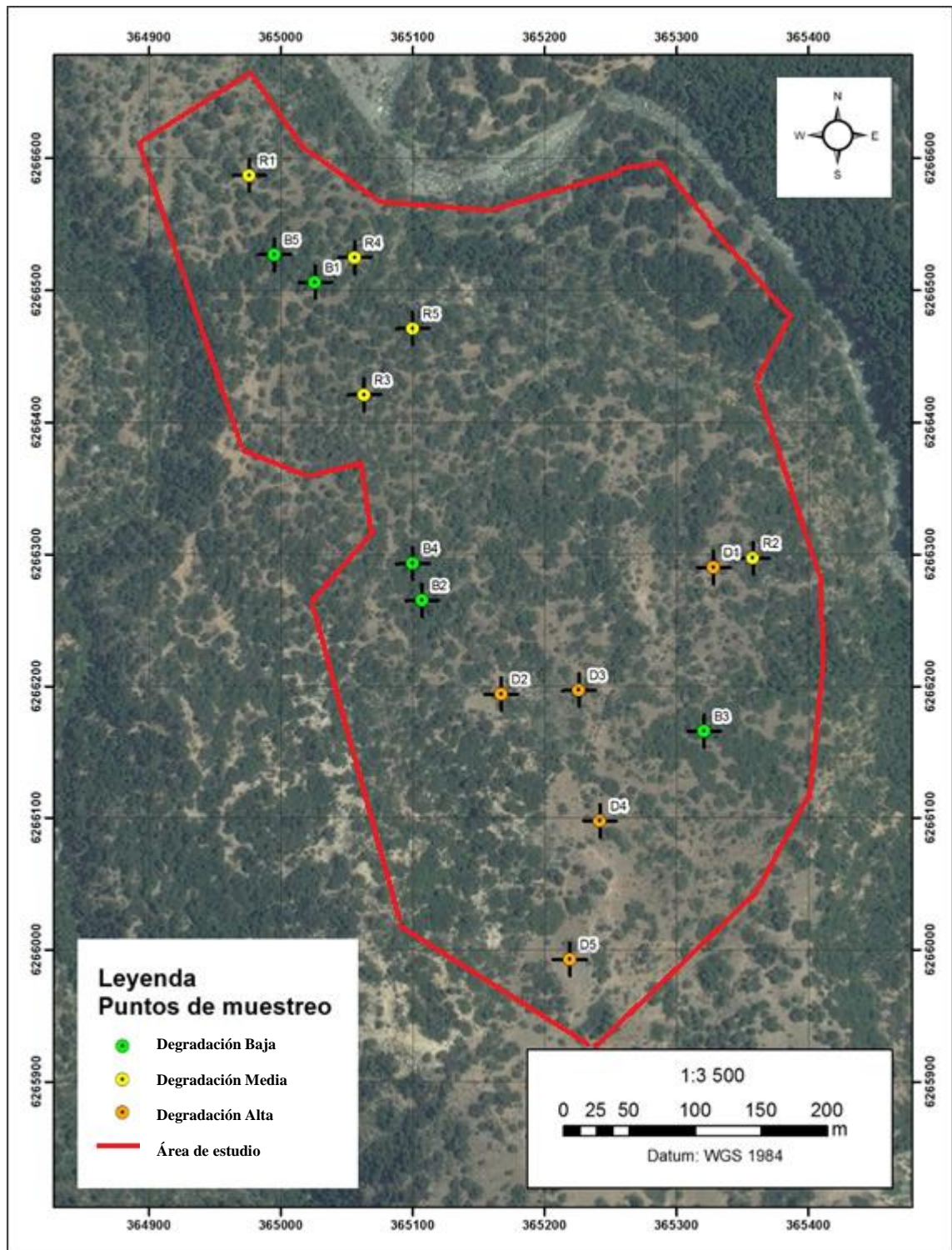


Figura6. Ubicación de los puntos de muestreo dentro del área de estudio y su estado de degradación.

2.3 Evaluación de variables de vegetación y suelo

Dentro de cada sector se realizaron transectos desde el punto central de muestreo en las direcciones norte, sur, este y oeste, de una longitud de 15 m cada uno. Las mediciones se realizaron cada 1 m de distancia sobre el transecto con una varilla graduada; de esta forma se registró la altura y espesor de la o las especies vegetales que estuvieran en contacto con la varilla, por lo que desde cada punto de muestreo se realizaron 60 mediciones. Para identificar las especies que no pudieron ser identificadas en terreno, se colectaron muestras en el caso de especies arbustivas y arbóreas e individuos completos para especies herbáceas, luego fueron prensadas y posteriormente identificadas con claves de identificación.

Para una mejor visualización de los resultados, se ordenaron los datos de especies encontradas en un gráfico que permite observar la diversidad y la tendencia de la abundancia de las especies a aumentar, mantenerse o disminuir entre estados, ordenado por el hábito de las especies (arbóreo, arbustivo o herbáceo) (Jaunatre et al., 2013).

Por último se contabilizaron las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas por estado, para añadirlas en el análisis estadístico y ver cómo varían entre estados.

Las variables de suelo, medidas a partir de las muestras recolectadas en terreno, entre los 0 y 10 cm de profundidad, fueron densidad aparente, cantidad de carbono orgánico y textura.

Para el análisis de densidad aparente se recolectaron en terreno 3 muestras de suelo no perturbadas en lugares aleatorios dentro de los 900 m² definidos por los extremos de los transectos de cada punto de muestreo. Dado que hubo 15 puntos de muestreo, se colectaron 45 muestras de suelo en total. Para esto se utilizaron cilindros de volumen de 100 cm³.

Las muestras recolectadas fueron analizadas en laboratorio utilizando el método del cilindro presentado por Sandoval et al. (2012). La muestra fue secada a 105° por 24 horas.

La densidad aparente se calculó con la siguiente fórmula:

$$D_a = M_s/V_t \quad [g/cm^3]$$

En donde M_s es la masa de suelo seco en g sin considerar el peso del cilindro, y V_t es el volumen de la muestra considerando los espacios porosos, es decir, el volumen del cilindro en cm³.

Para el análisis de materia orgánica se colectó una muestra compuesta dentro de los límites en cada punto de muestreo, desde la cual se utilizó una porción para el presente análisis. Se utilizó el método de pérdida por calcinación presentado por Sadzawka et al. (2006), el que consiste en comparar los pesos de las muestras secadas previamente a 105 °C ± 5 °C

durante 2 horas, y después de ser calcinadas a 360 °C por 16 horas, de este modo poder medir el contenido de materia orgánica perdida por calcinación.

El porcentaje de carbono orgánico se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida por calcinación (\%)} = \frac{a-b}{a-c} \times 100$$

En donde a corresponde a la masa en g del suelo seco más el recipiente, b corresponde a la masa en g del residuo del calcinación más el recipiente, y c corresponde a la masa en g del recipiente.

Para estimar el contenido de materia orgánica se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Materia orgánica (\%)} = \text{pérdida por calcinación (\%)} \times 0,8$$

La metodología para el análisis textural se detalla en Sandoval et al. (2012). Desde las muestras compuestas mencionadas en el análisis anterior se utilizaron 50g para el análisis. Se utilizó el método del hidrómetro (Bouyoucos), en donde la muestra es tamizada a <2mm y secada a 40±2°C, luego se deja una muestra como blanco y el resto se dispersa con hexametáfosfato de sodio, se enrasa a 1 L con agua destilada en una probeta y se mide la densidad con un hidrómetro después de 40 segundos y después de 7 horas de sedimentación; en paralelo se considera un blanco, sólo con dispersante. Con los resultados obtenidos se calcula la distribución de las partículas de arena, limo y arcilla de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$(\text{Limo} + \text{Arcilla})\% = \frac{[La_{40s} - ((20 - t_{a40s}) \times 0,35)] - [Lb_{40s} - (20 - t_{b40s}) \times 0,35]}{m \times (1 - 0,01 \times MO)} \times 100$$

Donde La_{40s} es la lectura de la densidad a los 40 s, Lb_{40s} es la lectura de la densidad del blanco a los 40s, t_{a40s} es la temperatura de la muestra a los 40 s, t_{b40s} es la temperatura del blanco a los 40 s, 0,35 es el factor de corrección por temperatura, m es la masa de la muestra corregida por su contenido de agua y MO es el contenido en % de materia orgánica calculada anteriormente. Los variables de densidad se muestran en g/L y de temperatura en °C.

$$\text{Arcilla}\% = \frac{[La_{7h} - ((20 - t_{a7h}) \times 0,35)] - [Lb_{7h} - (20 - t_{b7h}) \times 0,35]}{m \times (1 - 0,01 \times MO)} \times 100$$

Donde La_{7h} es la lectura de la densidad a las 7 h, Lb_{7h} es la lectura de la densidad del blanco a las 7 h, t_{a7h} es la temperatura de la muestra a las 7 h, t_{b7h} es la temperatura del

blanco a las 7 h, 0,35 es el factor de corrección por temperatura, m es la masa de la muestra corregida por su contenido de agua y MO es la cantidad en % de materia orgánica calculada anteriormente.

Con los porcentajes calculados se puede obtener el limo y la arena con las siguientes fórmulas:

$$\text{Limo\%} = (\text{limo} + \text{arcilla}) - (\text{arcilla})$$

$$\text{Arena\%} = 100 - (\text{limo} + \text{arcilla})$$

2.3.1 Análisis estadístico

Se promediaron las mediciones realizadas a nivel de parcela (en el caso de que existiera más de una medición por variable, aplicable en el caso de altura, fitovolumen y densidad aparente), dejando un solo dato para cada punto. Se utilizó el programa R 3.1.0 en la realización de las operaciones estadísticas (R Development Core Team, 2013), las cuales consistieron en un análisis de varianza (ANDEVA) para probar si existían diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, que en este caso corresponden al Estado 1, Estado 2 y Estado 3. Posteriormente se utilizó el test HSD de comparación múltiple de Tukey para determinar entre qué niveles se generaron estas diferencias. El análisis contempló las variables altura, fitovolumen, cantidad de especies herbáceas, arbustivas y leñosas, densidad aparente, contenido de arena, limo, arcilla y contenido de carbono orgánico.

2.3.2 Elaboración de la propuesta de restauración

Se evaluaron las acciones y medidas a proponer de acuerdo al análisis de los resultados. De este modo se determinaron qué medidas, activas y pasivas de restauración, eran las más adecuadas para cada estado. En el caso de los estados 2 y 3 se buscó asistir a los ecosistemas en su recuperación. Se buscó que el estado 3 se acercara en similitud de características de suelo y vegetación al estado 2, y que de la misma forma el estado 2 se acercara en similitud de características de suelo y vegetación al estado 1.

Para el estado 1 se buscó asistir a este ecosistema en una recuperación con medidas pasivas (exclusión del ganado) y medidas activas de siembra, con la finalidad de abarcar sectores sin cobertura. Se considera que sus funciones ecosistémicas, características de suelo y vegetación se encuentran en buenas condiciones, sin embargo, se buscó proteger este estado, de tal manera que pudiese sostenerse en el tiempo e incluso mejorar.

