

UCH-FC
B. Ambiental
L 223
C. 1



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE PREGRADO

**“CARACTERIZACIÓN DEL BOSQUE ESCLERÓFILO
ANDINO EN DISTINTOS ESTADOS DE DEGRADACIÓN EN
LA REGIÓN METROPOLITANA CON FINES DE
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente.

PAOLA SOFÍA LAMBERTINI HERRERA

Dr. Jorge Pérez Quezada
Director del Seminario de Título

Dr. Horacio Bown Intveen
Co-Director del Seminario de Título

Enero de 2014

Santiago – Chile



ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la candidata

PAOLA SOFÍA LAMBERTINI HERRERA

“CARACTERIZACIÓN DEL BOSQUE ESCLERÓFILO ANDINO EN DISTINTOS ESTADOS DE DEGRADACIÓN EN LA REGIÓN METROPOLITANA CON FINES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente.

Dr. Jorge Pérez
Director Seminario de Título

Dr. Horacio Bown
Co-Director

Comisión de Evaluación

Dr. Javier Simonetti
Presidente Comisión

Dr. Pablo Guerrero
(En reemplazo de Dr. Álvaro Promis)
Evaluador

Santiago de Chile, Enero de 2014.

Dedicatoria

*A todos los que me han acompañado en este camino:
familia, amigos, compañeros y profesores*

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, hermano, primos y familia en general, por todo su apoyo y compañía incondicional en todo este tiempo y hasta en las salidas a terreno. A todos mis amigos que me han apoyado y ayudado en terreno, a procesar muestras y análisis de datos.

Agradezco a la Universidad de Chile, Facultades de Ciencias y Ciencias Agronómicas por haberme dado la oportunidad de realizar este estudio.

A mi Director de Tesis, Dr. Jorge Pérez Quezada y al Co-Director, Dr. Horacio Bown Intveen por toda su enseñanza y ayuda en el transcurso de este Seminario de Título.

Agradezco a mi Director de la Comisión de Evaluación, Dr. Javier Simonetti por sus comentarios y su tiempo dedicado en la revisión del Seminario de Título. A los evaluadores Dr. Álvaro Promis y Pablo Guerrero por sus comentarios y evaluación.

A todos los integrantes del Laboratorio de Ecología de Ecosistemas. Al Laboratorio de Física de Suelo, en especial al profesor Oscar Seguel y a Hugo Torres por su ayuda. A la profesora Carezza Botto por ayudarme en las últimas correcciones del Seminario de Título.

Agradezco al Ejército de Chile por facilitarme el acceso todas las veces que fui a terreno al Predio Militar Rio Colorado.

Esta Tesis fue financiada por el Proyecto “Guía para la Regeneración y Recuperación de Bosque y Matorral de Ecosistemas de Montaña en la Región Metropolitana 022/2012” del Fondo de Investigación del Bosque Nativo de CONAF, a cargo del Prof. Jorge Pérez Quezada, con el respaldo del Laboratorio de Ecología de Ecosistemas, Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de Tablas o Cuadros	vi
Índice de figuras	vii
Lista de abreviaturas.....	viii
Resumen	ix
Abstract.....	x
1.- Introducción	1
1.1.- <i>Objetivos</i>	8
2.- Materiales y Métodos.....	9
2.1.- <i>Características generales del Predio</i>	10
2.2.- <i>Selección de los estados de degradación</i>	15
2.3.- <i>Medición de las variables bióticas y abióticas</i>	17
2.3.1.- <i>Variables bióticas</i>	18
2.3.2.- <i>Variables abióticas</i>	21
2.3.3.- <i>Análisis estadísticos</i>	23
2.4.- <i>Medidas de restauración para cada estado de degradación</i>	24
3.- Resultados y Discusión	26
3.1.- <i>Estados de Degradación de Whisenant</i>	26
3.2.- <i>Caracterización de Variables Bióticas</i>	31
3.3.- <i>Caracterización de Variables Abióticas</i>	37
3.3.1.- <i>Variables Abióticas medidas en los 10 cm superficiales del suelo</i>	37

3.3.2. - <i>Variables Abióticas medidas en Profundidad (Calicatas)</i>	38
3.4.- <i>Medidas de Restauración</i>	48
4.- Conclusiones	56
5.- Bibliografía.....	59
6.- Anexos.....	67
7.- Apéndices.....	68

Índice de Tablas o Cuadros

Tabla 1: Resultados del ANDEVA para variables bióticas y abióticas en cuatro estados de degradación en el Predio Río Colorado.....	27
Tabla 2: Descripción cuantitativa de las variables abióticas por horizonte de cada calicata.....	39
Tabla 3: Variables o fuentes de perturbación que estarían desfavoreciendo la recuperación en cada estado de degradación.....	46
Tabla 4: Medidas de restauración aplicables por grupo de variables para frenar la degradación actual en cada estado de degradación.	48
Tabla 5: Medidas de restauración activa aplicables por grupo de variables para favorecer la recuperación en cada estado de degradación.	50

Índice de figuras

- Figura 1: Esquema hipotético de degradación de ecosistemas (modificado de Whisenant 1999).3
- Figura 2: Mapa del sitio de Estudio, elaborado a partir de los Pisos Vegetacionales del Diagnóstico territorial de la Comuna de San José de Maipo.. 9
- Figura 3: Selección de los cuatro Estados de Degradación según enfoque de Whisenant (1999) y criterio de expertos. Donde E1: Estado 1, E2: Estado 2, E3: Estado 3 y E4: Estado 4.26
- Figura 4: Esquema de los Estados de Degradación encontrados en el sitio de estudio con las especies leñosas más abundantes. Modificado a partir de Whisenant (1999).27
- Figura 5: Variables bióticas agrupadas según comportamiento hipotético similar frente a un aumento en el nivel de degradación.....32
- Figura 6: Abundancia por especie de cada estado de degradación, modificado según Jaunatre *et al.* (2013)..33
- Figura 7: Variables abióticas agrupadas según un comportamiento hipotético similar frente a un aumento en el nivel de degradación..... 38
- Figura 8: Número de variables bióticas y abióticas que muestran diferencias entre estados de degradación para diferenciar los umbrales del Diagrama de Degradación de Whisenant (1999). ...45

Lista de abreviaturas

ANDEVA	: Análisis de Varianza
CC	: Capacidad de Campo
CIREN	: Centro de Información de Recursos Naturales
CONAF	: Corporación Nacional Forestal.
CONAMA	: Comisión Nacional del Medio Ambiente
MMA	: Ministerio del Medio Ambiente
MO	: Materia Orgánica
PMP	: Punto de Marchitez Permanente
SEIA	: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SER	: Society for Ecological Restoration
USDA	: United States Department of Agriculture

Resumen

El bosque esclerófilo andino de la zona central de Chile posee un alto grado de endemismo y presión antrópica, lo que motiva estudiar estos ecosistemas con el fin de implementar medidas de restauración ecológica. El propósito de este seminario fue caracterizar variables bióticas y abióticas en un gradiente de degradación. Se eligieron cuatro estados de degradación de ecosistemas seleccionando tres parcelas de 10 × 10 m en cada uno de ellos. Para cada variable se realizó un análisis de varianza y comparaciones múltiples, identificando aquellas variables críticas que permitieran servir de indicadores de degradación en el piso esclerófilo andino. Se observó que la diversidad y riqueza arbustiva, la altura arbórea, y la cobertura y fitovolumen totales, fueron las variables que mejor representaron el modelo de degradación de Whisenant. La riqueza total de especies de flora vascular fue independiente del estado de degradación, pero la riqueza de especies endémicas y nativas fue casi el doble en el estado menos degradado comparado con el más degradado. En las variables abióticas, el punto de marchitez permanente disminuyó significativamente al aumentar la degradación y fue mayor bajo cobertura que en espacios abiertos. Notablemente el porcentaje de arcilla del suelo fue casi el doble en los dos estados más degradados comparados con los dos menos degradados, posiblemente debido a la pérdida del horizonte superficial. En este estudio se proponen medidas de restauración ecológica para cada estado de degradación encontrado en el piso vegetacional bosque esclerófilo andino, enfocándose en disminuir el sobrepastoreo, mejorar la cobertura vegetal, aumentar la materia orgánica del suelo y reemplazar la extracción de madera sin control por un plan de manejo forestal.

Palabras clave: Degradación de ecosistemas, restauración ecológica, bosque esclerófilo andino

Abstract

The Andean sclerophyllous forest of Central Chile has a high degree of endemism and anthropic pressure, which motivates the study of these ecosystems in order to take measures to help in ecological restoration. The purpose of this study was to characterize some vegetation and soil properties through a land degradation gradient. Four degradation steps were established and three plots (10 × 10 m) were selected inside each. For each variable, an analysis of variance and multiple comparisons were performed, identifying the critical variables that serve as indicators of degradation. It was observed that the shrub diversity and richness, tree height, and total coverage and phytovolume were those that best represented the Whisenant degradation model. The total species richness was independent of the degradation step, but the endemic and native species richness was almost twofold in less degraded step compared to the most degraded step. Regarding soil properties, the permanent wilting point decreased significantly with increasing degradation, and low coverage was greater than in open spaces. Interestingly, clay percentage of the soil was almost twofold in the two most degraded steps compared with the two less degraded ones, probably due to the loss of the superficial horizon. In this study, ecological restoration measures are proposed for each degradation step, founded in the vegetational belt of the Andean sclerophyllous forest, focusing on reducing overgrazing, improving vegetation cover, increasing soil organic matter and replacing the wood extraction without control by a forest management plan.

Keywords: Ecosystem degradation, Ecology restoration, the Andean sclerophyllous forest

1.- Introducción

Con el correr del tiempo, el ser humano ha ido alterando y transformando los ecosistemas terrestres, debido al aumento en el uso de recursos naturales que se ha generado por el continuo crecimiento de la población, causando que la biocapacidad regenerativa del planeta vaya disminuyendo progresivamente (Fernández *et al.*, 2010; UNCD, 1992). Es por esto que en la actualidad nos vemos enfrentados a las consecuencias de nuestras acciones, lo que se ve reflejado en procesos cada vez mayores de desertificación, fragmentación, pérdida de hábitat y ecosistemas, erosión, derrumbes, incendios, inundaciones, contaminación, entre otras (CONAMA, 2008).

Frente a tal escenario de degradación ambiental a nivel mundial, surgió la necesidad de emprender procesos conservacionistas de las especies y sus ecosistemas. Luego, este enfoque se vio limitado ante los procesos de degradación junto con la toma de conciencia que la preservación implica una perspectiva más amplia, donde se deba incluir el ente social como una de las variables relevantes a tener en cuenta en el establecimiento de medidas de conservación (Vargas y Mora, 2007).

Es por lo anteriormente señalado, que en la década de los años 80', toma fuerza la necesidad de la conservación, pero también la de reparación o remediación de los daños ambientales causados por las actividades humanas, siendo indispensable y urgente revertir la tendencia acontecida en los últimos años (Vargas y Mora, 2007). La restauración ecológica surge como una actividad humana necesaria para contrarrestar los efectos negativos que se han acumulado a través del tiempo, de manera tal de ayudar a mantener la

homeostasis de los ecosistemas, conservar el patrimonio ambiental y favorecer la biodiversidad del planeta.

A pesar que existen diferentes aproximaciones para referirse al hecho de recuperar ecosistemas degradados (reemplazo, reforestación, rehabilitación), sólo la restauración ecológica tiene como fin último restituir la diversidad y complejidad de los componentes del ecosistema hacia un nivel similar al original (Rey-Benayas *et al.*, 2009).

La restauración es considerada necesaria cuando los procesos de regeneración natural de los ecosistemas degradados son insuficientes o demasiado lentos para la recuperación de sí mismos, es decir, cuando ocurren en el transcurso de varias décadas (Brown y Lugo, 1994; Vargas y Mora, 2007). Cuando la frecuencia o intensidad de las perturbaciones es modificada por factores antrópicos, la capacidad de resiliencia de los ecosistemas podría verse sobrepasada, no logrando retornar a su estado original, transformándose en un ecosistema distinto, generalmente con menor diversidad y complejidad, lo que genera menores servicios ecosistémicos (Folke *et al.*, 2004).

Whisenant (1999) propuso un planteamiento de distintos niveles de degradación a los que puede llegar un ecosistema, desarrollando un modelo hipotético con cinco estados de degradación, desde la situación Estado 0 (sin degradación) al Estado 4 (de mayor degradación), donde dos umbrales separan los cinco estados en tres grupos. El primer umbral es controlado por factores bióticos, más allá del cual hay que realizar un gran esfuerzo en la manipulación de la vegetación para poder recuperar el ecosistema, y el segundo umbral es controlado por factores abióticos, requiriendo la intervención física del ambiente. Los grupos son definidos por la integridad funcional y limitaciones en la

transición hacia el estado siguiente, más que por la composición de especies de cada uno (Figura 1). Por lo anterior es importante reconocer los síntomas de degradación temprana, ya que pasar de un estado de mayor a menor degradación requiere más energía y recursos por involucrar manipulación de componentes bióticos y abióticos (Hobbs y Norton, 2004).

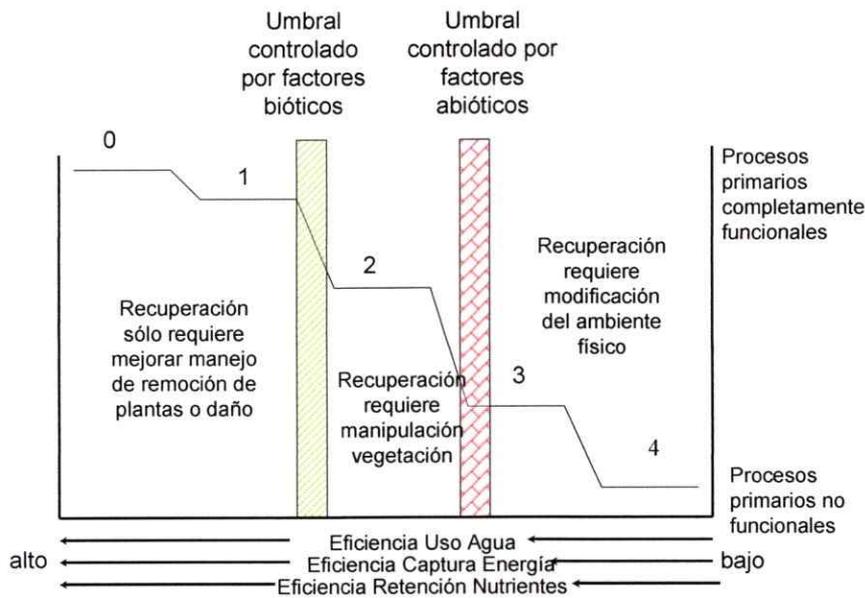


Figura 1: Esquema hipotético de degradación de ecosistemas (modificado de Whisenant 1999).