Se utilizó como referencia el documento Guía para la Restauración de los Ecosistemas Andinos de Santiago de Perez-Quezada y Bown (2015) para la elaboración de la presente propuesta.

3 RESULTADOS

3.1 Descripción de la vegetación

Los resultados de los análisis realizados se presentan en el Cuadro 1. A las variables medidas en terreno se agregaron las variables Especies arbóreas, arbustivas y herbáceas.

Para obtener más detalle sobre los resultados consultar Apéndice III de promedios de variables vegetacionales de cada punto de muestreo por estado, y Apéndice IV de promedio de densidad aparente, resultados de textura y contenido de carbono orgánico por punto de muestreo en cada estado.

Cuadro 1. Variables de vegetación y suelo en tres estados de degradación: promedio de los valores, el error estandar asociado, valor de P y sentido de esta degradación entre estados.

| Variables | Unidad | Estado de degradación | | | ANDEVA (P) | | Sentido degradación |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|------------|-----|---------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | | |
| <i>Suelo</i> | | | | | | | |
| Arcilla | % | 15,55 ± 1,243a | 16,028 ± 1,786a | 18,782 ± 3,231a | 0,57700 | ns | ↑ |
| Limo | % | 34,814 ± 1,271a | 32,281 ± 1,755a | 25,613 ± 1,17b | 0,001820 | ** | ↓ |
| Arena | % | 49,634 ± 2,114a | 51,509 ± 3,46a | 55,604 ± 4,36a | 0,477000 | ns | ↑ |
| Densidad aparente | gcm ⁻³ | 0,76 ± 0,091b | 1,14 ± 0,099a | 1,176 ± 0,073a | 0,010400 | * | ↑ |
| Materia orgánica | % | 6,372 ± 0,765a | 3,434 ± 0,298b | 2,432 ± 0,126b | 0,000290 | *** | ↓ |
| <i>Vegetación</i> | | | | | | | |
| Altura promedio | m | 1,444 ± 0,153a | 0,69 ± 0,033b | 0,319 ± 0,039c | 0,0000068 | *** | ↓ |
| Fitovolumen total | m ³ *m ⁻² | 0,045 ± 0,004a | 0,025 ± 0,003b | 0,015 ± 0,003b | 0,0002410 | *** | ↓ |
| Riqueza especies herbáceas | Unidad | 5,2 ± 1,463a | 7,8 ± 0,374a | 8,8 ± 1,281a | 0,1729000 | ns | ↑ |
| Riqueza especies arbustivas | Unidad | 4,0 ± 0,548a | 3,2 ± 0,374ab | 1,6 ± 0,509b | 0,0214200 | * | ↓ |
| Riqueza especies arbóreas | Unidad | 4,6 ± 1,122a | 2,8 ± 0,200ab | 1,4 ± 0,244b | 0,0038200 | ** | ↓ |

*Las variables de riqueza de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas fueron evaluadas mediante la prueba de Kruskal Wallis.

Se puede observar que las variables de suelo, limo y MO tienden a disminuir a medida que aumenta el nivel de degradación, a diferencia de las variables arcilla, arena y densidad aparente, que aumentan junto con el nivel de degradación, pero no de manera significativa.

Las variables de vegetación altura, fitovolumen, riqueza de especies arbustivas y riqueza especies arbóreas muestran una tendencia a disminuir a medida que aumenta el nivel de degradación. La disminución de altura y fitovolumen se encuentra directamente relacionada con la disminución de especies arbustivas y arbóreas, puesto que estas especies son las que presentan mayor altura y espesor de la vegetación. La riqueza de especies herbáceas aumenta junto con el nivel de degradación.

Las variables de porcentaje de arcilla, arena y riqueza de especies herbáceas no presentan diferencias significativas entre estados de degradación. Para las variables de suelo esto puede estar relacionado con el material parental de suelo de la Reserva, el que es independiente del nivel de degradación, sin embargo, la variable limo muestra diferencias significativas, que al ser una partícula de menos cohesión y de fácil transporte, es probable que su tendencia a disminuir represente signos de erosión. Las variables densidad aparente, carbono orgánico, altura promedio, fitovolumen total, especies arbustivas y especies arbóreas presentaron diferencias significativas entre estados.

Se pudieron observar entre qué estados (tratamientos) las variables presentaron diferencias significativas. La variable altura fue la única variable de las mencionadas anteriormente que mostró diferencias significativas entre los 3 estados. Las variables especies herbáceas y especies arbustivas mostraron diferencias significativas entre el Estado 1 y el Estado 3.

Para apreciar de mejor manera estos resultados, se elaboraron diagramas de cajas en base a los datos presentados en el Cuadro 1 para las variables altura, riqueza de especies arbóreas y riqueza de especies arbustivas. En ellos se presentan la mediana, primer cuartil, segundo cuartil, valor mínimo, valor máximo y valores atípicos de los datos de acuerdo a su estado. También se elaboraron gráficos de barra para observar la distribución de frecuencia

En la Figura 7 se puede observar la tendencia del diagrama de la variable altura a ordenarse de manera descendente a medida que aumenta la degradación. Presenta un valor atípico.

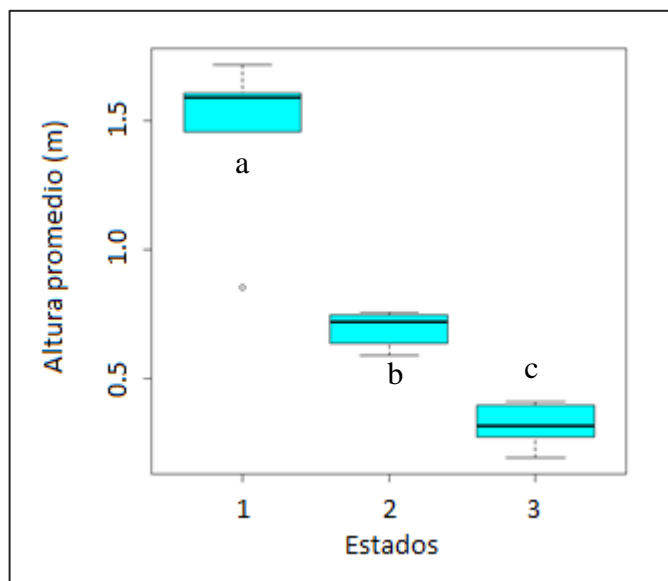


Figura 7. Diagramas de caja de la variable altura por estado de degradación.

En la Figura 8 se pueden observar las tendencias de los diagramas para las variables riqueza de especies arbóreas y arbustivas a ordenarse de manera descendente a medida de que aumenta la degradación. Se presentan valores atípicos en ambos diagramas.

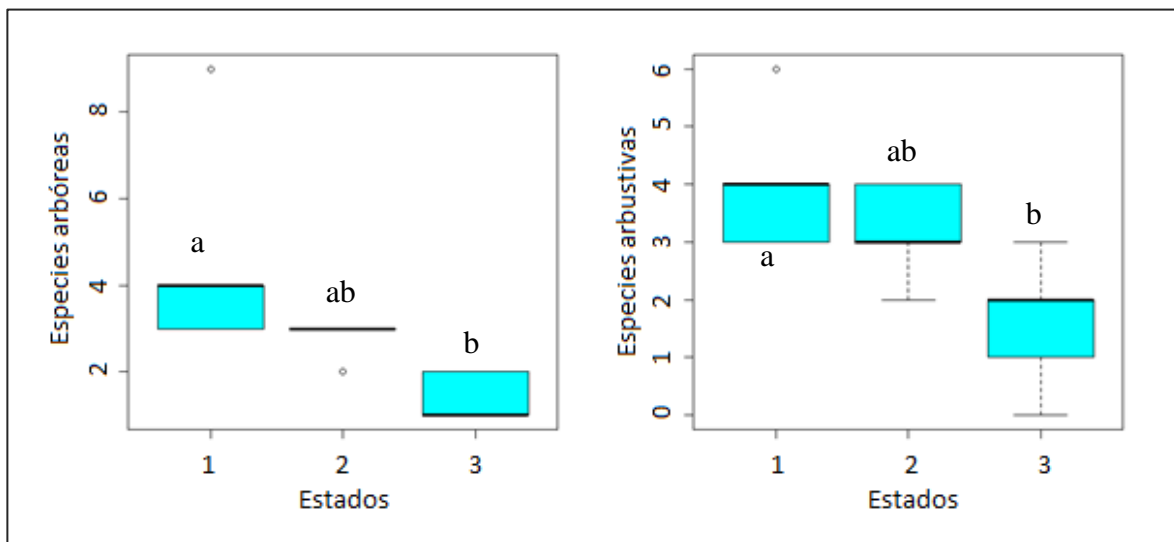


Figura 8. Diagramas de caja de variables Especies arbóreas y Especies arbustivas estado de degradación.

Las variables altura, riqueza de especies arbóreas y riqueza de especies arbustivas fueron escogidas como las principales para guiar la propuesta de restauración, puesto que la

primera presentó diferencias significativas entre los 3 estados y las restantes presentaron diferencias significativas entre los estados 1 y 3.

Los resultados de las variables de suelo: limo, densidad aparente y carbono orgánico no presentaron diferencias significativas entre los 3 estados, sin embargo fueron utilizados como una guía para determinar la tendencia de estas variables entre estados de degradación, y de este modo ayudar en la elección de acciones a realizar para reducir la degradación y potenciar la restauración de las parcelas seleccionadas.

En la Figura 9 se presentan los gráficos de Jaunatre para cada estado de degradación. En total se identificaron 47 especies dentro de los tres estados de degradación, siendo 9 especies arbóreas, 10 arbustivas y 28 herbáceas.

Se observa una tendencia de las especies arbóreas a disminuir en abundancia a medida de que aumenta el nivel de degradación, en donde la especie *Cryptocaria alba* se encuentra ausente en el estado 3. Las especies *Lithraea caustica* y *Quillaja saponaria* muestran una tendencia a disminuir, sin embargo, hubo registros de estas especies en el estado 3.

En general las especies arbustivas muestran una tendencia a disminuir en abundancia a medida de que aumenta el nivel de degradación, sin embargo, se destaca la especie *Colliguaja odorifera* Molina, la que aumenta su abundancia en los estados 2 y 3. También hay especies que no siguen una tendencia clara, como *Baccharis rhomboidalis* J. Rémy y *Baccharis linearis* (Ruiz & Pav.) Pers.

Para las especies herbáceas se identifica una leve tendencia a aumentar en su diversidad hacía el Estado 3. También se puede apreciar que hay especies que sólo existen en un estado de degradación. La especie *Solenomelus pedunculatus* (Gillies ex Hook.) Hochr y *Carex setifolia* Kunze ex Kunth son las especies que muestran una presencia transversal entre estados.

Para mayor detalle sobre las especies identificadas en el área de estudio consultar Apéndice II de lista de vegetación identificada.