Generalmente la degradación parte con la reducción del número de plantas y animales existentes, disminuyendo la biomasa de las plantas, provocando la reducción de la productividad primaria, lo cual disminuye los flujos de energía que después provoca agotamientos de los reservorios de nutrientes, que finalmente reducen la estabilidad del suelo (Whisenant, 1999).

El lineamiento del proceso de restauración parte con el ecosistema degradado y progresa hacia el estado deseado, lo cual se define en términos de metas de la planificación de

restauración, basándose en un ecosistema de referencia. Cabe destacar que la restauración no asegura la reproducción exacta de la sucesión histórica que dio lugar al ecosistema de referencia (Fernández *et al.*, 2010; SER, 2004).

Para determinar qué tipo de restauración ecológica es el más apropiado de realizar para cada una de las condiciones específicas de un área, si corresponde una restauración activa, también conocida como restauración natural asistida (i.e., intervención de mayor intensidad) o restauración pasiva (i.e., intervención de menor intensidad), se necesita determinar el grado de deterioro del terreno (i.e., conocimiento de su estado de degradación), los recursos disponibles y la cantidad de tiempo que se tiene. La restauración pasiva intenta dejar que el ecosistema se recupere por sí solo, de forma natural, dándole el mínimo impulso y controlando las causas o agentes de daño. En cambio, en una restauración activa se busca acelerar el proceso, simulando la sucesión natural, sobre todo en aquellos ecosistemas que les cuesta recuperarse por sí solos (Echeverría *et al.*, 2010). A su vez Whisenant (1999) propone que se debe buscar iniciar la reparación autogénica del ecosistema.

Es preciso destacar que hay más de una forma de rehabilitar y/o restaurar un mismo sitio, por lo cual es conveniente evaluar varias opciones de implementación, desde los aspectos mencionados anteriormente y según la meta deseada, ya que la planificación se puede diseñar para lograr el nivel máximo de restauración según la técnica empleada, o diseñarlo para poner en marcha los procesos que conducirán a lograr el nivel de restauración deseado (Parks Canada and the Canadian Parks Council, 2008).

La recuperación o restauración de áreas degradadas comenzó en Chile en 1889 con la llegada del biólogo alemán Federico Albert, contratado por el Gobierno de Chile de ese entonces, con el fin de frenar el avance de las dunas que estaba invadiendo terrenos agrícolas y el pueblo de Chanco (Vita, 1975). Si bien hasta hoy se han realizado innumerables esfuerzos con el objeto de recuperar y restaurar áreas degradadas, aún se requiere lograr una mayor eficiencia en la asignación y utilización de los recursos necesarios en la restauración ambiental.

Por otro lado, Chile, al momento de suscribirse en el Convenio Internacional sobre Diversidad Biológica, se comprometió con la Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago (CONAMA-RM, 2005). En estos ecosistemas nacen las cuencas que abastecen de agua a la gran población de Santiago, otorgándoles variados servicios ecosistémicos, por lo que es importante lograr su protección y recuperar los suelos frágiles, para impedir impactos que podrían ser irreversibles, debido a su recuperación lenta o inexistente (Spehn *et al.*, 2005).

El alto grado de endemismo y el alto nivel de presión antrópica sobre la flora existente de la zona (e.g., sobrepastoreo, cambio de uso del suelo, expansión urbana, extracción de leña, entre otras), ha hecho nombrar a esta ecorregión como un “hot spot” de la conservación de la diversidad biológica a nivel mundial (Marticorena *et al.*, 1995; Mittermeier *et al.*, 1998; Arroyo *et al.*, 1999, 2002; Myers *et al.*, 2000).

Los ecosistemas de montaña de la Región Metropolitana de Santiago sufren severos procesos de erosión, donde el 40% de su territorio se ha clasificado en una categoría de alta fragilidad de suelos (Francke, 2001). Estos problemas generan distintos tipos y grados de

erosión, como cárcavas y zanjas, los que afectan negativamente la productividad debido a que bajan el rendimiento de los cultivos tradicionales que forman parte de los medios de subsistencia de sus habitantes (Francke, 2001). Estos ecosistemas poseen una alta biodiversidad de especies de plantas vasculares y animales, además presentan variadas especies endémicas de la ecorregión (Myers *et al.*, 2000).

El Predio Militar Río Colorado, abarca 111.000 ha de superficie en la Provincia Cordillera del sector norte de la Comuna de San José de Maipo. Se ubica dentro de un área identificada como Sitio Prioritario N° 5 de la Estrategia Nacional de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago (CONAMA-RM, 2005). Esta zona no ha quedado desligada de las problemáticas ambientales como el sobrepastoreo, asentamientos humanos indebidos, extracción de leña y tierra de hojas, agotamiento de los recursos naturales, erosión, entre otros (CONAMA, 2008). En ella abunda la especie arbórea *Kageneckia angustifolia* que se encuentra en un estado de conservación vulnerable en la Región Metropolitana (Benoit, 1994; Tellier *et al.*, 2009), la cual junto a *Austrocedrus chilensis*, marcan el límite superior de vegetación arbórea para los Andes mediterráneos (Muñoz-Schick *et al.*, 2000).

Dentro del predio se realizan varias actividades que causan gran impacto a la biodiversidad del entorno, como son la extracción de minerales y piedras. También funcionan centrales hidroeléctricas, por lo que se han realizado diferentes trabajos de levantamiento de información en el área, como la Línea Base del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo, una Memoria de Título de Ingeniería Forestal de Naguel y Durán, 2009, y el Informe Final del Proyecto Santiago Andino, entre otras.

El Proyecto Santiago Andino (Universidad de Chile, 2011a), desarrolló un Plan de Ordenamiento Territorial para este Predio, generando una valoración ambiental plasmada en una carta de Zonificación Ecológica con sitios prioritarios a ser restaurados. Por otro lado, el Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo AES GENER SA (Arcadis Geotecnica, 2008) determinó sitios a restaurar/reforestar dentro del Predio, para cumplir con la compensación que le estipula la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente y su posterior modificación, por medio del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), debido a las intervenciones que tendría el proyecto en el Predio.

A partir de estos antecedentes, se hace evidente que es necesario restaurar los sitios degradados, tanto del Predio Hacienda Río Colorado, como del resto de los Ecosistemas de Montaña de la Región Metropolitana de Santiago, ayudando a proteger y mejorar el patrimonio ambiental, en especial, las especies de las formaciones vegetacionales que presentan un mayor riesgo de extinción y evitando la fragmentación de sus hábitats. Dentro del Predio, cinco especies vegetales se encuentran amenazadas, a nivel nacional: *Porlieria chilensis* (guayacán), *Eriosyce curvispina* (quisquito) y *Puya berteroniana* (chagual), y regional: *Cryptocarya alba* (peumo) y *Kageneckia angustifolia* (olivillo o frangel), según el proceso de clasificación de especies (Benoit, 1994; Belmonte *et al.*, 1998; Ravenna *et al.*, 1998; MMA, 2013) y muchas de ellas son endémicas de los ecosistemas de esta ecorregión. Es por esto que se requiere entender el complejo funcionamiento de los ecosistemas naturales y los niveles de degradación a los que puede llegar, estudiándolos en un área abarcable como son los pisos vegetacionales, en los cuales predominan unidades de formación vegetal de paisaje de acuerdo a condiciones del suelo, humedad y clima según un rango de altitud determinado.

1.1.- Objetivos

General

Caracterizar distintos estados de degradación del piso vegetal bosque esclerófilo andino de la Hacienda Río Colorado, con fines de restauración ecológica.

Específicos

1. Caracterizar los estados de degradación según variables bióticas y abióticas.
2. Proponer medidas de restauración ecológica para cada estado de degradación.

2.- Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en un área de 184 ha y a 1650 m de altitud perteneciente al piso vegetacional del bosque esclerófilo andino, dentro del Predio Hacienda Río Colorado, Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera Región Metropolitana de Santiago, la cual es administrada por el Ejército de Chile (Figura 2).

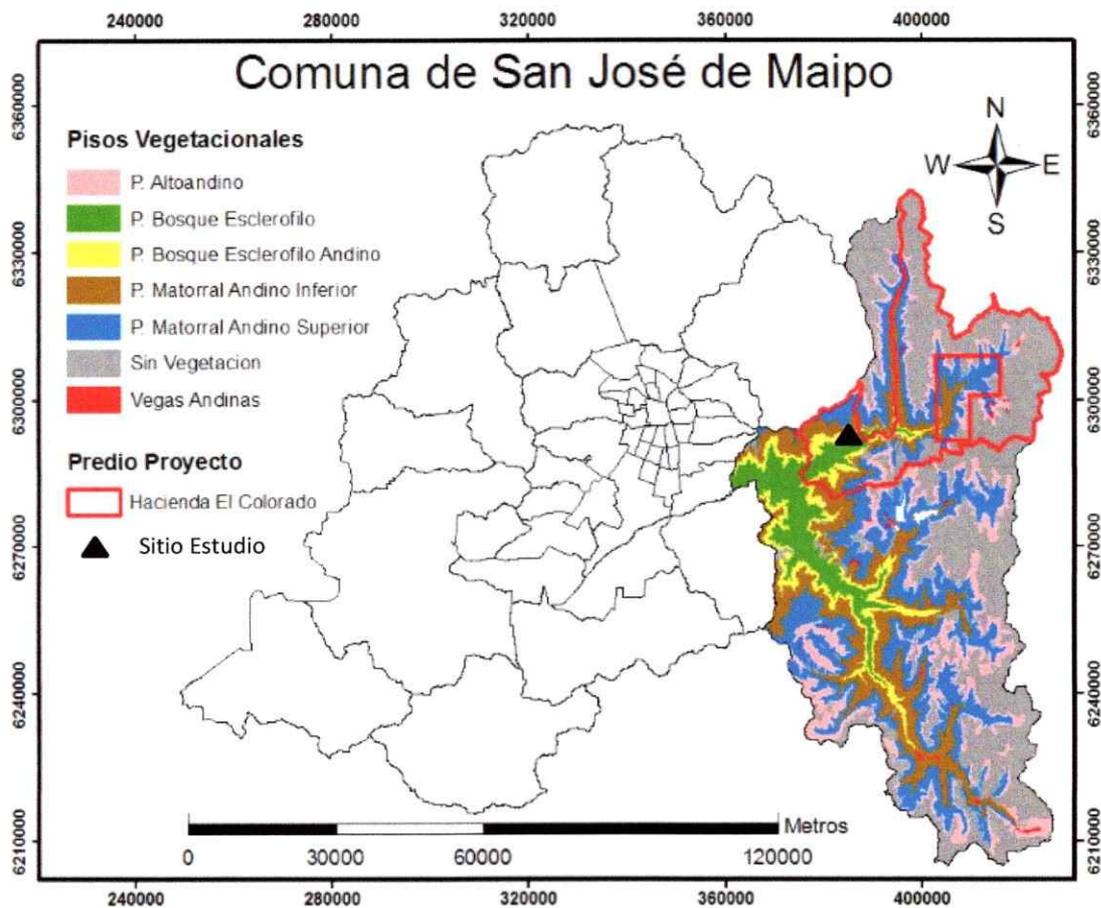


Figura 2: Mapa del sitio de Estudio, elaborado a partir de los Pisos Vegetacionales del Diagnóstico territorial de la Comuna de San José de Maipo. Universidad de Chile, 2011b. INNOVA-CORFO, Proyecto 07CN13IYM-16.

2.1.- Características generales del Predio

- Caracterización climática del Área de Estudio

El tipo climático presente en la zona de estudio, corresponde a un clima “Mediterráneo” (Reino Templado, Dominio Secoestival) según el Método de Clasificación de las Ecorregiones (Gastó *et al.*, 1993). Se caracteriza por presentar una estación seca en verano que varía entre siete a ocho meses al año y presentar inviernos húmedos con precipitaciones moderadas entre mayo y agosto, donde la precipitación va incrementando con la altitud, alcanzando una precipitación media anual alrededor de los 600 mm, de los cuales aproximadamente el 50% cae en forma de nieve (zonas altas) (Naguel y Durán, 2009).

- Capacidad de uso del suelo

Según un estudio realizado por el Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (CIREN, 1996), los suelos que predominan en la Comuna de San José de Maipo, son suelos de secano no arables, donde se identifican los suelos clase III-VIII, pero predominantemente los suelos de clase VI-VIII dentro de la Hacienda Río Colorado, siendo suelos de baja calidad, que presentan un grado de limitación ligado a factores como la topografía, erosión y pendiente.

- Hidrología

La cuenca del Río Colorado nace en las cercanías de la cumbre del Volcán Tupungato (6.570 m.s.n.m.) y posee gran relevancia como tributario en la cuenca del Río Maipo. Su afluente principal es el Río Olivares, que nace en el campo de hielo “Ventisquero de Olivares y Juncal Sur” y del Nevado el Plomo (6.050 m.s.n.m.) (Arcadis Geotecnica, 2008).

Previo a la junta con el Río Olivares, la cuenca del Río Colorado presenta un régimen notoriamente nival, alimentado por los deshielos. Su comportamiento de caudal en enero es el más caudaloso con 36.92 m³ s⁻¹, en tanto que el mes más seco corresponde a agosto con 9.05 m³ s⁻¹, presentando un caudal medio anual de 17.62 m³ s⁻¹ (Arcadis Geotecnica, 2008).

Previo a la junta con el Río Maipo, la cuenca es más llana y menos encajonada. El comportamiento del caudal es máximo en enero con 64.17 m³ s⁻¹; en cambio, el caudal mínimo es en el mes de julio con 16.87 m³ s⁻¹. Su caudal medio anual es de 32.75 m³ s⁻¹ (Arcadis Geotecnica, 2008).

Este río presenta una alteración en su régimen hidrológico natural, debido al emplazamiento de infraestructura asociada a la generación de energía eléctrica (Centrales Hidroeléctricas Los Maitenes y El Alfalfal) (Naguel y Durán, 2009).

- Flora

La flora existente en el Predio corresponde a una de tipo mediterráneo, la que posee una numerosa variedad de especies endémicas. Según estudios realizados por Naguel y Durán (2009), la flora identificada en el Predio fue de 306 especies de plantas vasculares. Cinco de ellas se encontraron en la categoría de amenazadas (*Alstroemeria umbellata*, *P. berteroniana*, *E. (Neopterteria) curvispina*, *K. angustifolia* y *P. chilensis*) (Naguel y Durán, 2009; Tellier *et al.*, 2009).

- Vegetación:

La vegetación se presenta como un gradiente de comunidades asociadas por la variación en altitud y exposición principalmente. Ésta se dispone en pisos donde se desarrollan las

comunidades (Tellier *et al.*, 2009). Según la clasificación vegetacional de Donoso (1981), el Predio se ubica dentro del Tipo Forestal Esclerófilo, subtipo Rodales mixtos de especies arbóreas esclerófilas, donde la ubicación de estos bosques se encuentra en altitudes medias y en los faldeos occidentales de la Cordillera de los Andes. Por otro lado, según la clasificación de Luebert y Pliscoff (2006), dentro del Predio se encuentran seis pisos vegetacionales, uno de los cuales es el piso vegetacional bosque esclerófilo mediterráneo andino de *K. angustifolia* y *Guindilia trinervis*; Fredericksen *et al.* (2011) a su vez, lo nombra como piso del bosque esclerófilo andino (piso subandino).

- Piso Vegetacional del Bosque Esclerófilo Andino:

Este piso vegetacional se distribuye entre los 1.400 y 2.200 m.s.n.m. en laderas medias de la Cordillera de los Andes, entre las regiones de Coquimbo y Libertador Bernardo O'Higgins (Luebert y Pliscoff, 2006). Para la cuenca del Maipo, este piso se encuentra entre los 1.650 y los 2.000 m.s.n.m. (Fredericksen *et al.*, 2011). En él se desarrollan tres tipos de comunidades vegetales, el bosque subandino, matorral subandino y matorral arborescente de las quebradas (Tellier *et al.*, 2011). El bosque subandino se caracteriza por ser el límite superior de la vegetación arbórea en la Cordillera de los Andes para las cuencas del Río Mapocho y Maipo (Tellier *et al.*, 2011). Dentro del Predio este piso abarca un área de 54.910 ha.

Según Luebert y Pliscoff (2006), el estrato arbóreo de este piso está dominado por *K. angustifolia* y el estrato arbustivo por *G. trinervis* y *Colliguaja integerrima*. La presencia de elementos propios de pisos altitudinales inmediatamente inferiores (*Kageneckia oblonga*, *Baccharis rhomboïdalis*) y superior (*Tetraglochin alatum*, *Viviania merifolia*,

Phacelia secunda) son frecuentes, pudiendo otorgársele un carácter transicional entre el bosque esclerófilo y el matorral bajo de altitud.

Tellier *et al.*, (2011) menciona que el bosque subandino de frangel se traslapa con el matorral subandino de una manera poco conocida aún, donde la especie *C. integerrima* se distribuiría en sitios más expuestos a avalanchas de nieve, mientras que *G. trinervis* estaría en sitios donde el bosque fue explotado.

Gajardo (1994) en su descripción de la formación vegetacional Matorral Esclerófilo Andino, dentro de la sub-región de los Andes Mediterráneos, menciona a la comunidad de *K. angustifolia* y *G. trinervis* como una asociación con fisionomía de matorral alto, pero en condiciones favorables es francamente arbórea. El estrato herbáceo está dominado por *Acaena pinnatifida*; a su vez, su composición florística es muy variada y depende de la altitud en que se encuentra (Gajardo, 1994).

- Fauna

La fauna y flora del bosque y matorral esclerófilo está compuesta de especies endémicas e introducidas, donde su diversidad se dispone según el grado de antropización de los sitios de estudio (Arroyo *et al.*, 1999). La zona se destaca por su grado de naturalidad (endemismo) y presión antrópica debido a diferentes actividades como son la ganadería y minería, donde los vertebrados asociados a este ambiente forman ensambles de especies características y una distribución restringida (Myers *et al.*, 2000).

Sobre los 2.000 m.s.n.m. la presencia del matorral andino y praderas húmedas conservan la abundancia de especies de vertebrados, en mayor grado para el grupo de las aves, seguido por los reptiles y finalmente los mamíferos (Myers *et al.*, 2000). Según estudios realizados en el Predio (Naguel y Durán, 2009), de todas las especies identificadas, 16 se encuentran



en alguna categoría de conservación, donde su mayoría pertenecen a la clase reptiles, seguido de los anfibios, mamíferos y aves. Cabe destacar que el Predio posee gran diversidad de especies, gracias a que cubre un amplio rango altitudinal, lo que permite que existan desplazamientos de fauna durante los cambios estacionales. Además posee una zona de concentración de condoreras, donde los cóndores tienen sus sitios de reproducción (Universidad de Chile, 2011a).

- Centros Poblados y Demografía

Existen dos centros poblados dentro del Predio, con escaso dinamismo en cuanto al uso del suelo y propiedades u ocupación de éstos. Desde la ruta G-345, el primer pueblo es Los Maitenes que posee una población de 98 habitantes, luego se llega al pueblo El Alfalfal con una población de 149 habitantes, siendo el 100% de la población de éstas considerada como rural (Censo, 2002). En el Alfalfal, el 68.8% de los trabajadores pertenece a las Fuerzas Armadas, Carabineros e Investigaciones y sólo un 13% corresponde a personal técnico. Los Maitenes posee mayor diversificación, un 23% se clasifica como trabajadores no calificados en venta y servicios; un 16.4% corresponden a agricultores; un 14.8% son trabajadores de los servicios personales, de protección y de seguridad, sólo un 8.2% se clasifica como oficinistas (Censo, 2002; Naguel y Durán, 2009).

En ambos pueblos existen fuentes de trabajo informales y de manera temporal, relacionadas con el turismo, montañismo, ganadería, entre otros, en las cuales muchas veces se emplea mano de obra no calificada (Naguel y Durán, 2009).

- Actividades Económicas y Productivas

Dentro del Predio existen dos centrales hidroeléctricas (Central Maitenes y El Alfalfal). En Los Maitenes se sitúa una escuela, una sede social, un policlínico y un retén de

carabineros. En cambio, en El Alfalfal, existe una escuela básica (Naguel y Durán, 2009). La minería también está presente en el Predio, se registra en actividad una planta de propiedad de Minera Río Colorado, dentro de la cual se procesa caliza (Naguel y Durán, 2009).

Dentro de las actividades agropecuarias, la ganadería es la más importante, desarrollándose durante todo el año. En la época estival, ésta ocurre en las zonas más altas sobre el sector de El Alfalfal, durante la invernada se localizan cercano a El Alfalfal, mientras que en primavera se ubican en una zona intermedia, donde ocurre el nacimiento de las crías (Naguel y Durán, 2009).

En el Predio no existe infraestructura adecuada para el turismo, sin embargo se realizan actividades educativas al aire libre y montañismo. Algunas de las actividades predominantes son: andinismo, camping, picnic, termalismo, avistamiento de flora y fauna (Naguel y Durán, 2009).

2.2.- Selección de los estados de degradación

Los sitios con distinto nivel de degradación fueron seleccionados en condiciones geológicas (ver mapa de Apéndice I), geomorfológicas (pendiente y exposición), edáficas (observación visual) y climáticas (misma altitud) similares; esto implica que probablemente la vegetación era similar en todos estos sitios antes de que ocurriera la degradación, o bien, que la vegetación potencial que debiese haber en estos sitios, sería la misma (Gajardo, 1994).

A su vez, la selección de los sitios se basó en el comportamiento teórico definido en las etapas de degradación del modelo propuesto por Whisenant (1999), el cual guió la apreciación visual en cada sitio, atendiendo al hecho de que las diferencias percibidas a

nivel abiótico (suelo desnudo y afloramientos rocosos) como biótico (cobertura de la vegetación y de la hojarasca) serían provocadas por la degradación (McIntyre y Hobbs, 1999; Ravi *et al.*, 2010). El modelo teórico establece cinco etapas o estados, en las cuales la etapa 0 corresponde a ecosistemas bien conservados, y la etapa 4 representa ecosistemas fuertemente degradados (Whisenant, 1999). Los sitios asignados a escalas de degradación mayores, se corresponden además a sitios con mayor presencia de fecas y madrigueras de conejos, corrales y ganado (e.g., vacuno, equino, caprino y ovino); éstos a su vez estaban cercanos a caminos, por lo que la extracción de leña y la intervención humana presumiblemente eran mayores. Con este enfoque las diferencias encontradas serían producto de la degradación y no de las características propias de cada sitio.

Dentro de un área de 184 ha perteneciente al piso vegetacional del bosque esclerófilo andino se identificaron cuatro estados de degradación, basado en la información generada por los proyectos Alto Maipo AES GENER SA (Arcadis Geotecnica, 2008) y Santiago Andino (Universidad de Chile, 2011b). No fue posible elegir un área que representara el Estado 0 (cero degradación) del diagrama de Whisenant (1999), debido a que no se pudo encontrar un sector no intervenido dentro de este piso vegetacional perteneciente a la Hacienda Río Colorado.

Primero se delimitaron dos áreas separadas por 2.865 m. La primera área de 1.5 ha (33°29'39"S y 70°13'03"O, 1653 m.s.n.m.) era representativa del piso vegetacional del bosque esclerófilo andino y se encontraba en mejores condiciones de vegetación y suelo, la cual se categorizó como Estado 1 de degradación de Whisenant (1999). La segunda área de 22 ha (33°30'40"S y 70°14'23"O, 1658 m.s.n.m.) del mismo piso vegetacional que estaba

en un sitio menos conservado, fue lo suficientemente grande para incluir los estados de degradación restantes (Estados 2 al 4 del diagrama de Whisenant).

Luego de seleccionar en terreno las áreas de los cuatro niveles de degradación, se delimitaron dentro de ellas tres parcelas de 10 × 10 m cada una (separadas por 65 m), para poder medir variables bióticas y abióticas (dentro de una misma parcela). Las parcelas se eligieron de manera tal que abarcaran la mayor heterogeneidad de su estado de degradación correspondiente, pero que a su vez tuviesen similar altitud, exposición y pendiente para que fueran comparables (los datos se encuentran en la tabla del Apéndice I).

2.3.- Medición de las variables bióticas y abióticas

Las variables bióticas y abióticas escogidas para caracterizar los cuatro estados de degradación fueron:

- Variables bióticas: Riqueza de especies (listado florístico), cobertura vegetal total de especies (cobertura arbórea, arbustiva y herbácea), altura de estratos vegetacionales (altura arbórea, arbustiva y herbácea), fitovolumen arbóreo, arbustivo y herbáceo, índice de diversidad de Shannon total (índice de Shannon arbóreo, arbustivo y herbáceo), cobertura, biomasa y profundidad de hojarasca, regeneración y reproducción vegetativa de la especie arbórea dominante.

- Variables abióticas: a) Cuantitativas: densidad aparente, densidad de la fracción fina, porosidad, pedregosidad, retención de agua (33 y 1500 kPa), clase textural, contenido de Carbono y Nitrógeno total y relación Carbono/Nitrógeno. b) Cualitativas: variables como clase textural, estructura, porosidad, raíces, pedregosidad y color en calicata descriptiva

para cada estado de degradación usando la metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2004)

2.3.1.- Variables bióticas

La medición de estas variables se realizó entre primavera 2012 y verano 2013.

- Flora

El listado florístico se realizó contabilizando las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas (perennes y anuales) dentro de cada una de las tres parcelas de cada estado de degradación. Para la identificación de las especies se utilizó la ayuda de herbarios y bibliografía, como el sitio web Tropicos.org del Missouri Botanical Garden (2013) y el Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Zuloaga *et al.*, 2008). Con este listado florístico se obtuvo la riqueza y origen geográfico de las especies (Nativas, Endémicas y Adventicias) para cada estado de degradación. La nomenclatura de nombres científicos de las especies y familias siguió los patrones usados por el Missouri Botanical Garden, en cambio para el origen geográfico se siguió lo establecido por Zuloaga *et al.* (2008). Cabe destacar que se les llamó especies endémicas a las especies que habitan solamente en Chile, pero en el Listado Florístico del Apéndice II se usó la definición de endemismo del Cono Sur descrito por Zuloaga *et al.* (2008).

- Vegetación

La cobertura vegetal total, por estratos e individual de cada especie y la abundancia de las especies arbóreas y arbustivas dentro de cada parcela de los Estados 1, 2 y 3 se midieron con el Método de Intercepto de Puntos (Matteucci y Colma, 1982), el cual registra las plantas presentes o ausentes en la proyección de un punto en el suelo

ayudándose en la medición con una vara de coligue de 2 m y 4 cm de diámetro y repitiendo esto mismo en varios puntos sobre un transecto. Se trazaron 6 transectos paralelos de 10 m de largo y separados por una distancia de 2 m dentro de cada parcela, tomándose 66 puntos de muestreo en cada parcela (los puntos tuvieron una distancia de 1 m entre ellos y en cada transecto se midieron 11 puntos). En cada punto se midió la cobertura de especies del estrato arbóreo (especies que toparon la proyección del punto sobre los 2 m de altura, ya sean árboles o arbustos) y del estrato arbustivo (especies que toparon la proyección del punto bajo los 2 m de altura, ya sean árboles o arbustos) para las parcelas del Estado 1 y 2, pero en el Estado 3, en la medición del estrato arbóreo y arbustivo se usó la proyección del punto sobre y bajo 1 m de altura, para obtener una medida más precisa de la cobertura arbustiva en altura. Con la información adquirida por este método, se realizaron los análisis de diversidad de Shannon y fitovolumen.

Se obtuvo la cobertura de cada especie por parcela, calculándose con la frecuencia de la proyección horizontal de las partes aéreas de los individuos sobre la superficie del suelo, y expresándose como porcentaje de la superficie total (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Luego, en cada parcela se calculó la abundancia relativa de cada especie para calcular el índice de diversidad de Shannon con la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \log_2 p_i)$$

Donde S es la riqueza de especies y p_i proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos.

Para medir la altura de los árboles del Estado 1 y 2 se utilizó un clinómetro y se consideró una distancia de 15 m entre el árbol medido y la persona que lo midió.

Por medio de los datos de cobertura y altura de los estratos arbóreo y arbustivo, se pudo obtener el fitovolumen del espesor de la vegetación aérea de cada parcela, el cual según Dopazo *et al.* (2009), representa el volumen aparente de la parte aérea de una planta proporcionando información referente a la estructura de la vegetación.

$$FV = \sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{Fa_{est}}{100}\right) E_{est} S}{S}$$

Donde *FVest* es el fitovolumen de biomasa aérea intersectada del estrato *i*, en *n* puntos (m³ m⁻²). *Eest* es el espesor promedio del estrato *i* intersectado, por parcela (m). *Faest* es la frecuencia acumulada del estrato *i*. *S* es la superficie de la parcela (m²).