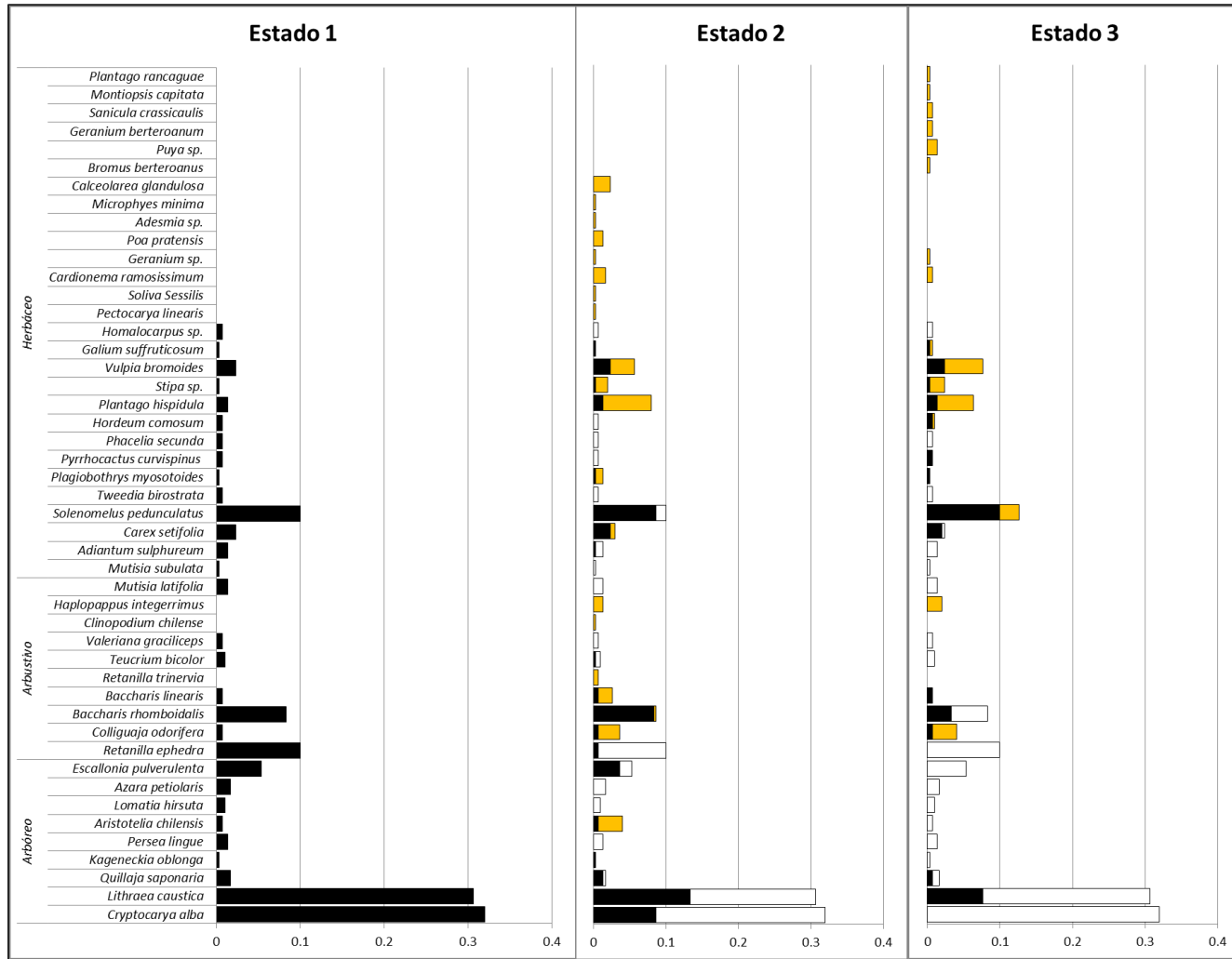


Figura 9. Gráficos de Jaunatre representando la diversidad de especies y abundancia en cada estado de degradación. Se representa la disminución (barras blancas) y aumento (barras amarillas) de la abundancia de especies de los Estados 2 y 3 en comparación al Estado 1.

3.2 Descripción de suelo

No se observó una tendencia clara al analizar los resultados de los puntos de muestreo de un mismo estado de degradación, sin embargo, al analizar todos los resultados en conjunto, los 3 estados de degradación, se puede apreciar una tendencia entre ellos. Esto se puede observar en la Figura 10, donde se pudo establecer una relación entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica.

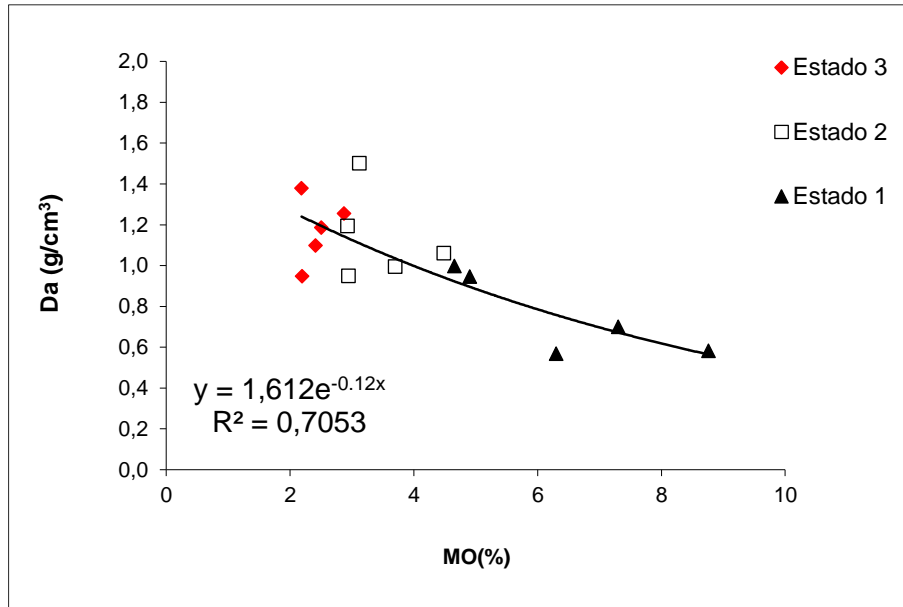


Figura 10. Relación entre la densidad aparente (Da) y el contenido de materia orgánica (MO) en los primeros 10 cm de suelo considerando los distintos estados de degradación.

Se agregó una línea de tendencia exponencial con coeficiente de determinación 0,7053 e intercepto 1,612. A medida de que aumenta el contenido de materia orgánica, disminuye la densidad aparente hasta estabilizarse en valores cercanos a 0,6 g/cm³.

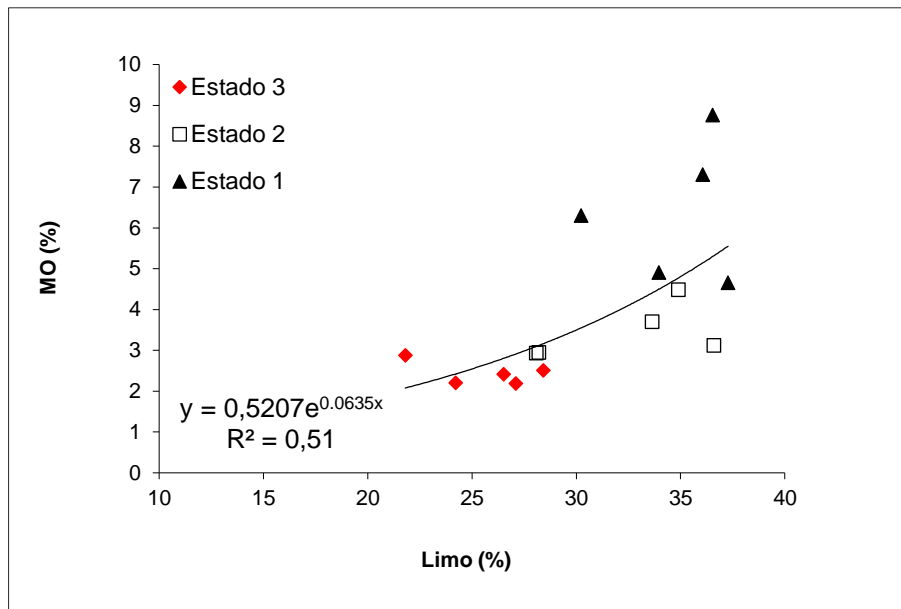


Figura 11. Relación entre la proporción de limo y el contenido de materia orgánica en los primeros 10 cm de suelo considerando los distintos estados de degradación.

También se reconoció una relación entre el porcentaje de limo y el porcentaje de contenido de materia orgánica, como muestra la Figura 11. La línea de tendencia indica una función exponencial, con un coeficiente de correlación 0,51 e intercepto en 0 de 0,5207. A medida de que aumenta la cantidad de limo, aumenta el contenido de materia orgánica.

Una posible explicación es que en suelos arcillosos o limosos, por su composición granulométrica, se favorece la formación de complejos órgano-minerales y se presentan condiciones de aireación que no favorecen la mineralización de la materia orgánica (Fassbender, 1987).

Para el análisis textural de suelo se construyó el gráfico que muestra la Figura 12, en donde se pueden ubicar, de acuerdo a las proporciones de limo, arena y arcilla, la clase textural del suelo. La textura de las muestras recogidas del Estado 1 y Estado 2 corresponden a Franco y Franco arenosa, y las muestras del Estado 3 a Franco arcillo arenosa y Franco arenosa. Se puede observar que a medida que aumenta el nivel de degradación, las muestras se alejan de la textura franca. Se observa también una mayor presencia de arena con respecto a los porcentajes de limo y arcilla.