La metodología empleada para medir cobertura de herbáceas dentro de las parcelas de cada estado de degradación fue mediante tres subparcelas de 1 × 1 m. En cada una de las subparcelas de 1 × 1 m, se midió la cobertura de cada especie de herbácea bajo los 0.5 m con el Método de Intercepto de Puntos, tomando 100 puntos dentro de la subparcela.

Para determinar la cobertura arbórea del Espino (*Acacia caven*) en la pradera (Estado 4), se utilizó una imagen satelital Google Earth (2012) y mediante el programa ArcGis, se delimitó un área de la pradera de 10.3 ha. Dentro de esta superficie se digitalizaron las coberturas del dosel de los árboles, para luego sumar sus coberturas mediante el mismo programa, pero su cobertura no se tomó en cuenta en el cálculo estadístico del ANDEVA por no ser comparable con el resto de los datos de abundancia.

Para la medición de la reproducción vegetativa de la especie arbórea dominante se contabilizaron los rebrotes mediante el Método de Intercepto de Puntos. Para la medición

de la regeneración de la especie arbórea dominante, se utilizaron subparcelas de 1×1 m, donde se realizó un conteo de plántulas de la especie dominante.

El estrato herbáceo se midió en otra fecha, usando tres subparcelas de 1×1 m en cada estado de degradación, lo cual no lo hizo tan comparable con el resto de los estratos, sobre todo al calcular la cobertura, índice de diversidad de Shannon y fitovolumen totales. El fitovolumen, cobertura e índice de diversidad de Shannon herbáceo también se calculó con el Método de los Cuadrantes (0.5×0.5 m), obteniéndose datos bajo cobertura de dosel y sin cobertura de dosel, permitiendo determinar el efecto nodriza. Para calcular la riqueza arbórea, arbustiva, herbácea y total, se consideró su presencia/ausencia en la parcela y no importó si se encontró en el estrato alto o bajo.

También se cuantificó la acumulación de hojarasca presente en el suelo de cada parcela mediante cuatro cuadrantes de 0.5×0.5 m (dos cuadrantes bajo cobertura de plantas leñosas y dos cuadrantes en espacios abiertos). Se determinó su profundidad, biomasa y porcentaje de cobertura considerando hojas y ramas no descompuestas o semidescompuestas. La hojarasca fue recolectada en bolsas de papel, para ser secada posteriormente en horno a 70°C por 48 h y determinado su peso seco.

2.3.2.- Variables abióticas

- *En terreno*

Las mediciones que se hicieron de las variables cuantitativas (e.g., análisis de textura, contenido de Carbono total, Nitrógeno total, Relación C/N y análisis de retención de agua) fueron en muestras de 1 kg de suelo. Éstas fueron extraídas en cada uno de los tres horizontes de cada calicata (obteniéndose tres muestras de 1 kg de suelo por calicata) y además se extrajeron dos muestras de 1 kg en los primeros 10 cm de profundidad del suelo

(una muestra con cobertura de follaje y una sin cobertura por parcela). Para los análisis de densidad aparente se extrajeron dos muestras tomadas con cilindros de 136.7 cm³ por cada uno de los tres horizontes de cada calicata (obteniéndose seis muestras por calicata). También se extrajo una muestra con el cilindro de densidad aparente de 136.7 cm³ en un suelo bajo cobertura de follaje y otra muestra en un suelo sin cobertura en cada parcela, obteniéndose seis muestras de densidad aparente por cada estado de degradación.

Para medir las variables cualitativas, en cada uno de los cuatro estados de degradación, se realizó una calicata descriptiva. Cada calicata tuvo 0.7 m de profundidad y un área de 0.5 × 0.5 m. En ella se describió la clase textural, estructura, porosidad, pedregosidad, porcentaje de raíces y coloración de cada horizonte (describiendo tres horizontes por calicata) utilizando el procedimiento del USDA (2004) y la tabla Munsell (Munsell Soil Color Charts, 1971).

- ***En laboratorio***

Para los análisis de textura del suelo se utilizó el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962), obteniéndose el porcentaje de arena, limo y arcilla; luego mediante el triángulo de textura de la USDA (2004) se determinó la clase textural.

Para los análisis de densidad aparente y densidad de la fracción fina del suelo, se extrajo la muestra de suelo que estaba dentro del cilindro y luego de pesarla se secó en el horno a 105°C hasta comprobar que estuviese completamente seca (peso de suelo constante al sacar la muestra del horno a distintos tiempos). Luego se calculó la densidad aparente de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad aparente (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Masa total del suelo seco}}{\text{Volumen total del suelo}}$$

El volumen total incluye el espacio poroso y las piedras (pedregosidad > 2mm).

La Densidad de la fracción fina fue estimada del mismo modo, utilizando:

$$\text{Densidad fracción fina (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Masa fracción fina suelo seco}}{\text{Volumen fracción fina suelo}}$$

La fracción fina de suelo (suelo menos la pedregosidad > 2mm).

En los análisis de retención de agua se utilizó una olla a presión que genera una tensión interna equivalente a 33 kPa (Modelo 1600, 5 Bar Pressure Ceramic Plate Extractor, Soil Moisture Equipment CO), que imita el potencial mátrico que se observa en el suelo en condiciones de saturación y drenaje libre después de 24 h posterior a una lluvia, conocido como Capacidad de Campo (CC), y otra olla a presión que genera una presión interna equivalente al potencial mátrico de 1.500 kPa (modelo 1500 15 Bar Pressure Plate Extractor, Soil Moisture Equipment CO), condición en la que una planta no puede extraer agua desde el suelo, denominado Punto de Marchitez Permanente (PMP). Este procedimiento se llevó a cabo en todas las muestras de suelo.

Para las mediciones físicas del suelo se utilizaron los protocolos del Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Las mediciones químicas del suelo (Contenido de Carbono y Nitrógeno total) se determinaron por análisis de gases a combustión completa, en el laboratorio de Biogeoquímica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

2.3.3.- Análisis estadísticos

Para las variables abióticas se usó ANDEVA de dos vías utilizando Estado de degradación y Cobertura como factores de variación. En las variables bióticas se utilizó ANDEVA de

una vía usando Estado como único factor de variación. Se corroboraron los supuestos de normalidad de residuos y homocedasticidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente. De existir diferencias significativas entre estados de degradación se llevó a cabo una prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar diferencias específicas. Para realizar estos análisis estadísticos se utilizó el programa R 3.0.1. (R Core Team, 2013)

Cabe mencionar que para las variables abióticas sólo se consideró en el ANDEVA las muestras de los primeros 10 cm superficiales del suelo, ya que para el muestreo en profundidad no se hicieron repeticiones. Las muestras de suelo se tomaron en las mismas parcelas que se utilizaron para el muestreo de vegetación.

2.4.- Medidas de restauración para cada estado de degradación

Con los resultados obtenidos de la comparación entre las variables bióticas y abióticas de cada estado de degradación, se realizó una evaluación de los niveles de degradación para cada variable. Esto permitió determinar el escenario en el cual se comienza a trabajar y a su vez, cuál acción sería más urgente de realizar; si proponer restauración pasiva y/o restauración activa, con el fin de favorecer la sucesión de un estado de mayor degradación a uno de menor degradación y así lograr expandir el Bosque de Frangel en el Valle del Colorado. Para esto es necesario conocer el proceso natural de sucesión ecológica que ocurre dentro del piso vegetacional del bosque esclerófilo andino.

Mediante revisión bibliográfica, se estudió en cada estado de degradación las fuentes de deterioro de la vegetación y suelo, su posible control, la disponibilidad de plántulas y

plantas, las interacciones planta-planta y planta-animal, entre otras limitantes de la restauración.

3.- Resultados y Discusión

3.1.- Estados de Degradación de Whisenant

En el recorrido realizado, sólo se encontraron cuatro estados distintos, los que fueron asociados a los estados 1, 2, 3 y 4 del diagrama hipotético de Whisenant. Debido a esto el Estado 1 se tomó como estado de referencia (Figura 3).



Figura 3: Selección de los cuatro Estados de Degradación según enfoque de Whisenant (1999) y criterio de expertos. Donde E1: Estado 1, E2: Estado 2, E3: Estado 3 y E4: Estado 4.

Se encontró un sector de bosque dominado por la asociación de *K. angustifolia*-*G. trinervis*, bastante conservado en términos de riqueza y diversidad de especies (Estado 1), otro sector de bosque dominado por la asociación de *K. angustifolia*-*C. integerrima* abierto e intervenido (Estado 2), un sector de matorral de *G. trinervis*, *Solanum ligustrinum* y

Haplopappus chrysanthemifolius (Estado 3), y un sector de pradera con pocos individuos de *A. caven* (Estado 4), como se muestra en la Figura 4.

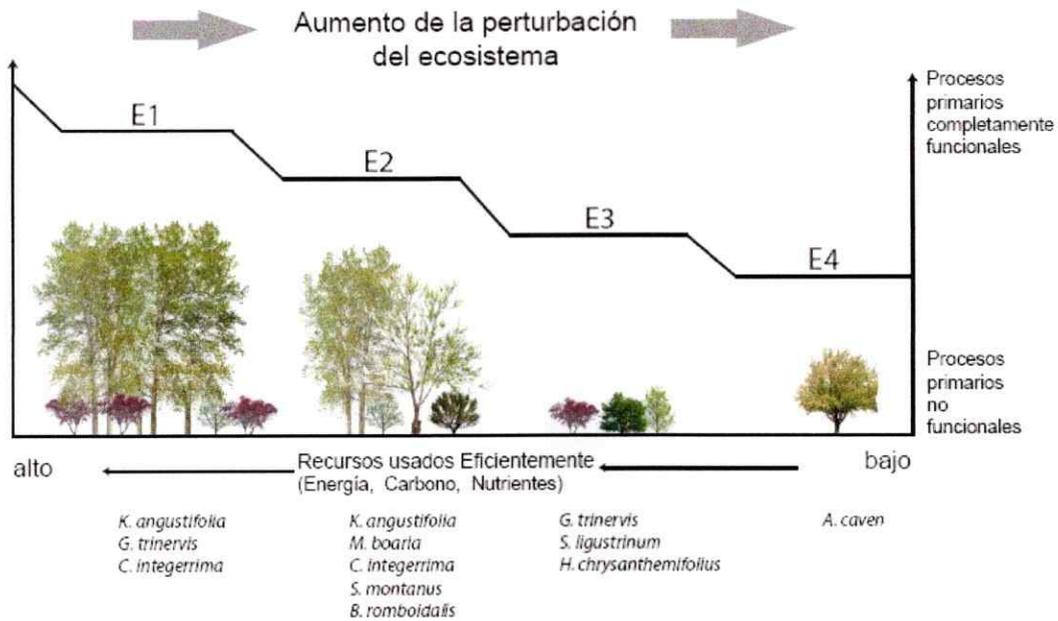


Figura 4: Esquema de los Estados de Degradación encontrados en el sitio de estudio con las especies leñosas más abundantes. Modificado a partir de Whisenant (1999).

En la evaluación de los estados de degradación por medio de la caracterización de las variables bióticas y abióticas (Tabla 1), se encontró para la mayoría de las variables un efecto debido solamente al estado de degradación, y sólo la variable humedad a PMP fue influida por el efecto del estado de degradación y además por el efecto de la cobertura, sin embargo, para ninguna variable de la Tabla 1 hubo efecto de la interacción.

Tabla 1: Resultados del ANDEVA para variables bióticas y abióticas en cuatro estados de degradación en el Predio Río Colorado. Los valores se presentan como promedios (± 1 error estándar, $n=3$) para cada Estado de Degradación. La diferencia significativa del promedio de la variable por el efecto del Estado de Degradación (E) y la condición con Cobertura (C) o la interacción entre Estado de Degradación y Cobertura (E*C), se muestran con un rango de P: ns, no significativo; *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$. Las letras cursivas distintas indican diferencia significativa.