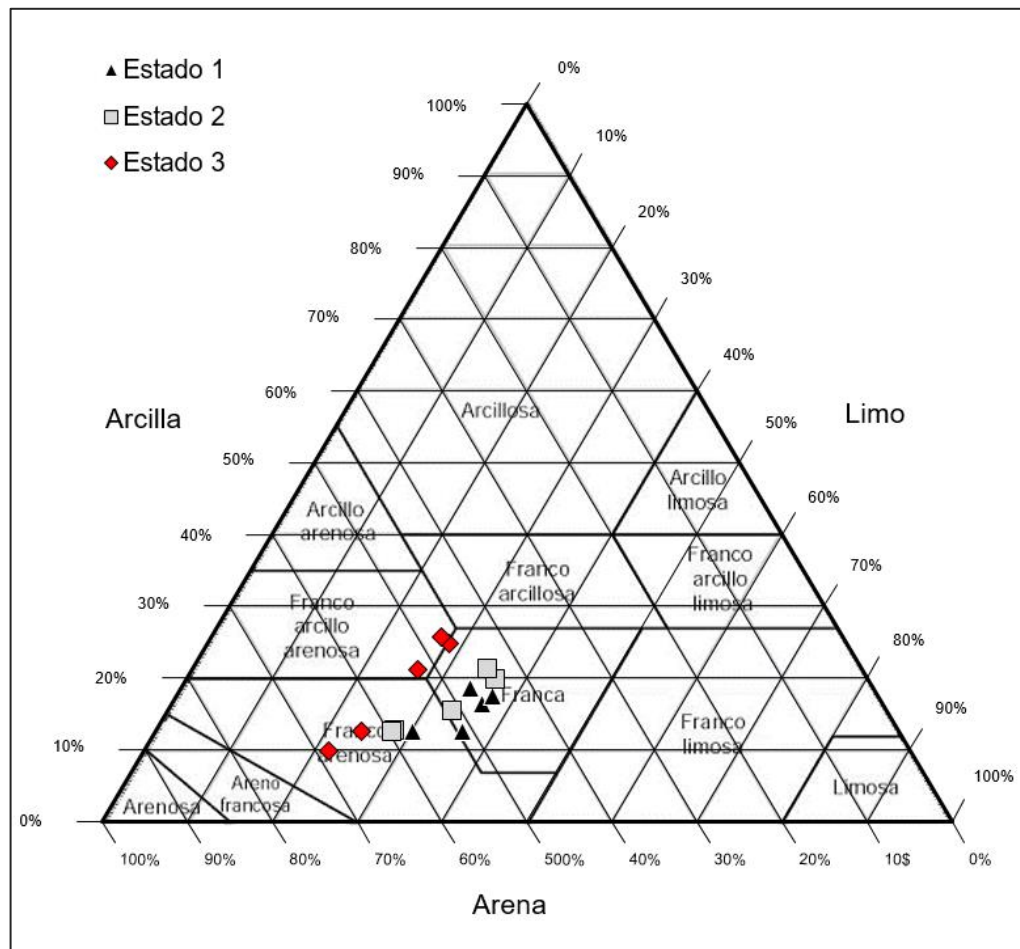


Figura 12. Diagrama de textura de suelo de los puntos de muestreo por estado de degradación, correspondiente a las texturas franca, franco arenosa y franco arcillo arenosa.

3.3 Propuesta de restauración

3.3.1 Análisis

De acuerdo a la bibliografía consultada y lo observado en terreno, los principales factores de alteración y degradación históricos han sido la deforestación, agricultura, ocurrencia de incendios, y en menor medida la ganadería. En la actualidad continúa la presencia de ganado bovino dentro de la Reserva, encontrándose heces de estos animales en el área de estudio.

De acuerdo a la ley Ley N°18.362, Río Clarillo se encuentra denominado como Reserva Nacional, es decir “un área cuyos recursos naturales es necesario conservar y utilizar con especial cuidado, por la susceptibilidad de éstos a sufrir degradación o por su importancia relevante en el resguardo del bienestar de la comunidad”. De acuerdo a esta definición, se puede hacer uso de los recursos de la Reserva cuidando que los ecosistemas no se vean degradados. El uso que tiene mayor impacto sobre el área de estudio es la de talaje por parte de ganado y caballos. De acuerdo al plan de manejo de la Reserva, se permite un ingreso máximo de 225 de estos animales, los que deben estar sujetos a un plan de manejo anual (CONAF, 1996). Esto se suscribe mediante un convenio anual en el cual se establecen el número de animales y el monto a pagar, en donde se da preferencia a arrieros miembros de la comunidad El Principal y/o grupos familiares de escasos recursos de la zona (CONAF, 1996).

En el contexto ecológico, la Reserva muestra evidencias de las perturbaciones que la han afectado durante la historia. El paisaje del área de estudio se percibe como un conjunto de parches con distintos niveles de degradación.

De las parcelas que conforman el Estado 1 se puede afirmar que su promedio de altura se atribuye principalmente a las especies arbóreas y arbustivas presentes, y que muestran condiciones de suelo favorables para la mantención de las funciones ecosistémicas actuales.

En el Estado 2 existe un aumento de las especies herbáceas y disminución de las especies arbóreas y arbustivas, la altura disminuye en aproximadamente un 52% en comparación al primer estado. La textura es similar a la presente en los suelos del Estado 1, sin embargo, con mayor densidad aparente y menor contenido de materia orgánica.

Por último, el Estado 3 presenta disminución de especies arbóreas y arbustivas, mientras que las especies herbáceas aumentan levemente hacia el estado de mayor degradación. Esto se encuentra directamente relacionado con la disminución de la altura en un 78% aproximadamente en comparación al Estado 1. Se observa un aumento de la densidad aparente y disminución del contenido de materia orgánica y limo.

Se identificaron diversos factores críticos que fueron tomados en cuenta para la elaboración de la propuesta:

- a) El déficit hídrico es un factor importante puesto que en la zona de estudio existe una estación seca prolongada (desde noviembre a mayo aproximadamente) y una época de concentración de precipitaciones (junio a septiembre aproximadamente, ver Anexo I), las que deben ser consideradas para las medidas de recuperación y restauración de vegetación y suelo.
- b) Existe herbivoría por parte de los bovinos y equinos presentes en el área de estudio, por lo que se deben tomar medidas para impedir su ingreso al área a restaurar.
- c) La erosión es un factor que se manifiesta principalmente en el Estado 3, el que presenta formación de cárcavas por pérdida de suelo debido a la falta de protección vegetativa, por lo que se deben tomar medidas para prevenir nuevas formaciones en el Estado 2 y medidas para la recuperación de suelo en el Estado 3.

Cabe mencionar que las especies invasoras no se consideran como un factor relevante para el desarrollo de este plan de restauración, puesto que de un total de 50 especies identificadas, solo 3 corresponden a especies adventicias. Esto considerando sólo la zona de estudio, puesto que en otras áreas de la reserva existen grandes problemas de invasiones como por ejemplo con zarzamoras y álamos (CONAF, 2015).

En el contexto legal e institucional, la Política y Estrategia Nacional para la Restauración Ecológica del SNASPE ofrece tres fuentes principales de financiamiento para acciones de restauración:

- i. Financiamiento operacional regular anual de las unidades del SNASPE. CONAF debe disponer de fondos anuales para unidades dañadas, mediante asignación directa o fondos concursables.
- ii. Mediante proyectos formulados a fuentes externas. Se refiere a fuentes nacionales o internacionales en conjunto con otras entidades públicas o privadas. CONAF puede no ser el receptor de los fondos.
- iii. Mediante compensaciones o mitigaciones de terceros.

Esta propuesta de restauración requiere de la colaboración de las partes involucradas directamente con el territorio, en este caso, CONAF y la comunidad responsable del ganado bovino presente dentro de la Reserva. Se deberán respetar acuerdos actuales entre estas partes con respecto al uso de la Reserva para el talaje, restringiendo el acceso al área a restaurar.

3.3.2 Síntesis

Analizando el modelo hipotético de degradación (Figura 1), se aprecia que el nivel de degradación 1, coincidente con el Estado 1 de este trabajo, no se encuentra limitado por umbrales bióticos o abióticos que impliquen manipulación de la vegetación o el

medioambiente físico, por lo que las medidas serán en su mayoría pasivas. Para el caso del nivel de degradación 2, coincidente con el Estado 2, se requiere manipulación de la vegetación debido al umbral de transición controlado por interacciones bióticas, por lo que las acciones propuestas serán enfocadas a acciones activas y pasivas enfocadas al establecimiento de individuos vegetales. Por último, el nivel de degradación 3, coincidente con el Estado 3, requiere de modificaciones del medioambiente físico puesto que se debe superar el umbral controlado por limitaciones abióticas, por lo que las acciones propuestas serán en su mayoría activas.

Comparando los resultados de suelo entre los tres estados, se puede apreciar que la variable contenido de materia orgánica y densidad aparente no son significativamente diferentes entre el Estado 2 y 3, pero sí entre estos dos estados y el Estado 1. Se puede inferir que los suelos del Estado 1 se encuentran menos compactados que los suelos del estado 2 y 3, permitiendo una mayor permeabilidad y absorción de agua, además de presentar mayor contenido de materia orgánica. Se requieren acciones que permitan disminuir la compactación en las parcelas del Estado 3, es por esto que se propone trabajar el suelo en donde se plantarán los individuos con la ayuda de palas y azadones, en la época de las primeras lluvias de otoño.

Con respecto a la vegetación, se propone utilizar una estrategia de reintroducción activa, haciendo uso de semillas y plantas para recuperar la cubierta vegetal. Se escogieron especies leñosas de acuerdo a la Figura 2 de sucesión de bosque esclerófilo, a la Figura 9 de representación de abundancia de los individuos y riqueza de especies según estado, y de acuerdo a información bibliográfica. Las especies escogidas fueron: *Baccharis linearis*, *Baccharis rhomboidalis*, *Lithraea caustica* y *Quillaja saponaria*.

Las especies *Lithraea caustica* y *Quillaja saponaria* fueron elegidas como especie objetivo dado que disminuyeron a medida que aumentó el nivel de degradación, de acuerdo a lo que se puede ver en la Figura 9. *Lithraea caustica* disminuye su número de individuos en el Estado 2, manteniendo una presencia moderada. La presencia de *Quillaja saponaria* fue similar en los 3 estados, a diferencia del resto de especies arbóreas identificadas, por lo que se considera que responde de mejor manera en distintos estados de degradación. Ambas especies se encuentran también en la Figura 2 como especies de sucesión media.

Las especies *Baccharis linearis* y *Baccharis rhomboidalis* fueron escogidas debido a que aumentaron su presencia en el estado 2 y disminuyen en el estado 3, sin desaparecer, además son consideradas especies colonizadoras de acuerdo a la Figura 2.

De acuerdo al estudio de Martínez y Fuentes (1993) *Baccharis linearis* es una especie pionera que puede ver limitada su colonización por la presencia de una cubierta vegetal, por lo que fue escogida para los suelos desnudos del Estado 3.

Se debe considerar la protección de los individuos plantados y de los puntos de siembra mediante el uso de protecciones elaboradas con cilindros de malla de polietileno, que cubran

el área completa de siembra y que envuelva los individuos plantados, con el objetivo de que no sean depredados por animales menores

3.3.2.1 Monitoreo y evaluación

En un comienzo se deben monitorear los individuos plantados y los puntos de siembra cada dos semanas para registrar germinación de individuos. También se debe revisar el estado del cercado del área y las mallas para asegurar que el ganado se mantenga fuera del área y que la fauna menor no puede ingresar a las protecciones. En el documento de CONAF (2010) se propone realizar un monitoreo mensual superficial para revisar el estado de los individuos y que no haya depredación. Posterior a eso se recomienda un monitoreo más profundo dos veces al año, luego al segundo, tercer, quinto y décimo año.

Paralelamente se deben monitorear las parcelas intervenidas mediante registro fotográfico en las direcciones norte, sur, este y oeste desde el punto de muestreo de cada parcela. De esta manera se podrá evaluar el estado de la degradación. Se propone tomar un registro anual para evaluar la evolución de la vegetación, considerando el crecimiento de individuos sembrados y plantados.

Se espera que esta propuesta de restauración se mantenga sin cambios significativos durante el periodo de tiempo que le tome a los Estados 2 y 3 mejorar sus condiciones. De acuerdo a Perez-Quezada y Bown (2015), el horizonte total de un plan de restauración puede estar entre los 50 años y 100 años, es por esto que se considera que luego de 20 años de iniciado el plan de restauración se evalúen los progresos de la propuesta de restauración mediante el uso de indicadores, como por ejemplo, cobertura.

3.3.3 Programa de actividades

La estrategia de germinación de semillas se considera para todas las parcelas de los estados 1 y 2, a realizarse en la época de otoño con un tipo de siembra manual. Se propone descompactar zonas de suelo desnudo con la ayuda de herramientas (pala, chuzo) y recubrir con una capa de 2 cm de espesor un espacio de 20 x 20 cm^2 con compost. Dentro de esa capa sembrar las semillas de *Quillaja saponaria* para el Estado 1 y de *Baccharis rhomboidalis* para el Estado 2. Para el Estado 1 utilizar este método en 20 sitios/ha. de suelo desnudo, en el Estado 2 utilizar este método en 30 sitios/ha de suelo desnudo. Recordar que para evitar que las semillas sean depredadas por animales menores, éstas se deben proteger con las protecciones mencionadas anteriormente.

La estrategia de plantación para los estados 2 y 3 considera realizar los trabajos posteriores a las primeras lluvias de otoño. Se propone plantar individuos en zonas de suelo desnudo de 15 cm de alto de las especies *Lithraea caustica* y *Quillaja saponaria* en el Estado 2, 200

individuos/ha. en total, e individuos de la especie *Baccharis rhomboidalis* en el estado 3, 200 individuos/ha. Volver a plantar 50 individuos/ha. en total de *Lithraea caustica* y *Quillaja saponaria* el segundo año y 50 individuos/ha. de *Baccharis rhomboidalis*, para el tercer año 10 individuos/ha. en total en el Estado 2 y 10 individuos/ha. de *Baccharis rhomboidalis* en el Estado 3. En todas las casillas de plantación se agregará compost para aumentar el contenido de materia orgánica en los suelos y ayudar a los individuos en la germinación de semillas y establecimiento de plantas.

Para el Estado 3 se construirán barreras vivas utilizando la especie *Baccharis linearis*, con una estrategia de plantación similar a la mencionada anteriormente. Las barreras vivas consisten en hileras de árboles o arbustos que buscan disminuir la velocidad de la escorrentía superficial y la pérdida de suelo (Carrasco y Vergara, 2002). Su plantación debe ser en hilera de manera perpendicular a la dirección de la escorrentía superficial separados a una distancia que permita retener el material removido por las lluvias. Castañeda y Carrasco (1999) recomiendan, para una pendiente de 25%, valor cercano a los observados en parcelas del Estado 3, ubicar las barreras vivas a 12 m de distancia entre sí.

En la Figura 13 se presenta una esquematización digital de la disposición de la barrera viva a modo de ejemplo en una de las parcelas del Estado 3.



Figura 13. Ejemplo de disposición espacial de la barrera viva en montaje fotográfico.

En la Figura 14 se muestran las actividades de restauración homologadas con el tipo de acciones propuestas en el modelo hipotético de Whisenant de acuerdo a los estados de degradación.

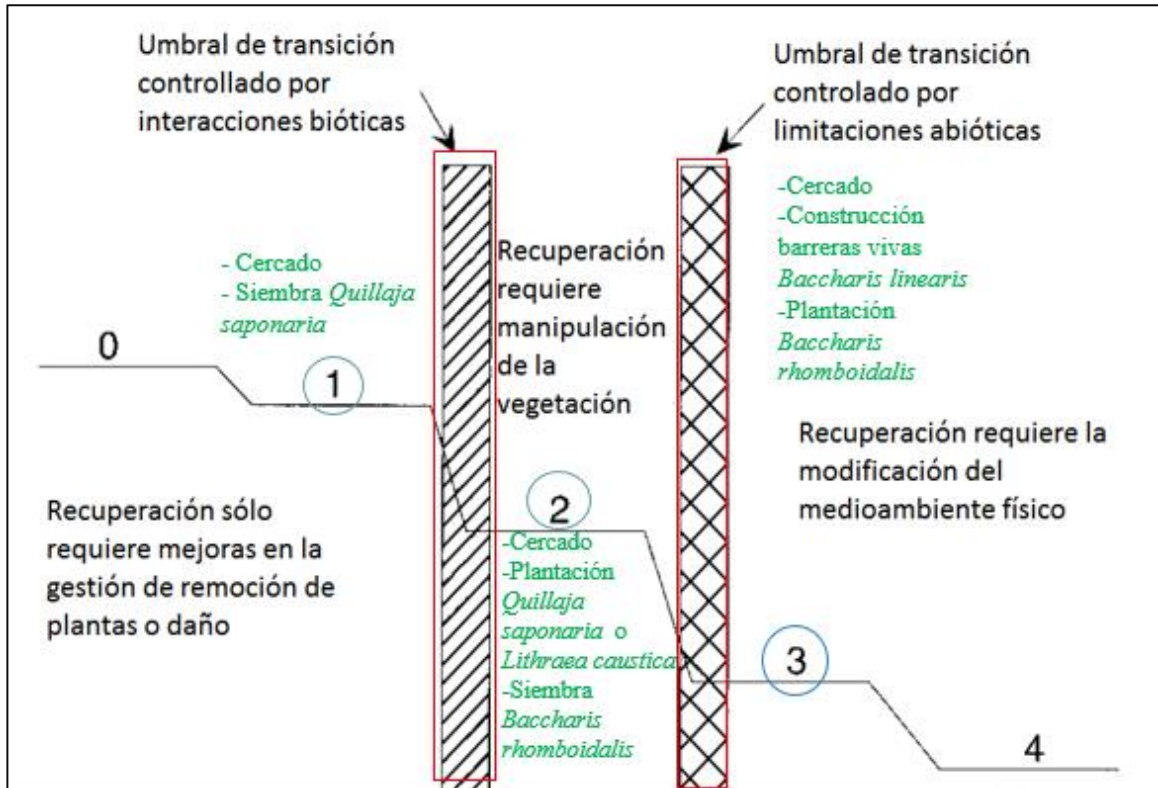


Figura 14. Actividades de restauración de acuerdo al estado de degradación caracterizado, Estado 1, Estado 2 y Estado 3.

En la Figura 15 se presentan de manera espacial las actividades si se realizaran en el área de estudio, tomando como ejemplo las parcelas seleccionadas, especificando época de realización y especies vegetales.

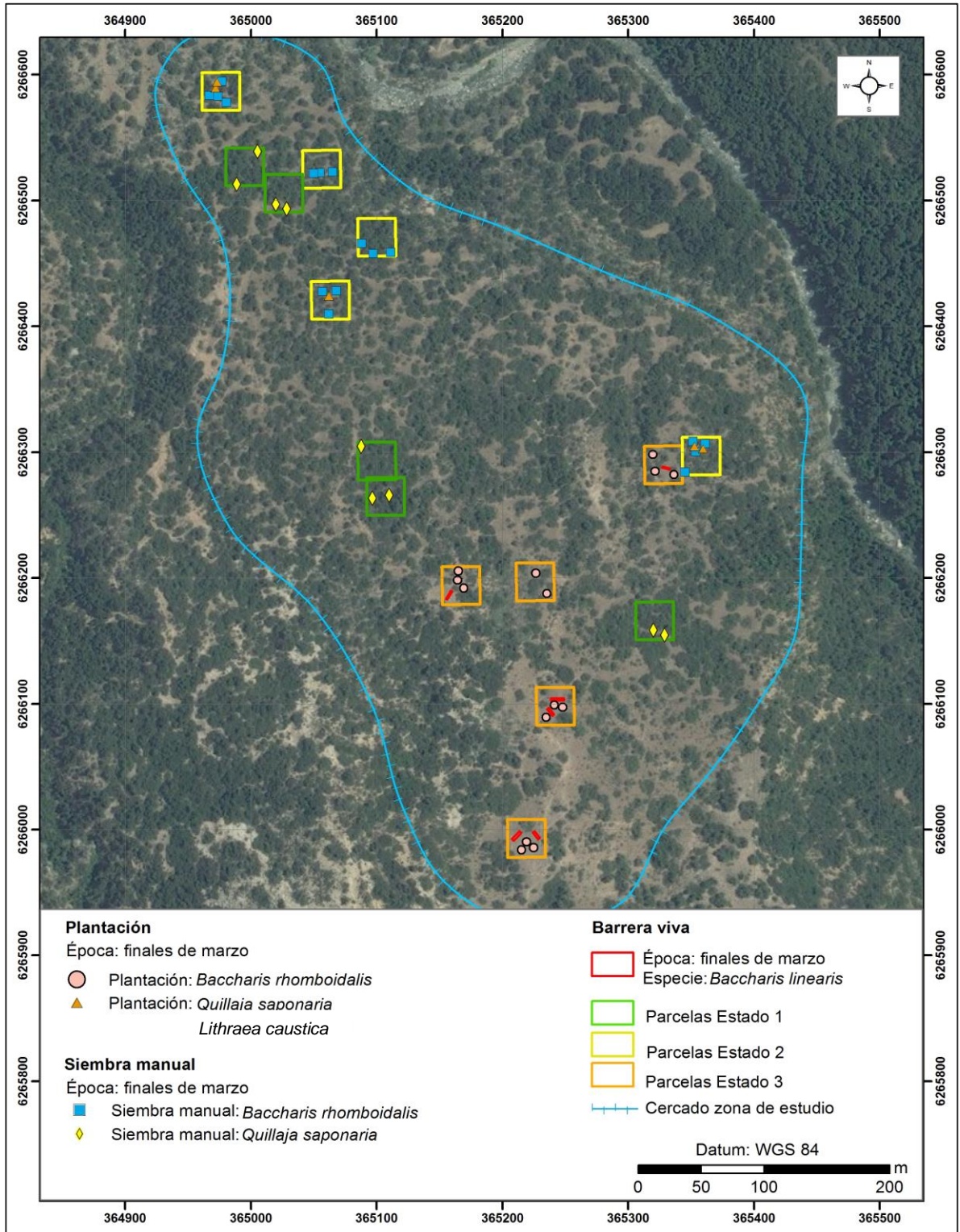


Figura 15. Ubicación espacial de las actividades de restauración propuestas, sus épocas de realización y especies vegetales propuestas.

3.3.4 Análisis económico

3.3.4.1 Costos En el Cuadro 10 se presentan los costos aproximados en el mercado nacional en Unidades de Fomento (UF) por hectárea de los materiales necesarios para la elaboración de la propuesta por hectárea y mano de obra.