Variable	Unidades	E1	E2	E3	E4	E	C	E*C
Cobertura Hojarasca	(%)	84.2 ± 7.2a	83.7 ± 7.5a	35.8 ± 7.1b	44.2 ± 6.6b	***	ns	ns
Profundidad Hojarasca	(cm)	2.29 ± 0.44a	2.75 ± 0.21a	1.04 ± 0.12b	1.08 ± 0.08b	***	ns	ns
Biomasa Hojarasca	(g m ⁻²)	756 ± 150b	1562 ± 287a	572 ± 183b	230 ± 52b	***	ns	ns
Cobertura Total	(%)	74.8 ± 2.5a	65.7 ± 5.6a	47.0 ± 2.6b	28.7 ± 1.0c	***	-	-
Cobertura Arbórea	(%)	56.6 ± 6.0	47.5 ± 13.8	0	0	ns	-	-
Altura Arbórea	(m)	9.02 ± 0.11a	5.13 ± 0.11b	0	0	***	-	-
Fitovolumen Arbóreo	(m ³ m ⁻²)	3.34 ± 0.55a	1.89 ± 0.55b	0	0	ns	-	-
Diversidad Arbórea	(H')	0.48 ± 0.04	0.52 ± 0.09	0	0	ns	-	-
Riqueza Arbórea	(n° especies/parcela)	1	1.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	0	ns	-	-
Rebrote Frangel	(%)	6.06 ± 2.62	9.09 ± 2.31	0	0	ns	-	-
Cobertura Arbustivas	(%)	41.4 ± 4.5	28.8 ± 9.1	47.0 ± 2.6	0	ns	-	-
Altura Arbustivas	(m)	0.55 ± 0.13b	1.26 ± 0.18a	0.48 ± 0.04b	0	*	-	-
Fitovolumen Arbustivas	(m ³ m ⁻²)	0.31 ± 0.09	0.33 ± 0.09	0.23 ± 0.03	0	ns	-	-
Diversidad Arbustiva	(H')	1.87 ± 0.14a	1.68 ± 0.48ab	0.56 ± 0.14b	0	*	-	-
Riqueza Arbustiva	(n° especies/parcela)	4 ± 0.6a	4a	1.7 ± 0.3b	0	**	-	-
Cobertura Herbáceas	(%)	36.3 ± 8.8a	3.7 ± 2.8b	45.8 ± 7.8a	54.8 ± 5.9a	***	ns	ns
Altura Herbáceas	(cm)	0.167 ± 0.008a	0.039 ± 0.022b	0.120 ± 0.011a	0.114 ± 0.023a	***	ns	ns
Fitovolumen Herbáceas	(m ³ m ⁻²)	0.061 ± 0.016a	0.0044 ± 0.0042b	0.055 ± 0.011a	0.064 ± 0.015a	**	ns	ns
Biomasa Herbáceas	(g m ⁻² año ⁻¹)	49.7 ± 6.9a	3.80 ± 3.4b	51.6 ± 4.9a	62.8 ± 6.8a	***	ns	ns
Diversidad Herbáceas	(H')	2.52 ± 0.07a	0.81 ± 0.36b	2.57 ± 0.08a	2.04 ± 0.25a	**	-	-
Riqueza Herbácea	(n° especies/parcela)	9 ± 3	2.7 ± 0.3	8 ± 1	7.3 ± 1.2	ns	-	-
Riqueza Endémicas	(n° especies)	6	3	3	1	-	-	-
Riqueza Nativas	(n° especies)	11	7	7	6	-	-	-
Riqueza Advenicias	(n° especies)	7	3	4	4	-	-	-
Riqueza Total Parcelas	(n° especies/parcela)	15.3 ± 3.0	9.7 ± 0.7	10.0 ± 1.0	7.3 ± 1.2	ns	-	-
Diversidad Total	(H')	1.51 ± 0.15	1.37 ± 0.77	0.56 ± 0.14	0	***	-	-
Fitovolumen Total	(m ³ m ⁻²)	3.71 ± 0.487a	2.23 ± 0.466a	0.28 ± 0.042b	0.06 ± 0.001b	***	-	-
Clase textural		<i>Franca arenosa</i>	<i>Franca arenosa</i>	<i>Franco arcillosa</i>	<i>Franco arcillo arenosa</i>			
Arena	(%)	61.2 ± 2.7a	57.3 ± 2.6a	43.3 ± 3.4b	54.0 ± 2.7ab	**	ns	ns
Limo	(%)	21.6 ± 1.8	25.7 ± 1.5	21.7 ± 0.9	21.5 ± 2.3	ns	ns	ns
Arcilla	(%)	17.2 ± 1.9b	17.1 ± 1.4b	35.0 ± 4.1a	24.6 ± 1.4ab	***	ns	ns
Densidad Aparente	(g cm ⁻³)	1.53 ± 0.07a	1.08 ± 0.12b	1.27 ± 0.04ab	1.45 ± 0.05a	**	ns	ns
Densidad Fracción Fina	(g cm ⁻³)	1.36 ± 0.06a	1 ± 0.11b	1.18 ± 0.04ab	1.3 ± 0.08ab	*	ns	ns
Porosidad	(%)	42.4 ± 2.4b	59.3 ± 4.5a	52.2 ± 1.7ab	45.4 ± 1.9b	**	ns	ns
Pedregosidad	(%)	23.2 ± 1.3	11.9 ± 2.3	11.7 ± 1.5	19.0 ± 5.8	ns	ns	ns
Contenido C Total	(%)	7.09 ± 1.10a	5.51 ± 1.14ab	2.83 ± 0.55bc	2.02 ± 0.21c	**	ns	ns
Contenido N Total	(%)	0.48 ± 0.07a	0.38 ± 0.08ab	0.21 ± 0.04b	0.17 ± 0.02b	**	ns	ns
Relación C/N	-	14.7 ± 0.5a	14.8 ± 0.3a	13.6 ± 0.3a	11.9 ± 0.4b	***	ns	ns
Humedad aprovechable	(mm)	15.7 ± 2.3	14.0 ± 1.8	12.6 ± 1.9	17.8 ± 2.6	ns	ns	ns
CC	(%)	46.7 ± 3.9a	33.4 ± 1.9b	35 ± 2.2b	36.2 ± 2.0ab	*	ns	ns

El bosque de *K. angustifolia* del Estado 1 se encontraba en mejores condiciones que el resto, debido a que estaba más apartado de corrales y caminos. El hecho que la densidad aparente de los 10 cm superficiales haya sido alta en relación a los otros estados, estaría ligado a que existían otras condiciones de sitio debido a la lejanía con el resto de los estados, ya que no se encontraron evidencias atribuibles al sobrepastoreo en esa área. Por otra parte, sí se presenció extracción de leña para fabricar carbón, pues a 250 m se encontró un horno clandestino donde hacían carbón con troncos de *K. angustifolia*. En este estado la acumulación de hojarasca no pareció ser significativa como para inhibir el crecimiento de plántulas de especies herbáceas, arbóreas y arbustivas, dado que compuestos bioquímicos presentes en las hojas de *K. angustifolia*, como cucurbitacinas y triterpenoides, inhiben la germinación de semillas de *K. angustifolia* y de otras dos especies nativas (Muñoz *et al.*, 2002; Cavieres *et al.*, 2007). Fue el estado que presentó mayor diversidad total, de plantas herbáceas y arbustivas.

El bosque de *K. angustifolia* del Estado 2 estaba cercano espacialmente a los Estados 3 y 4, pero más alejado del corral que ellos. Se observó una baja abundancia de herbáceas, la cual estaría relacionada al ganado, debido a que éste se alimenta de ellas en primavera. Se ha documentado que en invierno, en ausencia de herbáceas, el ganado se alimenta de brotes nuevos y plántulas de *K. angustifolia* (Córdova, 2001). Pero también, la ausencia de herbáceas y plántulas bajo dosel pudo estar relacionado a un efecto negativo producto de las cucurbitacinas y triterpenoides presente en la hojarasca de *K. angustifolia* (Muñoz *et al.*, 2002; Cavieres *et al.*, 2007), ya que este estado presentó los mayores valores de biomasa de hojarasca. Es importante mencionar que en el transcurso de las salidas a terreno se vio una disminución de la presencia de *K. angustifolia*, la cual estaría ligada a la

continua extracción de su madera, indicando que este sitio poseía una cobertura arbórea mayor a la actual, evidenciada por la alta acumulación de hojarasca encontrada. Se sugiere que la ausencia de *G. trinervis* fue reemplazada por *C. integerrima*, la cual mostró un valor alto en cobertura. Se ha documentado que es posible que *C. integerrima* prefiera sitios expuestos a avalanchas de nieve; en cambio, *G. trinervis* se establecería en sitios donde el bosque fue explotado (Tellier *et al.*, 2011).

El Estado 3 se encontraba a media ladera, en un sector que presentaba bastante degradación de la vegetación y del suelo, en el cual crecía mayoritariamente el matorral de *G. trinervis*, ya que las características físicas actuales de este suelo (alto contenido de arcilla superficial y bajo contenido de carbono total), la presencia de herbívoros como el conejo europeo y el sobrepastoreo estarían dificultando el restablecimiento de las especies arbóreas y arbustivas nativas (Yates *et al.*, 2000; Holmgren, 2002), debido a que en otros sectores con condiciones similares de pendiente, exposición y altitud, pero más alejadas de corrales, sí crecían árboles como *K. angustifolia*, *Maytenus boaria* y *K. oblonga*. Por otro lado, la evidencia de la alta abundancia de *G. trinervis* estaría relacionada a su capacidad de colonizar ambientes donde el bosque fue explotado (Tellier *et al.*, 2011). Riedemann y Aldunate (2004) han documentado que la extracción de *K. angustifolia* para usarla como combustible y construcciones menores ha contribuido a su disminución.

Las condiciones desfavorables del Estado 4 estarían generadas por la historia de uso de suelo, donde la actividad ganadera ha sido intensiva y prolongada desde que los pequeños ganaderos han hecho uso de estos sectores como invernada (Otoño-Invierno) para el pastoreo de caprinos y ovinos principalmente. A 500 m del lugar se encontró un corral con caballos y una cabaña que estaba en uso, lo cual comprobó la actual presencia de ganado

en la zona. Este ganado al no ser dirigido hacia distintos sectores para pastorear, se concentraba en los alrededores del corral generando una mayor intensidad de pastoreo, la cual estaría provocando una constante degradación vegetal por ramoneo, escasa regeneración de especies nativas y endémicas y compactación superficial del suelo, las cuales generan erosión (Yates *et al.*, 2000; Holmgren, 2002). Por otro lado, otro agente causal de la degradación vegetal provocada por la herbivoría, debido a que impide la regeneración y renovación de especies nativas y endémicas en el Estado 4, sería el conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*), el cual es abundante en sitios con baja cobertura arbustiva (Fuentes y Jaksic, 1980). Se ha documentado que existe una alta mortalidad de plántulas del matorral de Chile Central provocada por los conejos europeos (Fuentes *et al.*, 1983). Si bien no se cuantificó directamente la abundancia de individuos, se estimó que su población era grande producto de abundantes fecas y madrigueras encontradas en el Estado 3 y 4 mayormente.

3.2. – Caracterización de Variables Bióticas

Las variables bióticas que mejor describieron el comportamiento hipotético esperado por el modelo de Whisenant, fueron aquellas que presentaron el valor máximo o mínimo (esperable según la variable) en el estado menos degradado y fueron aumentando o disminuyendo respectivamente con la degradación (Tabla 1). Dentro de las variables que disminuyeron significativamente con el aumento de la degradación, la diversidad de Shannon y riqueza arbustiva, la altura arbórea, y la cobertura y fitovolumen totales fueron las que mejor representaron el modelo, destacando la cobertura total que fue disminuyendo de forma paulatina con el aumento de la degradación (Tabla 1). La riqueza total de especies fue independiente del estado de degradación, pero la riqueza de especies

endémicas y nativas fue casi el doble en el estado menos degradado comparado con el más degradado (Tabla 1). Las variables del estrato herbáceo fueron las únicas que aumentaron significativamente con el aumento de la degradación producto del aumento de especies herbáceas adventicias favorecidas por el ganado (Holmgren *et al.*, 2000), a excepción del Estado 2 que presentó valores más bajos de cobertura, altura, diversidad, fitovolumen y biomasa de herbáceas de lo que se esperaba, lo cual estaría asociado al efecto negativo de la alta concentración de hojarasca encontrada, la cual inhibiría la germinación de especies producto de cucurbitacinas y triterpenoides (Muñoz *et al.*, 2002; Cavieres *et al.*, 2007) (Figura 5 y Tabla 1).

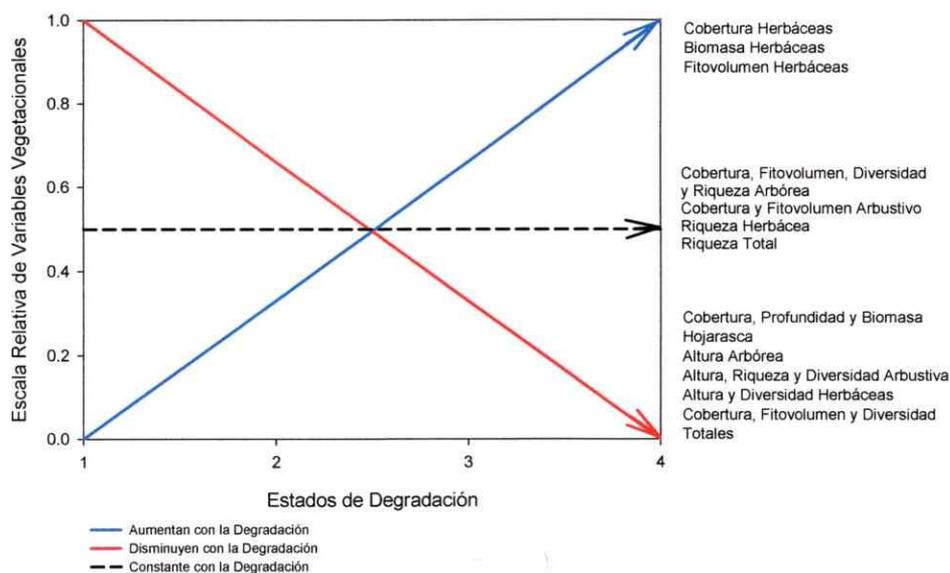


Figura 5: Variables bióticas agrupadas según comportamiento hipotético similar frente a un aumento en el nivel de degradación.

Los resultados de la caracterización de la estructura y composición de la vegetación por medio del reconocimiento de la flora de cada estado de degradación se muestran en la Tabla del Apéndice II y Figura 6.

Se pudo observar, tanto en la Figura 6 como en el Listado Florístico del Apéndice II, que los estados menos degradados poseen especies en los tres estratos vegetacionales (estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo), obteniéndose especies endémicas y nativas en los estratos arbóreos y arbustivos, dado que las especies adventicias sólo estuvieron presente en el estrato herbáceo. En cambio, en el Estado 4 sólo estuvo presente el estrato herbáceo a excepción de *A. caven*, en el cual se encontraron mayoritariamente especies adventicias, en menores proporciones nativas y por último endémicas.

En el estrato arbóreo, la cobertura, altura y fitovolumen de *K. angustifolia* disminuyó considerablemente con el aumento de la degradación. Si bien se encontró presente en el Estado 3, sus ejemplares eran juveniles, por lo cual no cubrían gran área dentro de la parcela. En el Estado 4 no se pudo ver esta especie, en su reemplazo se encontraron individuos de *A. caven*, pero con baja abundancia, por lo cual ninguno se muestreó dentro de las parcelas (Figura 6, Apéndice II). Por otro lado, se ha documentado que la presencia de la especie *A. caven* es un indicador de suelos degradados donde abunda el ganado, y su permanencia en el área impide la recuperación del matorral (Arnesto y Pickett, 1985; Ovalle *et al.*, 1990; Van de Wouw, 2011).

En el estrato arbustivo, las especies *Schinus polygamus* (Huingán) y *Proustia cuneifolia* (Huañil) sólo estuvieron presentes en el Estado 1, mientras que *Colliguaja integerrima* (Duraznillo) y *Schinus montanus* (Litrecillo) fueron desapareciendo en los estados más degradados (Figura 6, Apéndice II). Por otro lado, se pudo comprobar que la asociación vegetacional de *K. angustifolia* y *G. trinervis* sólo estuvo bien representada en el Estado 1 (Figura 6, Apéndice II). Por otro lado, se pudo corroborar que la asociación vegetacional documentada por Luebert y Pliscof (2006) como propia de este piso vegetacional de *K.*

angustifolia, *G. trinervis* y *C. integerrima* sólo estuvo bien representada en el Estado 1; en el Estado 2 no se vio *G. trinervis* y además, la cobertura de *C. integerrima* fue mayor, lo cual estaría asociado a una colonización particular por parte de la vegetación producto de distintas condiciones edáficas modificadas por la degradación (diferente aporte de MO por organismos, rocas desprendidas, aluviones, entre otros). Tellier *et al.* (2011) sugiere la posibilidad de que *C. integerrima* ocupe los sitios más expuestos a avalanchas de nieve.

En el estrato herbáceo del Estado 1, la cantidad de especies adventicias fue equiparada con las nativas, mientras que en el resto de los estados de mayor degradación, la cantidad de herbáceas adventicias fue mayor, lo cual era esperable debido a la presencia de ganado (Holmgren *et al.*, 2000) (Figura 6, Apéndice II). Si bien la especie adventicia *Erodium cicutarium* estuvo presente en todos los estados de degradación, aumentó notablemente en los estados más degradados (Figura 6).

En los análisis de vegetación no se encontró regeneración de plántulas de *K. angustifolia*. Si bien se midió el estrato herbáceo a través del método de las subparcelas de 1 × 1 m, en ninguno de los muestreos realizados en el gradiente de degradación se detectó la existencia de plántulas de *K. angustifolia*, lo cual indicaría que las semillas de esta especie no están germinando, o bien, existe mortalidad de plántulas producto de la herbivoría ejercida por el conejo europeo (Fuentes *et al.*, 1983). Evidencias experimentales han mostrado que el reclutamiento de semillas está siendo limitado por múltiples factores ecológicos como la depredación, dispersión, germinación y sobrevivencia de semillas (Fuentes *et al.*, 1986; Retana *et al.*, 1999; Córdova, 2001; Acácio *et al.*, 2007). En estudios realizados en el valle de Yerba Loca también se detectó que la regeneración de *K. angustifolia* en comunidades arbóreas fue casi nula (Córdova, 2001).

Por otro lado, los resultados de la presencia de rebrotes de *K. angustifolia* en los Estados 1 y 2 (Tabla 1), sugeriría una capacidad vigente por parte de esta especie de mantenerse y permanecer en el tiempo. Los rebrotes estarían favorecidos por el lignotuber, característica adaptativa que presentan muchas especies esclerófilas leñosas que les permite rebrotar y sobrevivir después de un incendio o poda intensiva (Araya y Avila, 1981). Sin embargo, surgen preguntas sobre si estos nuevos rebrotes encontrados serán capaces de establecerse y llegar a estados de crecimiento más avanzados; y si asociado a esto, están dadas las condiciones abióticas (e.g., nutrientes y disponibilidad de agua) y bióticas (e.g., asociaciones como el efecto nodriza) apropiadas para ello.

Estos resultados sugieren que es recomendable hacer restauración natural asistida mediante reintroducción de plantas de especies arbóreas y arbustivas en todos los estados de degradación, para lo cual habría que crear diferentes estrategias uniendo prácticas de restauración activa con pasiva, como la de plantar individuos de 1 m de alto, o bien, proteger a las plantas menores de 1 m con malla de gallinero de 50 cm de perímetro y 80 cm de alto, con el fin de evitar la herbivoría del conejo (Jaksic y Fuentes, 1980). Además, se debe cercar el perímetro del sitio plantado, para protegerlo principalmente de cabras y ovejas. De estos resultados, se puede sacar en limpio que la alternativa de realizar una siembra directa es más riesgosa, dado que no hay suficiente información sobre los factores que están impidiendo la regeneración sexual de *K. angustifolia* en el área (Córdoba, 2001).

3.3. – Caracterización de Variables Abióticas

3.3.1. – Variables Abióticas medidas en los 10 cm superficiales del suelo

Las variables abióticas medidas cuantitativamente que se comportaron de mejor forma, según el modelo hipotético de Whisenant, fueron aquellas donde el Estado 1 presentó el valor máximo o mínimo (esperable según la variable) y fueron aumentando o disminuyendo respectivamente con la degradación (Tabla 1). Entre las variables que aumentaron significativamente su valor con el aumento de la degradación, se encuentra el porcentaje de arcilla superficial del suelo, que fue el que mejor representó el modelo, donde el valor del Estado 3 fue el doble comparado con los dos menos degradados, lo cual demostraría una pérdida del horizonte superficial orgánico de los suelos más degradados (Tabla 1). Entre las variables que disminuyeron significativamente con el aumento de la degradación, la CC, el PMP, el contenido de Carbono y Nitrógeno total junto a la relación C/N, fueron las que representaron de mejor manera lo esperado, destacando la variable contenido de Carbono total que fue la más ordenada en describir la disminución de su valor con el aumento de la degradación (Tabla 1 y Figura 7). Por otro lado, el PMP disminuyó significativamente al aumentar la degradación (Tabla 1), siendo la única variable que fue significativamente mayor bajo cobertura que en espacios abiertos dando un promedio porcentual de 22.94 ± 2.77 de error bajo cobertura y un promedio de 16.33 ± 1.40 de error sin cobertura ($P= 0.02$).

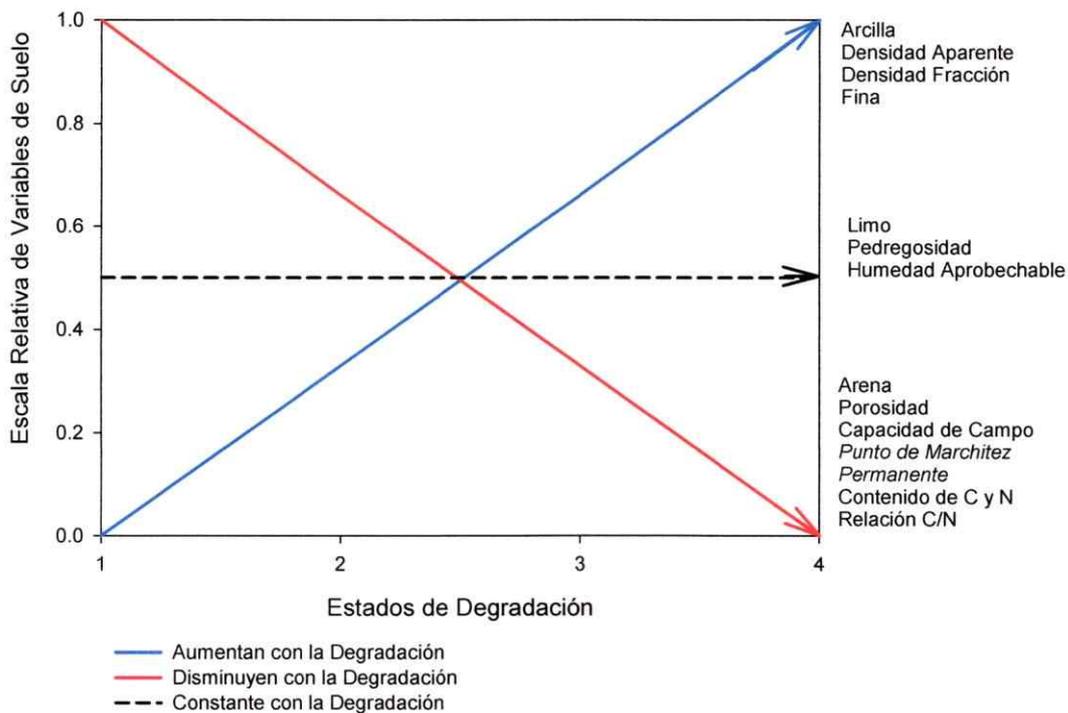


Figura 7: Variables abióticas agrupadas según un comportamiento hipotético similar frente a un aumento en el nivel de degradación.

3.3.2. - Variables Abióticas medidas en Profundidad (Calicatas)

Los resultados de la caracterización de las variables abióticas en profundidad se pudieron observar tanto en la descripción cuantitativa como cualitativa de las calicatas.

- Descripción Cuantitativa

La descripción cuantitativa se hizo comparando las mismas variables abióticas anteriores (calculadas para los primeros 10 cm de profundidad), pero analizándolas en profundidad en cada uno de los tres horizontes de la calicata, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Descripción cuantitativa de las variables abióticas por horizonte de cada calicata

Variables Calicata		Estado 1			Estado 2			Estado 3			Estado 4		
Horizonte		A	Bt1	Bt2	Ap	A	B	A	B	C	A	Bt1	Bt2
Profundidad horizonte (cm)		29	28	19	27	23	25	14	16	30	16	14	40
Textura (%)	Arena	49.0	57.3	78.4	45.4	52.5	52.9	61.0	56.4	52.0	47.4	41.6	39.3
	Limo	27.2	23.0	10.4	29.4	21.7	20.9	21.7	14.8	14.1	26.5	21.6	19.5
	Arcilla	23.8	19.7	11.2	25.2	25.8	26.2	17.3	28.8	33.9	26.1	36.8	41.2
Clase textural		FaA	Fa	Fa	aF	FaA	FaA	Fa	FaA	FaA	FaA	FA	Aa
Densidad aparente (g cm-3)		1.34	1.57	1.45	1.53	1.65	1.50	1.14	1.62	1.67	1.27	1.64	1.62
Densidad fracción fina (g cm-3)		1.25	1.21	0.88	1.34	1.26	1.30	1.02	1.49	1.58	1.11	1.51	1.59
Porosidad (%)		49.41	40.61	45.25	42.33	37.69	43.40	57.15	38.95	36.84	51.93	38.17	39.02
Pedregosidad (%)		13.18	42.64	57.64	24.52	43.90	26.24	16.97	18.07	14.04	22.00	18.75	3.32
Contenido de C total (%)		2.35	1.84	0.75	6.67	3.69	2.28	2.66	1.65	0.62	2.69	1.00	0.87
Relación C/N		14.99	16.93	13.52	15.36	16.61	15.05	12.60	12.57	12.36	10.77	14.08	14.51
Contenido de N total (%)		0.16	0.11	0.06	0.43	0.22	0.15	0.21	0.13	0.05	0.25	0.07	0.06
CC		31.29	31.81	18.78	33.50	30.51	27.95	21.46	32.09	43.09	25.67	33.19	32.29
PMP		16.69	17.53	12.64	16.83	20.09	18.28	9.80	20.28	13.57	11.83	19.50	20.80
Humedad Aprovechable		14.60	14.27	6.14	16.67	10.42	9.68	11.66	11.81	29.53	13.83	13.69	11.49

Como se pudo apreciar en la Tabla 2, las características de los horizontes del suelo en los cuatro estados descritos fueron similares, describiéndose dos horizontes B con iluviación de arcilla (Bt1 y Bt2) en las condiciones más contrastantes de degradación (Estados 1 y 4). Sin embargo, los porcentajes de arcilla determinados en laboratorio con el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962), indicaron que en el Estado 4 el contenido de arcilla en profundidad fue mayor que en el Estado 1 en todos los horizontes del perfil. Esto pudo deberse a que las características edáficas en el Estado 1 y 4 eran distintas, debido a diferencias en las propiedades del suelo a nivel de sitio que dependen de flujos de masa dentro de una misma unidad (aluviones, desprendimientos de masa, entre otros), y puede que no se deba solamente a la pérdida de materia orgánica (MO) en el primer horizonte producto de la degradación. Se sugiere que la formación de suelo del Estado 4 pertenece a

un suelo joven, producto del acarreo de arcilla influida por los deshielos que se ha ido acumulando en la baja ladera de la pradera donde se midieron las variables. Esto se puede correlacionar con la baja porosidad medida en el Estado 4, debido a que se encontró un suelo poco estructurado.

Como es de esperar en un proceso de degradación de suelos, se modifican parámetros tanto químicos, físicos como hidrológicos, entre otros. Al realizar la distinción entre estados para suelos con distintos niveles de modificación en su cobertura vegetal, los parámetros más sensibles de ser modificados dadas estas condiciones, son el grado de compactación y de acumulación de MO en los suelos, muy especialmente en los horizontes más superficiales (contenido de Carbono) y subsuperficiales (compactación, evidencia de planos compactados). Como se observó en la Tabla 2, los niveles de contenido de Carbono total entre el estado menos degradado (Estado 1) y el estado más degradado (Estado 4), indicaron que el contenido de Carbono medido fue similar para ambos estados en el horizonte A, lo que pudo deberse a que en el Estado 1, tanto la degradación de la litera del bosque y su conversión a MO del suelo, fue reducida. Sin embargo, el Estado 2, correspondiente a un bosque con mayores rasgos de intervención y menor cobertura vegetal que el Estado 1, evidenció una acumulación de MO superior respecto al Estado 4. Esto pudo deberse a que en el Estado 2, al poseer menor cobertura vegetal que el Estado 1, el impacto de la precipitación fue mayor, así como las variaciones de temperatura, lo que facilitó la degradación de la litera en MO estabilizada. De esta forma, la mayor acumulación de MO estabilizada, presenciada como una mayor cantidad de hojarasca en el suelo, se evidenció hasta cierto grado por el contenido de Carbono total del suelo, que fue disminuyendo en los estados más degradados.

Tanto la compactación, es decir los valores de densidad aparente, como la MO del suelo y por tanto, su contenido de Carbono, influyen sobre otros factores como son la estructura, la porosidad y, a escalas de tiempo más grandes, eventualmente la textura del suelo (Kehr, 1983; Novoa *et al.*, 1991; Hudson, 1994; Kay *et al.*, 1997; Seguel *et al.*, 2003). De esta forma, y a grandes rasgos, se pudo apreciar como la modificación de la cobertura vegetal de un suelo puede afectar las características de los suelos. Si se observa la Tabla 2, hubo factores que no presentaron diferencias atribuibles a las distintas condiciones de degradación, como fueron la clase textural, la pedregosidad, y por tanto la capacidad de retención de agua por parte del suelo en profundidad, como indicó el valor de humedad aprovechable. Sin embargo, sí hubo factores modificables por el estado de degradación que pudieron alterar el ingreso de agua en el perfil, como fue el grado de compactación del suelo, que pudo llegar a modificar la porosidad y estructura de suelo, y por otro lado, la acumulación de MO superficial, que pudo evidenciarse en el valor de contenido de Carbono total (Tabla 2).

Para tener una visión más general del comportamiento de las variables en el perfil descrito del suelo, se determinó el promedio ponderado con los valores de los tres horizontes como se muestra en la Tabla del Apéndice III, exceptuando la variable humedad aprovechable, que fue calculada como la suma acumulativa de todos los horizontes para cada calicata, debido a las distintas propiedades estructurales, de porosidad y de textura a las cuales se relaciona.

Se pudo observar en la Tabla del Apéndice III que el porcentaje promedio de arcilla del perfil fue mayor en las calicatas que estaban en los estados más degradados, mientras que con el porcentaje de arena sucedió lo contrario. El valor de humedad aprovechable también

aumentó en los estados más degradados, lo cual se correlaciona con el mayor contenido de arcilla de estos suelos, la cual retiene mayor cantidad de agua que la arena. Curiosamente la pedregosidad disminuyó con el aumento de la degradación, lo cual estaría relacionado a que los dos estados menos degradados se encontraban en una posición fisiográfica de cumbre, mientras que el resto se encontraba en media ladera. Los contenidos de Carbono y Nitrógeno totales resultaron ser mayores en el primer horizonte de cada calicata, observándose un aumento notable en el Estado 2, producto de la mayor acumulación de hojarasca (Tabla 2 y Apéndice III).