Cuadro 10. Costos de materiales a utilizar para llevar a cabo la propuesta del plan de restauración.

| Materiales | Costo Estado 1 (UF/ha) | Costo Estado 2 (UF/ha) | Costo Estado 3 (UF/ha) |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Materiales construcción | | | |
| Insumos (herramientas) | 5,2 | 5,2 | 5,2 |
| Protecciones | 3,0 | 8,0 | 14,0 |
| Cercado | 11,5 | 11,5 | 11,5 |
| Plantación inicial | 1,0 | 6,3 | 170,0 |
| Trabajos Plantación segundo año | 0,0 | 0,3 | 0,2 |
| Trabajos Plantación tercer año | 0,0 | 0,2 | 0,1 |
| Materiales reparaciones | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| Mano de Obra | | | |
| Cercado | 4,6 | 4,6 | 4,6 |
| Plantaciones | 4,6 | 45,0 | 118,8 |
| Monitoreos | 54,7 | 54,7 | 54,7 |
| Total | 92,6 | 143,8 | 387,1 |

El costo total de implementación y seguimiento del plan de restauración para el Estado 1 es de 92,6 UF/ha, para el Estado 2 es de 143,8 UF/ha. y para el Estado 3 es de 387.1 UF/ha. El rango de valores presentado se considera aceptable puesto que se encuentra dentro del rango de costos potenciales de restauración, los cuales van desde las 27 hasta las 892 UF/ha (Perez-Quezada y Bown, 2015).

3.3.4.2 Beneficio y externalidades Los servicios ecosistémicos y funciones ecosistémicas que se logran recuperar gracias a la implementación de un plan de restauración son considerados beneficios de la restauración (Perez-Quezada y Bown, 2015).

Se puede utilizar la clasificación de Constanza et al. (1987) de servicios y funciones ecosistémicas (ver Anexo II) aplicado al presente plan de restauración. Los servicios y funciones que se verían potenciados y/o restablecidos se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Beneficios de la implementación del plan de restauración, traducido en servicios y funciones ecosistémicas.

| Servicios ecosistémicos | Funciones ecosistémicas |
|--|---|
| Oferta de agua | Almacenamiento y retención de agua |
| Control de erosión y retención de sedimentos | Retención de los suelos en el ecosistema |
| Formación de suelo | Procesos de formación de suelos |
| Ciclaje de nutrientes | Almacenamiento, ciclaje interno, transformación y adquisición de nutrientes |
| Polinización | Movimiento de gametos florales |

Con respecto a las externalidades, en vista de que el área del proyecto se encontrará cercada, impidiendo el pastoreo de los animales, es posible que el ganado ejerza presión en otras áreas, aumentando los niveles de degradación en zonas no consideradas por el proyecto.

4 DISCUSIÓN

La región del matorral y bosque esclerófilo ha sido estudiada con fines de conservación y restauración en la Región Metropolitana por otros autores, representando diferencias y concordancias con el presente trabajo.

El estudio realizado por Díaz (2015) tuvo como objetivo validar una propuesta metodológica para caracterizar distintos niveles de degradación en los pisos vegetacionales correspondientes a bosque esclerófilo y bosque esclerófilo andino en la cuenca del Río Mapocho. Dentro de las variables estudiadas, fitovolumen y contenido de carbono total de suelo permitieron validar la propuesta gracias al comportamiento y tendencia a disminuir que mostraron a medida que aumentó el nivel de degradación. Por otra parte, otras variables de suelo, tales como contenido de arena, contenido de limo, contenido de arcilla y densidad aparente no validaron la propuesta debido a irregularidades en sus resultados, puesto que no se apreciaron tendencias claras. Esta situación es similar a la presentada en este trabajo al momento de analizar el comportamiento de las variables dentro de cada estado de degradación, puesto que las variables contenido de arena, arcilla y densidad aparente no mostraron diferencias significativas entre estados de degradación, mientras que fitovolumen y contenido de materia orgánica mostraron similitudes entre los estados 2 y 3 y diferencias significativas con el Estado 1. Por consiguiente, a pesar de ser estudios en cuencas diferentes, los resultados del estudio de Díaz (2015) en el piso vegetacional de bosque con respecto a las variables que validan la propuesta coinciden con las que se utilizaron en el presente trabajo para guiar las medidas de restauración, debido a que fueron las variables que mostraron diferencias significativas.

En ese mismo estudio los resultados texturales de suelo difieren para el piso esclerófilo de los obtenidos en la presente memoria, puesto que en los tres estados de degradación definidos por Díaz (2015) la textura fue Franco arenosa. En cambio, en la zona de estudio en Río Clarillo la textura varía entre Franco arcillosa y Franco arenosa para sitios altamente degradados y Franco mayoritariamente para sitios con niveles regulares y bajos de degradación.

Siguiendo esta línea de análisis, las variables de suelo resultan ser similares entre los distintos estados de degradación, en donde los variables de arcilla y arena no presentan diferencias significativas entre estados, densidad aparente y contenido de materia orgánica presenta similitud entre los estados 2 y 3, y contenido de limo es la única que presenta diferencia significativa. De acuerdo a la literatura citada, los suelos de la Reserva se caracterizan por ser permeables, arenosos y erosionables, de clases VI, VII y VIII. Con esta información se puede explicar que los suelos entre estados tengan características similares, significando que las diferencias existentes de variables entre estados se atribuya al nivel de degradación, como por ejemplo, la significativa diferencia de contenido de materia

orgánica y de densidad aparente en el estado 2 y 3 en comparación al estado 1, por encontrarse mejor conservado.

De acuerdo al modelo hipotético de Whisenant, existen cinco estados de degradación. Sin embargo, en este estudio se consideraron tres por la dificultad de encontrar un estado prístino (estado 0 de Whisenant) y un estado completamente desprovisto de sus funciones y procesos ecológicos (estado 4). Esto se encuentra apoyado en el estudio presentado por Hurtado (2013) desarrollado en el valle de Río Yeso, en el que se concluye que en el piso alto andino es recomendable considerar sólo tres estados de degradación (alto, medio y bajo) dada la dificultad de establecer los cinco propuestos por el modelo de Whisenant. Justo con esto, también se puede mencionar que en este trabajo coincidieron las acciones de restauración con los umbrales presentes en el modelo hipotético, puesto que para restaurar los sitios degradados de Estado 2 se propusieron acciones hacia factores bióticos (plantación y siembra), y para los sitios degradados del Estado 3 se propusieron además acciones hacia factores abióticos (barreras vivas). También se encuentra similitud con el esquema sucesional que presenta CONAF (2010) en su guía de restauración, la que contempla tres etapas de sucesión para la Región del Matorral y Bosque Esclerófilo.

En el estudio antes mencionado también se concluye que existe una relación inversa entre la cercanía a caminos y punto de origen de forrajeo del ganado con el nivel de degradación. Se encuentran similitudes puesto que en el área del presente estudio se constató la existencia de un camino cerrado al público de la Reserva, sin embargo, utilizado por guardias y arrieros. Este camino atraviesa el área de estudio y facilita la movilización del ganado. Esto podría relacionarse con la degradación en conjunto del área de estudio, puesto que a pesar de existir parches de vegetación de Estado 1, son de reducido tamaño.

En el trabajo de Perez-Quezada y Bown (2015), que consiste en la construcción de una guía para la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago, también se consideran sólo los estados 1, 2 y 3 de Whisenant, puesto que mencionan la dificultad de encontrar sitios que cumplan con lo definido en el Estado 0 de Whisenant, debido a que los sitios abarcados dentro del trabajo han sido utilizados desde épocas remotas, disminuyendo las posibilidades de encontrar ecosistemas en un estado prístino. Lo mismo ocurre con el estado 4 de degradación, correspondiente a sitios fuertemente degradados correspondientes a ecosistemas intervenidos con la construcción de obras o con derrames contaminantes, los cuales no son el caso de las áreas de estudio trabajadas.

Finalmente, durante la propuesta de restauración se menciona el uso de compost como una medida para ayudar en la restauración de los sitios en Estado 3 de degradación. Esta medida se considera a pesar de lo señalado en el estudio de CONAF (2010) en donde el uso del compost, si bien es visto como una medida de reparación, se menciona el cuidado que se debe tener puesto que puede significar un agente facilitador de la propagación de especies invasoras en los sitios degradados, dificultando el establecimiento de especies nativas. Este argumento no fue considerado importante en este estudio puesto que, de acuerdo a los

resultados de riqueza, sólo tres especies (*Vulpia bromoides* (L.) Gray, *Pectocarya linearis* (Ruiz & Pav.) DC. y *Poa pratensis* L.) de las 47 identificadas en el área de estudio, son adventicias. También se tomarán medidas de acuerdo al origen del compost para evitar que contenga semillas o propágulos de especies ajenas a Río Clarillo. El uso de compost también se menciona en el estudio de Lambertini (2014) en la zona de bosque esclerófilo andino, el que se propone sea utilizado en sitios degradados tanto para detener el avance del nivel de degradación en estados considerados como bien conservados como para propiciar la recuperación de sitios altamente degradados.

5 CONCLUSIONES

Gracias a los análisis previos a los trabajos en terreno de los posibles sitios degradados, a consultas bibliográficas y a las mediciones y análisis realizados posteriormente, se logró establecer una condición de referencia, el estado 1, para guiar la propuesta de restauración presentada. Sin embargo, se establece que las condiciones del estado 1 pueden seguir mejorando, por lo que se incluyen medidas en la propuesta de restauración enfocadas a la conservación y mejoramiento de este estado. La propuesta de restauración presentada logra responder a las necesidades identificadas de cada estado de degradación establecido.

En el área de estudio fue posible identificar tres estados de degradación, incluyendo el estado de referencia mencionado. Esto fue posible gracias al análisis de las variables vegetacionales y de suelo que fueron medidas. Se puede concluir que fue posible caracterizar zonas en distintos estados de degradación de bosques y matorrales esclerófilos sólo con las variables seleccionadas, sin embargo, se recomienda agregar en el futuro indicadores que permitan realizar un mejor seguimiento de la superficie cubierta por vegetación y la superficie de suelo desnudo, de este modo evaluar de mejor manera el progreso de la propuesta de restauración, puesto que con la presente propuesta no es posible realizar un seguimiento del aumento de la superficie cubierta por vegetación dentro de las parcelas.

Los estados identificados fueron coincidentes con los Estados 1, 2 y 3 del modelo hipotético de Whisenant, lo que permitió utilizar el modelo como una guía al momento de determinar las acciones necesarias para elaborar la propuesta del plan de restauración.

Fue posible proponer actividades de restauración necesarias para que los estados degradados puedan alcanzar la imagen objetivo propuesta. La variable que marcó diferencias significativas y mostró una marcada tendencia entre estados fue la altura. Especies arbóreas y especies arbustivas mostraron diferencias significativas entre Estados 1 y 3. Altura y especies arbóreas mostraron una tendencia a disminuir a medida que aumenta el nivel de degradación, en donde se pueden relacionar ambas variables, puesto que las especies que mostraron mayor altura corresponden a las especies arbóreas. Esto significa que para mejorar los estados 2 y 3 se debía aumentar la presencia de estas especies, de acuerdo a las indicaciones propuestas en el plan para realizarse de manera controlada y gradual.

Cabe destacar que en el área de estudio se identificaron 3 especies adventicias de un total de 47. Esto implica que la invasión de especies no es un agente importante, permitiendo que las acciones de restauración de la propuesta se enfocaran principalmente en detener la degradación del suelo y potenciar la inserción de individuos vegetales.

6 BIBLIOGRAFÍA

Camus, P. y E. Hajek, 1998. Historia ambiental de Chile. Santiago, Chile: Andros Impresores. 183p.