- Descripción Cualitativa

La caracterización cualitativa de las variables abióticas mediante calicatas descriptivas se muestra en la Tabla del Apéndice IV. Por lo general, las descripciones de las variables cualitativas se ajustaron con las cuantitativas. Los valores de textura obtenidos en las calicatas mediante la utilización de la guía de la USDA (2004) fueron cercanos a la clase textural medida cuantitativamente con el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962). En ambas mediciones el porcentaje de arcilla aumentó con la profundidad y con la degradación (Tabla 2, Apéndice III y IV). Los valores de pedregosidad disminuyeron con el aumento de la degradación, tanto en las variables cuantitativas como cualitativas (Apéndice III y IV), producto de las características geográficas mencionadas anteriormente.

Como se pudo apreciar en la Tabla del Apéndice IV, el Estado 2 fue el único que presentó un horizonte Ap, lo cual evidenció intervención humana, en este caso por compactación

superficial, debido al impacto de la precipitación en un suelo con poca cobertura vegetal debido a la continua extracción de maderas, lo que afectaría la infiltración de agua en profundidad del perfil. Por otro lado, la alta acumulación de hojarasca encontrada en el Estado 2 disminuiría este efecto.

Si se observa la Tabla del Apéndice IV, la descripción del perfil indicó que en el horizonte A del Estado 3, existieron planos compactado entre los 3 y 4 cm de profundidad, así como en el horizonte A del Estado 4, hubo evidencia de compactación superficial al observarse láminas por compactación en la superficie del suelo. Esto último, considerando que las posiciones de pendiente de las calicatas de los cuatro estados fueron similares (entre 15 y 20%; ver Tabla del Apéndice IV), indicó que la falta de cobertura vegetal (principalmente arbórea) en el Estado 3, y en un mayor grado en el Estado 4, han determinado que el impacto de las precipitaciones sobre la superficie del suelo, así como del paso de animales y personas, hayan generado compactación, situación que no se observó en la descripción de la calicata en el Estado 1, donde la mayor cobertura vegetal, tanto aérea como acumulación de una litera de hojarasca superficial, han impedido que se generen planos de compactación.

Siguiendo el diagrama de degradación de Whisenant (1999) (Figura 1), que habla de la existencia de un umbral controlado por factores bióticos presente entre el Estado 1 y Estado 2 de degradación, se encontraron cuatro variables bióticas en las cuales se vio este umbral: altura arbórea, altura herbácea, índice de diversidad de Shannon herbácea e índice de diversidad de Shannon total. También se encontró la variable de suelo CC separada por este umbral (Figura 8).

Para el umbral controlado por factores abióticos del modelo de degradación de Whisenant (1999) (Figura 1), que separa el Estado 2 del Estado 3, se encontraron dos variables abióticas: porcentaje de arena y de arcilla. Pero también se obtuvieron 10 variables bióticas separadas por este umbral: cobertura, biomasa y profundidad de hojarasca, cobertura y fitovolumen de herbáceas y totales, altura arbórea y arbustiva y riqueza arbustiva (Figura 8).

Si bien el modelo de degradación de Whisenant (1999) no se refiere a un umbral entre el Estado 3 y 4, se encontraron variables bióticas y de suelo que presentaron una diferencia similar a la de los dos umbrales anteriores; estas variables fueron: altura, índice de diversidad de Shannon y riqueza arbustiva, cobertura e índice de diversidad de Shannon totales para vegetación, y relación C/N para suelo (Figura 8).

Para las variables bióticas cobertura, fitovolumen e índice de diversidad de Shannon arbóreo, cobertura y fitovolumen arbustivo, no se obtuvo diferencia significativa al comparar sus promedios en el ANDEVA de una vía. Sin embargo, si se comparase el valor de su estado más degradado respectivo con el Estado 4, para el cual el valor es cero, lo más probable es que encontraría diferencia significativa. Por lo tanto, se sugiere que existiría un umbral entre el Estado 2 y Estado 3 para las variables cobertura, fitovolumen e índice de diversidad de Shannon arbóreo y un umbral entre el Estado 3 y 4 para las variables cobertura y fitovolumen arbustivo.

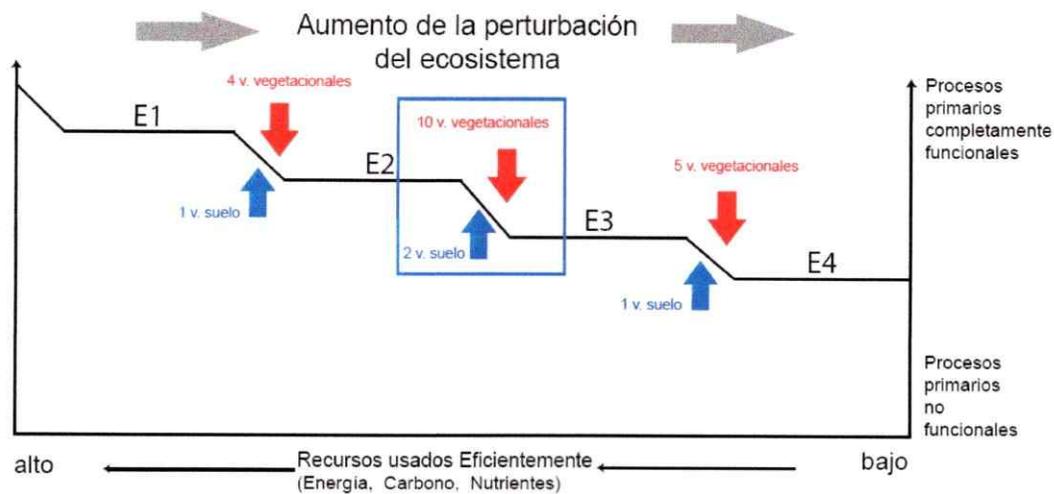


Figura 8: Número de variables bióticas y abióticas que muestran diferencias entre estados de degradación para diferenciar los umbrales del Diagrama de Degradación de Whisenant (1999).

El diagrama de la Figura 8 mostró que hubo 12 variables de un total de 35 que fueron sensibles al gradiente de degradación producto de cambios significativos entre el Estado 2 y el Estado 3; así mismo hubo cinco variables que demostraron cambios significativos entre el Estado 1 y Estado 2, y otras seis variables entre Estado 3 y 4. Por lo tanto, un total de 23 variables resultaron ser relevantes en mostrar diferencias entre estados degradados.

Si bien las diferencias significativas encontradas en estas variables no fueron suficientes para decir que hay evidencia de la existencia de umbrales (biótico y abiótico) que estarían limitando la recuperación del ecosistema, sí se puede afirmar que los procesos que condicionan estas variables pueden incidir fuertemente sobre la restauración de estos estados de degradación. Por ejemplo, una menor disponibilidad de nutrientes, representada por la variable contenido de nitrógeno total, puede limitar el crecimiento de plantas, sobre todo de las más competitivas (FAO, 1999).

Con este diagrama, más los valores de las variables medidas en terreno, se pudo diagnosticar el escenario de degradación en que se encontró cada estado, tanto a nivel estructural como de composición, permitiendo dar cuenta de la condición (buena, regular o pobre) en que se encontró el ecosistema para regenerarse por sí mismo (Tabla del Apéndice V). Si bien el Estado 1 presentaba degradación, se pudo tomar como referencia al cual poder aspirar (buena condición), aunque no todas las variables bióticas y abióticas medidas hayan dado lo esperado en un estado de referencia; sin embargo, éstas fueron excepciones, por lo general sus valores fueron los máximos o mínimos esperados según la variable medida. Estas excepciones pudieron ser debidas al distinto material parental formador de suelo donde se encontraba el Estado 1.

Según Hobbs y Norton (2004), no se pueden examinar todas las limitaciones de un ecosistema; se debe mirar las mediciones de sus funciones y estructuras para identificar aquello que está resistiendo la transición de un estado a otro a lo largo de una trayectoria. La Tabla 3 trata de reunir las principales debilidades diagnosticadas por medio de las variables bióticas y abióticas que estarían desfavoreciendo la recuperación de cada estado de degradación.

Tabla 3: Variables o fuentes de perturbación que estarían desfavoreciendo la recuperación en cada estado de degradación.

Variables	Fuente de Perturbación Actual			
	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4
<i>Cobertura, Profundidad, Biomasa Hojarasca</i>	Alta acumulación hojarasca Frangel por sequía estival estaría inhibiendo la regeneración	Alta acumulación hojarasca Frangel por sequía estival estaría inhibiendo la regeneración	Déficit hojarasca por erosión, pendiente y falta de cobertura vegetal	Déficit hojarasca por falta de cobertura vegetal
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y</i>	Floreo para producción de carbón	Floreo excesivo y constante. Exceso hojarasca Frangel estaría inhibiendo	Baja cobertura y regeneración arbórea de Frangel	Nula cobertura y regeneración arbórea de Frangel. Baja cobertura y regeneración arbórea de

<i>Riqueza Arbórea</i>		la regeneración		Espino
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Arbustiva</i>	Ramoneo y sobrepastoreo de ganado	Ganado y exceso hojarasca Frangel estaría inhibiendo la regeneración	Ganado y erosión superficial	Exceso de ganado y erosión superficial
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Herbáceas</i>	Ramoneo y sobrepastoreo de ganado	Ganado y exceso hojarasca Frangel estaría inhibiendo la regeneración	Ganado, erosión superficial y sequía estival	Ganado, erosión, falta de fuentes cercanas de reclutamiento de semillas nativas para favorecer la sucesión, invasión de especies adventicias
<i>Cobertura y Fitovolumen Total</i>	Floreo y ganado	Floreo y ganado	Ganado y erosión superficial	Ganado, erosión, sequía e invasión de especies adventicias
<i>Riqueza y Diversidad Total</i>	Ganado	Exceso hojarasca Frangel y ganado	Ganado, erosión y falta de fuentes cercanas de reclutamiento de semillas nativas	Ganado, erosión, falta de fuentes cercanas de reclutamiento de semillas nativas e invasión de especies adventicias
Abióticas*				
<i>% Arcilla</i>	Arrastre de partículas finas de arcilla por degradación y escorrentía	Arrastre de partículas finas de arcilla por degradación y escorrentía	Alto % arcilla por pérdida de MO en Horizonte superficial por escorrentía	Alto % arcilla por pérdida de MO en Horizonte superficial por escorrentía/Arrastre de partículas de arcilla depositándose en la pradera
<i>Densidad Aparente, de Fracción Fina y Porosidad</i>	Compactación por ganado	Compactación por ganado	Compactación por ganado y lluvia	Compactación por ganado y lluvia
<i>Pedregosidad superficial</i>	Escorrentía	Escorrentía	Escorrentía	Escorrentía
<i>Contenido de C, N y Relación C/N</i>	Baja degradación de hojarasca a MO	Acumulación de hojarasca	Baja acumulación de MO por escorrentía	Baja acumulación de MO por escorrentía
<i>Humedad Aprovechable, Capacidad Campo y Punto Marchitez Permanente</i>	Pérdida de partículas de arcilla superficiales por escorrentía	Pérdida de partículas de arcilla superficiales por escorrentía	Pérdida de MO en Horizonte superficial por escorrentía	Pérdida de MO en Horizonte superficial por escorrentía y acumulación de arcilla por arrastre de partículas

*se consideraron tanto variables abióticas cuantitativas como cualitativas, muestreo en profundidad y en 10 cm superficiales del suelo.

3.4.- Medidas de Restauración

Para muchos ecosistemas, los umbrales de restauración existen como resultado de la actividad humana, los cuales impiden que el ecosistema retorne a un estado menos degradado sin la ayuda de prácticas de manejo, restauración y esfuerzos alternativos (Aronson *et al.*, 1993; Whisenant, 1999; Hobbs y Harris, 2001)

Para proponer medidas de restauración para pasar de un estado de mayor degradación a su estado siguiente de menor degradación, lo primero fue evaluar su condición de perturbación actual (comparando el valor de la variable respectiva con los valores que se obtuvieron en el resto de los estados de degradación). Segundo, se tuvieron que determinar las fuentes de perturbación que lo llevaron a estar en tal estado de degradación, para luego enfocarse en iniciar una restauración eliminando tal fuente de perturbación, con el fin de ayudar en lo posible a que el ecosistema se recupere por sí mismo, mediante medidas de restauración que frenen la degradación (Tabla 4), o bien, proponer medidas de restauración concretas para favorecer la recuperación (Tabla 5).

Tabla 4: Medidas de restauración aplicables por grupo de variables para frenar la degradación actual en cada estado de degradación.

Variables	Medidas de Restauración para frenar la degradación actual			
	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4
<i>Cobertura, Profundidad, Biomasa Hojarasca</i>	Agregar compost para disminuir efecto inhibidor de hojarasca Frangel	Agregar compost para disminuir efecto inhibidor de hojarasca Frangel	Proteger el suelo superficial de la erosión con compost y diques de contención	Proteger el suelo superficial de la erosión con compost y diques de contención
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza</i>	Eliminar floreo y extracción de madera	Eliminar floreo y extracción de madera	Cercar o disminuir ganado y poner malla protectora de conejo europeo	Cercar o disminuir ganado y poner malla protectora de conejo europeo

<i>Arborea</i>				
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Arbustiva</i>	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo, frenar erosión con diques de contención	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo, frenar erosión con diques de contención
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Herbáceas</i>	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo, frenar erosión con diques de contención	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo, frenar erosión con diques de contención
<i>Cobertura y Fitovolumen Total</i>	Eliminar floreo y extracción de madera y poner malla protectora de conejo europeo	Eliminar floreo y extracción de madera y poner malla protectora de conejo europeo	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo, frenar erosión con diques de contención	Cercar o disminuir carga ganadera y poner malla protectora de conejo europeo, frenar erosión con diques de contención
<i>Riqueza y Diversidad Total</i>	Mezclar hojarasca de Frangel con compost y disminuir ganado y poner malla protectora de conejo europeo	Mezclar hojarasca de Frangel con compost y disminuir ganado y poner malla protectora de conejo europeo	Disminuir ganado y poner malla protectora de conejo europeo	Disminuir ganado y poner malla protectora de conejo europeo
Abióticas				
<i>% Arcilla</i>	Frenar escorrentía con diques de contención	Frenar escorrentía con diques de contención	Frenar escorrentía con diques de contención	Frenar escorrentía con diques de contención
<i>Densidad Aparente, de Fracción Fina y Porosidad</i>	Cercar o disminuir carga ganadera	Cercar o disminuir carga ganadera	Cercar o disminuir carga ganadera	Cercar o disminuir carga ganadera
<i>Pedregosidad superficial</i>	Disminuir escorrentía con diques de contención	Disminuir escorrentía con diques de contención	Disminuir escorrentía con diques de contención	Disminuir escorrentía con diques de contención
<i>Contenido de C, N y Relación C/N</i>	Disminuir escorrentía con diques de	Disminuir escorrentía con diques de contención	Agregar compost y disminuir escorrentía con diques de contención	Agregar compost y disminuir escorrentía con diques de contención

	contención			
<i>Humedad Aprovechable, Capacidad Campo y Punto Marchitez Permanente</i>	Evitar que la escorrentía se lleve partículas de arcilla	Evitar que la escorrentía se lleve partículas de arcilla con diques de contención	Evitar que la escorrentía se lleve partículas de arcilla	Evitar que la escorrentía se lleve partículas de arcilla

Tabla 5: Medidas de restauración activa aplicables por grupo de variables para favorecer la recuperación en cada estado de degradación.