Carrasco, J. y J. Vergara. 2002. Técnicas apropiadas para la conservación y recuperación de suelos en predios de pequeños productores. [En línea] Recuperado en: <<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR28871.pdf>>. Consultado el: 15 de abril de 2016.

Castañeda, N. y J. Carrasco. 1999. Prácticas de conservación de suelos y aguas para el control de la erosión hídrica. [En línea] Recuperado en: <<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR25073.pdf>>. Consultado el: 13 de junio de 2016.

Cherni, J. 2003. Perspectiva conceptual y práctica de la modernización ecológica y la globalización. [En línea] Recuperado en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12400703>>. Consultado el: 04 de noviembre de 2013

Clewell, A. and JP. Rieger. 1997. What practitioners need from restoration ecologists. *Restoration Ecology* 5(4): 350–354.

CONAF (Corporación Nacional Forestal), 1996. Documento de trabajo N° 247 Plan de Manejo Reserva Río Clarillo. [En línea] Recuperado en: <http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1382468834RNRioClarillo.pdf>. Consultado el: 16 de mayo de 2014.

CONAF (Corporación Nacional Forestal), Chile. 2010. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. 162p.

CONAF (Corporación Nacional Forestal), 2015. Listado final de amenazas bajo control SNASPE 2015. [En línea] Recuperado en: <http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1426023493LISTADOFINALDEAMENAZASBAJOCONTROLSNASPE2015.pdf>. Consultado el: 29 de mayo de 2016.

Costanza, R.; R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R.V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton and Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(1997): 253-260.

Dasgupta, S. 2002. Confronting the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Economics Perspectives* 16(1): 147-168.

- Díaz, F. 2015. Validación de una propuesta metodológica para diferenciar niveles de degradación en dos pisos de bosque en la zona andina de la Región Metropolitana. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 51p.
- Dinda, S. 2004. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics* 49(2004): 431-455.
- Fassbender, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica: DICCAI. 423p.
- Flores, D. y M. Díaz. 2007. Conservación del Bosque Esclerófilo en el Paisaje Natural y Cultural de Chile Central. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 121p.
- Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 165p.
- Gálvez, J. 2002. La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones. [En línea]. Recuperado en: <<http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/SERIETECNINCA/8.pdf>>. Consultado el: 04 de noviembre de 2013.
- Grossman, G and A, Krueger, 1991. Environmental impacts of a North American free trade agreement. In: Ed. P Garber. *The US-Mexico Free Trade Agreement*. Noviembre, 1991. Cambridge, Inglaterra. MIT Press, Cambridge, Inglaterra.
- Hurtado, C. 2013. Caracterización de los niveles de degradación existentes en el piso vegetacional andino superior en el Valle de Río Yeso, Región Metropolitana, con fines de restauración ecológica. Seminario de título Biólogo con mención en Medio Ambiente. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. Santiago, Chile. 61p.
- Jaunatre, R.; Buisson, E.; Muller, I.; Morlon, H.; Mesleard, F. y Dutoit, T. 2013. New synthetic indicators to assess community resilience and restoration success. *Ecological Indicators* 29.468-477.
- Lambertini, P. 2014. Caracterización del bosque esclerófilo andino en distintos estados de degradación en la Región Metropolitana con fines de restauración ecológica. Seminario de Título. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. 61p.
- Luzio, W.; Casanova, M. y O. Seguel. 2010. Suelos de Chile. Luzio W. (Editor). Chile: Universidad de Chile. 346 p.
- Machado, H. 2008. Reflexiones acerca de los ecosistemas agrícolas y la necesidad de su conservación. [En línea] Recuperado en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942008000400005&script=sci_arttext>. Consultado el 04 de noviembre de 2013

- MMA (Ministerio del Medioambiente), Chile. 2013. Estrategia Nacional de Crecimiento Verde. [En línea] Recuperado en : <http://www.mma.gob.cl/1304/articulos-55866_Estrategia_Nacional_Crecimiento_Verde.pdf>. Consultado el 16 de junio de 2015.
- Ley N° 18.362. Crea un sistema nacional de áreas silvestres protegidas del estado. [En línea]. Santiago, Chile: 27 de diciembre de 1984. Recuperado en: <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=29777>> Consultado el: 25 de abril de 2016.
- Lira, P. 1983. Diagnóstico de Riesgos Potenciales de Erosión R. N. Río Clarillo. Santiago, Chile. 70 p.
- Martínez, E. and E. Fuentes. 1993. Can we extrapolate the California model of grassland-shrub land ecotone? *Ecological Applications* 3(1993): 417-423.
- Millenium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and human well-being. Washington, DC, Estados Unidos: Island Press. 155p.
- Niemeyer, H.; R. Bustamante; J. Simonetti; S. Teillier; E. Fuentes y J. Mella. 2002. Historia Natural de la Reserva Nacional Río Clarillo: un espacio para aprender ecología. Santiago, Chile: Impresos Socías. 315p.
- Perez-Quezada, JF. y H. Bown (Eds). 2015. Guía para la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago. Santiago, Chile: Universidad de Chile-CONAF. 115p.
- R Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. [En línea]. Vienna, Austria. Recuperado en: <<http://www.R-project.org>>. Consultado el: 06-03-2015.
- Rubio, P. 1980. Descripción macrogeomorfológica de las aves de Santiago. Santiago, Chile: Boletín Museo Nacional de Historia Natural. 37p.
- Sadzawka, A.; M. Carrasco; R. Grez; M. Mora; H. Flores y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 164p. (Serie Actas INIA N° 34).
- Sandoval, M.; José Miguel. Dörner; O. Seguel; J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Chillán, Chile: Universidad de Concepción. 80p.
- Santibáñez, F.; P. Roa y P. Santibáñez. 2008. El medio físico. (cap. 1, pp.21-45). En: Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2Ed.). Biodiversidad de Chile: patrimonio y desafíos. Santiago, Chile: Ocho libro editores ltda. 640p.
- SER (Society for Ecological Restoration International), Estados Unidos. 2006. La restauración ecológica – un medio para conservar la biodiversidad y mantener los medios de vida. [En línea]. Recuperado en: <http://www.ser.org/docs/default-document-library/ser-iucn-global-rationale_spanish.pdf>. Consultado el: 04 de mayo de 2015.

SER (Society for Ecological Restoration International), Estados Unidos. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. [En línea]. Recuperado en: <<http://www.ser.org/docs/default-document-library/spanish.pdf>>. Consultado el: 04 de noviembre de 2013.

SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería, Gobierno de Chile). 2003. Mapa geológico de Chile: versión digital. [En línea]. Recuperado en: <http://www.geo.arizona.edu/~bcarrapa/Andes%20papers/MAPA_Chile1M.pdf>. Consultado el: 15 de abril de 2016.

Smith, C.; M. González; C. Echeverría y A. Lara. 2015. Estado actual de la Restauración ecológica en Chile, perspectivas y desafíos. *Anales Instituto Patagonia* 43(2015): 11-21.

Suarez, A. 2011. Crecimiento económico vs. degradación ambiental: ¿Existe una curva de Kuznets ambiental en América Latina y el Caribe? periodo 1970-2008. Tesis para obtener el Título de Maestría en Economía del Desarrollo. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Sede Ecuador. Quito, Ecuador. 96p.

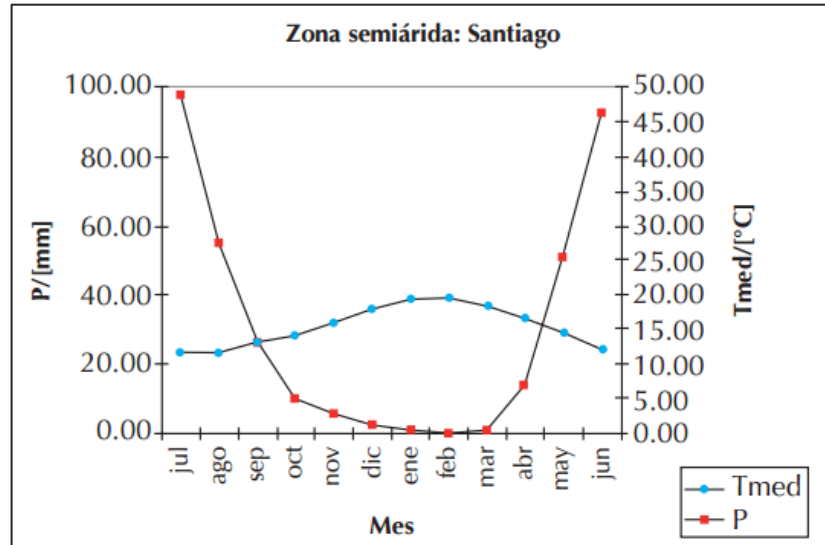
Teillier, S.; G. Aldunate; P. Riedemann y H. Niemeyer. 2005. Flora de la Reserva Nacional Río Clarillo: guía de identificación de especies. Santiago, Chile: Impresos Socias. 368p.

Thiele, R y E, Cubillos. 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana: Santiago. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile 39: 51 p.

Whisenant, S. 1999. Repairing damaged wildlands: A process-orientated, landscape-scale approach. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 312p.

7 ANEXOS

Anexo I. Diagrama ombrométrico de zona semiárida: Santiago.



Fuente: Santibáñez et al., 2008

Anexo II. Funciones y servicios ecosistémicos generados en proyectos de restauración

| Servicios ecosistémicos | Funciones Ecosistémicas | Ejemplo |
|---|---|---|
| Regulación de gases | Regulación de la composición química atmosférica | Balace CO ₂ /O ₂ , O ₃ para protección UV, y control de niveles de Sox |
| Regulación del clima | Regulación de la temperatura global, precipitación y otros procesos climáticos mediados por aspectos biológicos al nivel local o global | Regulación de gases de efecto invernadero |
| Regulación de perturbaciones | Capacitancia, damping e integridad de la respuesta ecosistémica a fluctuaciones climáticas | Protección contra tormentas, control de flujos, recuperación posterior a sequías |
| Regulación de caudales | Regulación de flujos hídricos | Cambio en la proporción de infiltración versus escurrimiento superficial |
| Oferta de agua | Almacenamiento y retención de agua | Provisión de agua con fines agrícolas o industriales |
| Control de la erosión y retención de sedimentos | Retención de suelos en el ecosistema | Prevención de pérdida de suelo por viento, escorrentía, u otros procesos de remoción, prevención de la sedimentación de lagos, tranques y humedales |
| Formación de suelos | Procesos de formación de suelos | acumulación de materia orgánica y disgregación de material parental |
| Ciclaje de nutrientes | Almacenamiento, cliclaje interno, transformación y adquisición de nutrientes. | fijación de Nitrógeno, ciclos de nutrientes, fundamentales N y P |

(Continúa)

Apéndice II (continuación)

| Servicios ecosistémicos | Funciones Ecosistémicas | Ejemplo |
|-------------------------------------|---|--|
| Tratamiento de residuos | Recuperación de nutrientes móviles y remoción o transformación de compuestos dañinos | Tratamiento de residuos, control de polución, detoxificación |
| Polinización | Movimiento de gametos florales | Provisión de polinizadores para la reproducción de poblaciones de plantas |
| Producción de alimentos | Aquella porción de la productividad primaria bruta que se extrae como alimento | pesca, caza, cultivos, frutos |
| producción de materias primas | Aquella porción de la productividad primaria bruta que se extrae como materias primas | Madera, leña o forraje |
| Mantenimiento de recursos genéticos | Fuentes de materiales y productos biológicos únicos | Plantas medicinales, productos para la ciencia de materiales, genes para la resistencia a plagas y enfermedades, especies ornamentales |
| Recreación | Proveyendo oportunidades para actividades recreacionales | Eco-turismo, pesca deportiva, y otras actividades al aire libre |
| Aspectos culturales | Proveyendo oportunidades para usos no-comerciales | Valores estéticos, artísticos, educacionales, espirituales y científicos de los ecosistemas |

Fuente: Costanza et al., 1987

8 APÉNDICE

Apéndice I. Nombre de los puntos de muestreo, su estado de degradación, descripción, coordenadas y pendiente.

| Punto | Estado | Descripción | Coordenadas WGS 1984 | | Pendiente |
|-------|--------|-----------------|----------------------|---------|-----------|
| | | | Este | Norte | |
| D1 | 3 | Degradado | 365328 | 6266290 | 22% |
| D2 | 3 | Degradado | 365167 | 6266194 | 24% |
| D3 | 3 | Degradado | 365226 | 6266197 | 24% |
| D4 | 3 | Degradado | 365242 | 6266098 | 25% |
| D5 | 3 | Degradado | 365219 | 6265993 | 31% |
| R1 | 2 | Regular | 364976 | 6266587 | 5% |
| R2 | 2 | Regular | 365358 | 6266297 | 20% |
| R3 | 2 | Regular | 365063 | 6266421 | 22% |
| R4 | 2 | Regular | 365056 | 6266525 | 21% |
| R5 | 2 | Regular | 365100 | 6266471 | 22% |
| B1 | 1 | Bien conservado | 365026 | 6266506 | 25% |
| B2 | 1 | Bien conservado | 365107 | 6266265 | 17% |
| B3 | 1 | Bien conservado | 365321 | 6266166 | 20% |
| B4 | 1 | Bien conservado | 365100 | 6266293 | 20% |
| B5 | 1 | Bien conservado | 364995 | 6266527 | 35% |

Apéndice II. Listado de especies identificadas en el área de estudio según familia, hábito, si es anual o perenne y endemismo.

| Especie | Familia | Hábito | Anual o perenne | Endemismo |
|------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| <i>Cryptocarya alba</i> | <i>Lauraceae</i> | Árbol | Perenne | Endémica |
| <i>Lithraea caustica</i> | <i>Anacardiaceae</i> | Árbol | Perenne | Endémica |
| <i>Quillaja saponaria</i> | <i>Quillajaceae</i> | Árbol | Perenne | Endémica |
| <i>Kageneckia oblonga</i> | <i>Rosaceae</i> | Árbol | Perenne | Endémica |
| <i>Persea lingue</i> | <i>Lauraceae</i> | Árbol | Perenne | Nativa |
| <i>Aristotelia chilensis</i> | <i>Elaeocarpaceae</i> | Arbusto o árbol | Perenne | Nativa |
| <i>Lomatia hirsuta</i> | <i>Proteaceae</i> | Árbol | Perenne | Nativa |

(Continúa)

Apéndice II (continuación)

| Especie | Familia | Hábito | Anual o perenne | Endemismo |
|----------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|------------------|
| <i>Baccharis rhomboidalis</i> | <i>Asteraceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Baccharis linearis</i> | <i>Asteraceae</i> | Arbusto | Perenne | Nativa |
| <i>Retanilla ephedra</i> | <i>Rhamnaceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Mutisia subulata</i> | <i>Asteraceae</i> | Subarbusto | Perenne | Nativa |
| <i>Colliguaja odorifera</i> | <i>Euphorbiaceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Escallonia pulverulenta</i> | <i>Escalloniaceae</i> | Arbusto o árbol | Perenne | Endémica |
| <i>Retanilla trinervia</i> | <i>Rhamnaceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Adiantum sulphureum</i> | <i>Pteridaceae</i> | Hierba | Perenne | Nativa |
| <i>Carex setifolia</i> | <i>Cyperaceae</i> | Hierba | Perenne | Nativa |
| <i>Teucrium bicolor</i> | <i>Lamiaceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Azara petiolaris</i> | <i>Salicaceae</i> | Árbol | Perenne | Endémica |
| <i>Valeriana graciliceps</i> | <i>Valerianaceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Clinopodium chilense</i> | <i>Lamiaceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Haplopappus integerrimus</i> | <i>Asteraceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Solenomelus pedunculatus</i> | <i>Iridaceae</i> | Hierba | Perenne | Endémica |
| <i>Mutisia latifolia</i> | <i>Asteraceae</i> | Arbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Tweedia birostrata</i> | <i>Apocynaceae</i> | Hierba o subarbusto | Perenne | Endémica |
| <i>Plagiobothrys myosotoides</i> | <i>Boraginaceae</i> | Hierba | Anual | Nativa |
| <i>Pyrrhocactus curvispinus</i> | <i>Cactaceae</i> | Hierba | Perenne | Endémica |
| <i>Phacelia secunda</i> | <i>Boraginaceae</i> | Hierba o subarbusto | Perenne | Nativa |
| <i>Hordeum comosum</i> | <i>Poaceae</i> | Hierba | Perenne | Nativa |
| <i>Plantago hispidula</i> | <i>Plantaginaceae</i> | Hierba | Anual | Endémica |
| <i>Stipa sp.</i> | <i>Poaceae</i> | Hierba | Perenne | Nativa |
| <i>Vulpia bromoides</i> | <i>Poaceae</i> | Hierba | Anual | Adventicia |
| <i>Galium suffruticosum</i> | <i>Rubiaceae</i> | Subarbusto | Perenne | Nativa |
| <i>Homalocarpus sp.</i> | <i>Apiaceae</i> | Hierba | Anual | Endémica |
| <i>Pectocarya linearis</i> | <i>Boraginaceae</i> | Hierba | Anual | Adventicia |
| <i>Soliva Sessilis</i> | <i>Asteraceae</i> | Hierba | Anual | Nativa |
| <i>Cardionema ramosissimum</i> | <i>Caryophyllaceae</i> | Hierba | Perenne | Nativa |
| <i>Geranium sp.</i> | <i>Geraniaceae</i> | Hierba | - | - |
| <i>Poa pratensis</i> | <i>Poaceae</i> | Hierba | Perenne | Adventicia |
| <i>Adesmia sp.</i> | <i>Fabaceae</i> | Hierba | - | - |
| <i>Microphyes minima</i> | <i>Caryophyllaceae</i> | Hierba | Anual | Endémica |
| <i>Calceolarea glandulosa</i> | <i>Calceolariaceae</i> | Hierba | Perenne | Endémica |
| <i>Bromus berterioanus</i> | <i>Poaceae</i> | Hierba | Anual | Nativa |
| <i>Puya sp.</i> | <i>Bromeliaceae</i> | Hierba | Perenne | Endémica |

(Continúa)

Apéndice II (continuación)

| Especie | Familia | Hábito | Anual o perenne | Endemismo |
|------------------------------|-----------------------|---------------|------------------------|------------------|
| <i>Geranium bertereanum</i> | <i>Geraniaceae</i> | Hierba | Perenne | Nativa |
| <i>Sanicula crassicaulis</i> | <i>Apiaceae</i> | Hierba | Perenne | Nativa |
| <i>Montiopsis capitata</i> | <i>Montiaceae</i> | Hierba | Anual | Nativa |
| <i>Plantago rancaguae</i> | <i>Plantaginaceae</i> | Hierba | Anual | Endémica |

Apéndice III. Valores finales de variables vegetacionales por punto de monitoreo en cada estado.

| Estado | Puntos | Altura \bar{X} (m) | Fitovolumen \bar{X} (m ³ *m ⁻²) | Especies arbóreas | Especies arbustivas | Especies herbáceas |
|--------|--------|----------------------|--|-------------------|---------------------|--------------------|
| 1 | B1 | 1,6042 | 0,05525 | 4 | 4 | 3 |
| | B2 | 1,7170 | 0,03135 | 9 | 3 | 2 |
| | B3 | 0,8531 | 0,04230 | 3 | 3 | 10 |
| | B4 | 1,4575 | 0,04656 | 4 | 6 | 7 |
| | B5 | 1,5897 | 0,04868 | 3 | 4 | 4 |
| | R1 | 0,7565 | 0,02423 | 2 | 3 | 8 |
| | R2 | 0,7463 | 0,03587 | 3 | 4 | 7 |
| | R3 | 0,7210 | 0,02752 | 3 | 4 | 7 |
| | R4 | 0,6368 | 0,01618 | 3 | 2 | 9 |
| | R5 | 0,5911 | 0,02306 | 3 | 3 | 8 |
| 2 | D1 | 0,2746 | 0,00699 | 2 | 2 | 12 |
| | D2 | 0,3980 | 0,01810 | 1 | 3 | 7 |
| | D3 | 0,3193 | 0,01762 | 1 | 2 | 11 |
| | D4 | 0,4102 | 0,02538 | 2 | 1 | 9 |
| | D5 | 0,1948 | 0,00898 | 1 | 0 | 5 |

Apéndice VI. Valores finales de variables de suelo por estado.

| Estado | Puntos | Da \bar{X} (g/cm^3) | Arcilla | Limo | arena | Cantidad de Mo (%) |
|--------|--------|------------------------------|---------|-------|-------|-----------------------|
| 1 | B1 | 0,57 | 12,64 | 30,23 | 57,13 | 6,25 |
| | B2 | 0,58 | 16,43 | 36,53 | 47,04 | 8,76 |
| | B3 | 1,00 | 17,41 | 37,28 | 45,31 | 4,65 |
| | B4 | 0,70 | 12,62 | 36,07 | 51,31 | 7,30 |
| | B5 | 0,95 | 18,65 | 33,96 | 47,39 | 4,90 |
| 2 | R1 | 0,95 | 12,63 | 28,20 | 59,17 | 2,94 |
| | R2 | 1,19 | 12,34 | 28,08 | 59,58 | 2,93 |
| | R3 | 1,50 | 19,60 | 36,60 | 43,80 | 3,12 |
| | R4 | 1,06 | 21,09 | 34,89 | 44,02 | 4,48 |
| | R5 | 1,00 | 15,38 | 33,64 | 50,98 | 3,70 |
| 3 | D1 | 1,19 | 24,81 | 28,42 | 46,77 | 2,50 |
| | D2 | 1,38 | 25,68 | 27,10 | 47,23 | 2,18 |
| | D3 | 1,26 | 9,83 | 21,80 | 68,37 | 2,87 |
| | D4 | 1,10 | 21,09 | 26,52 | 52,39 | 2,41 |
| | D5 | 0,95 | 12,50 | 24,22 | 63,28 | 2,20 |