Variables	Medidas de Restauración para favorecer la recuperación			
	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4
<i>Cobertura, Profundidad, Biomasa Hojarasca</i>	Favorecer la descomposición de hojarasca en MO con lombrices	Favorecer la descomposición de hojarasca en MO con lombrices	Agregar compost para favorecer MO y proteger el suelo superficial	Agregar compost para favorecer MO y proteger el suelo superficial
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Arbórea</i>	Reemplazar floreo por plan de manejo forestal	Reemplazar floreo por plan de manejo forestal	Poner perchas para que se posen las aves dispersoras de semillas. Núcleos de reforestación de Frangel y Maitén (<i>M. boaria</i>)	Poner perchas para que se posen las aves dispersoras de semillas.
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Arbustiva</i>	Reintroducir Frangel agrandando los parches de vegetación	Reintroducir Guindilla, Huingán y Huañil	Poner perchas para que se posen las aves dispersoras de semillas. Núcleos de reforestación con sp. arbustivas existentes, favoreciendo las especies arbustivas menos abundantes	Poner perchas para que se posen las aves dispersoras de semillas. Núcleos de reforestación de Guindilla y Tomatillo (<i>S. crispum v. lugustrinum</i>)
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Herbáceas</i>	Dispersar y sembrar semillas de herbáceas	Neutralizar efecto inhibidor de la hojarasca para que crezcan herbáceas y dispersar sus semillas	Poner perchas para aves dispersoras de semilla	Poner perchas reposeras de aves dispersoras de semillas
<i>Cobertura y Fitovolumen Total</i>	Reemplazar floreo por plan de manejo forestal	Reemplazar floreo por plan de manejo forestal	Cercar o disminuir carga ganadera, frenar erosión con diques de contención y núcleos de reforestación con sp. arbustivas y arbóreas existentes	Cercar o disminuir carga ganadera, frenar erosión, y poner perchas reposeras de aves dispersoras de semilla

<i>Riqueza y Diversidad Total</i>	Mezclar hojarasca de Frangel con compost y disminuir ganado	Mezclar hojarasca de Frangel con compost y disminuir ganado	Poner perchas reposeras de aves dispersoras de semilla y núcleos de reforestación con especies arbustivas y arbóreas existentes	Poner perchas reposeras de aves dispersoras de semilla
Abióticas				
<i>% Arcilla</i>	Agregar compost para fortalecer en MO	Agregar compost para aumentar la MO	Agregar compost para aumentar la MO	Agregar compost para aumentar la MO
<i>Densidad Aparente, de Fracción Fina y Porosidad</i>	Agregar compost para fortalecer la porosidad	Agregar compost para fortalecer la porosidad	Aumentar cobertura vegetal para favorecer la porosidad	Aumentar cobertura vegetal para favorecer la porosidad
<i>Pedregosidad superficial</i>	Aumentar cobertura vegetal para favorecer la MO	Aumentar cobertura vegetal para favorecer la MO	Aumentar cobertura vegetal para favorecer la MO	Aumentar cobertura vegetal para favorecer la MO
<i>Contenido de C, N y Relación C/N</i>	Favorecer la descomposición de hojarasca en MO con lombrices	Favorecer la descomposición de hojarasca en MO con lombrices	Agregar compost y/o aumentar la cobertura vegetal	Agregar compost y/o aumentar la cobertura vegetal
<i>Humedad Aprovechable Capacidad Campo y Punto Marchitez Permanente</i>	Agregar compost aumentando MO en Horizonte superficial favoreciendo porosidad	Agregar compost aumentando MO en Horizonte superficial favoreciendo porosidad	Agregar compost para aumentar la MO en Horizonte superficial y favorecer porosidad del suelo	Agregar compost para aumentar la MO en Horizonte superficial y favorecer porosidad del suelo

A modo de posibles soluciones para las medidas de restauración propuestas en la Tabla 4 y 5, se nombraron las siguientes:

Para la problemática de la ganadería excesiva, que se realiza sin regulación, a no ser la de pastorear al ganado fuera y dentro del corral y dirigirlo hacia las veranadas e invernadas; se recomienda proponer un pastoreo rotativo, de manera que los animales se alimenten en forma rotativa en subdivisiones, permitiendo que la vegetación de la pradera se recupere y regenere sin llegar a un punto crítico. También habría que regular la carga animal,

determinando una cantidad óptima de animales por unidad de superficie, de manera que no compacten en exceso y no sobrepastoreen una misma área.

Otra opción sería construir cercos de exclusión de ganado, lo cual se hace más costoso a medida que aumentan las áreas restauradas. Por otra parte, es indispensable proteger a los brinzales y plántulas de la herbivoría provocada por los conejos europeos, con una malla puesta en forma de cilindro envolviendo a cada individuo.

Para la protección de la superficie del suelo del Estado 3 y 4 con MO, es recomendable usar compost o chips de madera. En el Estado 1 y 2 no sería necesario agregar tanta cantidad, ya que la función principal sería disminuir el posible efecto inhibitorio de la regeneración del bosque provocado por la hojarasca de Frangel (Muñoz *et al.*, 2002; Cavieres *et al.*, 2007).

Las especies de herbáceas adventicias invasoras como *Erodium cicutarium*, *Convolvulus arvensis* y *Eschscholzia californica* no sería necesario extraerlas para controlar su población, al menos no es necesario hacerlo en este momento, ya que proveen de cobertura vegetal que protege el suelo del impacto de la lluvia, evitando su erosión por el viento. Es recomendable dejar a la especie *A. caven* presente en la pradera del Estado 4, para que afecte positivamente en el reclutamiento de semillas al dar sombra que disminuya el estrés hídrico, por ser buena especie nodriza que agrega nitrógeno al suelo por ser leguminosa (Ovalle *et al.*, 1996) y como percha para las aves dispersoras de semillas como el Zorzal (*Turdus falcklandii*) y el Fio Fio (*Elaenia albiceps*) (Armesto y Pickett, 1985; Amico y Aizen, 2005;).

La realización de una restauración natural asistida debe ser planificada a través de núcleos de restauración, ya que a nivel de paisaje, la regeneración se va dando de forma parchosa, con un crecimiento expansivo desde los parches remanentes de vegetación, especialmente en zonas áridas (Fuentes-Castillo *et al.*, 2012). Para expandir estos núcleos de restauración se requiere reintroducir plantas traídas de viveros, las cuales serían cultivadas desde semillas de árboles y arbustos de precedencia local (Langet, 1971), para conservar el pool genético que las hace más resistentes a los factores relevantes como la sequía, radiación y temperatura del primer verano que es el más crítico (Maestre *et al.*, 2003).

Por un lado, dentro del Proyecto Sistema de Producción Sustentable para Ecosistemas de Montaña (Universidad de Chile, 2011a), se publicó una guía básica para generar un vivero con especies nativas andinas. Por otro lado, en el pueblo Los Maitenes, la Hidroeléctrica Alto Maipo construyó un vivero donde están propagando especies por medio de semillas extraídas de distintos lugares del Cajón del Colorado, con el fin de ser utilizadas en sus planes de compensación.

La selección de las especies vegetales a plantar, se debiese realizar según las especies dominantes del estado siguiente de menor degradación. En la pradera del Estado 4 se recomendaría plantar arbustos como la Guindilla y Tomatillo debajo de cada Espino para aprovechar el efecto nodriza y el enriquecimiento de Nitrógeno que deja en el suelo. Es recomendable que la reintroducción de estas especies arbustivas sea en forma de núcleos de 3 m de diámetro separados por una distancia de 10 m entre ellos, para mantener la característica parchosa propia de este matorral. Por otro lado, en el matorral del Estado 3 se recomienda empezar a reintroducir Frangel y Maitén dentro de los núcleos de matorral ya establecidos, para formar parches con vegetación arbórea. Dentro del bosque del Estado 2

sería propicio reintroducir Guindilla, Huingán y Huañil, ya que estas especies arbustivas no estuvieron presentes en los muestreos del Estado 2, pero sí en los del Estado 1.

La plantación debe realizarse idealmente en un año donde esté actuando el anticiclón del Niño para que aumenten las precipitaciones, lo cual favorece la sobrevivencia de las plantas (Holmgren y Scheffer, 2001). De lo contrario, habría que planificar un sistema de riego para los dos primeros veranos. Cabe destacar que en la fase de vivero se somete a la planta a condiciones estresantes (escaso riego, sustratos de baja calidad, ausencia de fertilización) para que se aclimaten a las condiciones de campo (Trubat *et al.*, 2004).

Dentro de las técnicas de restauración, sería recomendable hacer parcelas de exclusión de ganado para estudiar a largo plazo el avance de la restauración pasiva, con el fin de poder proponer medidas que imiten y aceleren los procesos que van sucediendo en la sucesión natural.

Se pudieron constatar varias evidencias de que el bosque de Frangel se está viendo desfavorecido por diversos factores, como proyectos mineros e hidroeléctricos, el cambio de uso de suelo, introducción de especies exóticas herbívoras, extracción de leña y tierra de hojas, cambio climático, entre otras (Fredericksen *et al.*, 2011). La falta de agua y la herbivoría de plántulas, entre otras causas, dificulta que esta especie se regenere de forma natural. Por otro lado, se detectó la presencia de Quintral (*Tristerix corymbosus*) en abundancia, lo cual disminuye el desempeño de estos árboles. Gran parte de las semillas de Frangel no están siendo viables, muchas de ellas tienen mal formación, posiblemente debido a un insecto (microlepidóptero) que las ataca (León, 1993; Córdova, 2001).

Cabe destacar que si bien se vio la asociación Frangel-Guindilla, otros sectores sólo poseían matorral de Guindilla, lo cual se debería a que los sitios donde se ha talado el bosque o han ocurrido incendios, es dominante la Guindilla, que sería una especie importante en la dinámica de sucesión del bosque de Frangel (Tellier *et al.*, 2009).

Se ha documentado que aún existe potencial de restauración natural pasiva en Chile Central, para lo cual es indispensable controlar la herbívora de lagomorfos y ganado, y paralelamente se debe complementar con un estudio de la variabilidad en los ciclos de lluvia y sequía (anticiclón del Niño) (Holmgren y Scheffer, 2001).

Si bien este trabajo se basó mayoritariamente en el mismo sitio de estudio donde la Hidroeléctrica Alto Maipo comenzó sus labores de reforestación, ambos tuvieron diferentes enfoques. A lo largo de este estudio se buscó comprender las causas subyacentes de la restauración, con la finalidad de promover que el ecosistema se recupere por sí mismo dándole el mínimo impulso, en términos de energía y recursos monetarios. En cambio, el objetivo de la hidroeléctrica fue realizar una reforestación de compensación, a través de reintroducción de especies vegetales similares a las afectadas por la intervención del proyecto hidroeléctrico. Este estudio complementaría al proyecto de compensación en el monitoreo de las variables bióticas y abióticas a medir para compararlas con los valores obtenidos en este estudio, como una herramienta para corroborar si el ecosistema bosque esclerófilo andino se está recuperando, tanto en su estructura como composición vegetal y edáfica.

4.- Conclusiones

Se puede concluir que para este bosque esclerófilo andino existieron tres umbrales que habría que cruzar para que el Estado 4 pueda llegar a convertirse en un Estado 1. El umbral más importante a considerar en una planificación de restauración, sería el que se encuentra entre el Estado 2 y 3, el cual corrobora la transición tanto de las variables bióticas como abióticas entre las situaciones extremas de bosque y pradera en este piso vegetacional.

Cabe destacar que este modelo de degradación de Whisenant se utilizó para guiar la restauración, mostrando cuales variables resultaron ser las más sensibles a la degradación de este piso vegetacional, para luego cuantificar la diferencia en magnitud y dirección de cambio de cada variable medida, tomándose como una mera referencia con la cual guiar el monitoreo de la restauración de cada estado de degradación, por lo tanto es un trabajo exploratorio que requiere más estudios futuros en otras áreas de este mismo piso vegetacional.

La mayoría de las variables bióticas disminuyeron su valor con el aumento de la degradación, lo cual era esperable. Dos variables aumentaron su valor con la degradación (cobertura de herbáceas y riqueza de especies adventicias), por tratarse de especies pioneras y altamente invasivas.

El listado florístico y el gráfico de abundancia por especie, mostraron que ciertas especies leñosas (en particular la *K. angustifolia*) sólo se encontraron en el Estado 1, o bien, presentaron mayor cobertura, la que fue disminuyendo con la degradación. En el Estado 4, la única especie leñosa encontrada fue *A. caven*. Sin embargo, su cobertura fue tan baja que no apareció en los muestreos. Se presenció alta abundancia de la herbácea adventicia *E.*

cicutarium, la cual se puede utilizar como especie indicadora de mayor degradación en este piso de vegetación. Por otro lado, la presencia de *K. angustifolia* puede ser utilizada como especie indicadora de menor degradación.

Las variables químicas de suelo (contenido de Carbono total, Nitrógeno total y relación C/N), la CC, el PMP y la porosidad, fueron buenos indicadores del nivel de degradación, al disminuir paulatinamente con el aumento de la degradación. El porcentaje de arcilla junto a las densidades respectivas, fueron las únicas variables que aumentaron con la degradación, evidenciando de la perturbación antrópica del suelo.

Las variables cualitativas (calicatas) siguieron la misma tendencia obtenida en los análisis cuantitativos y superficiales del suelo, mostrando que los horizontes orgánicos superficiales se fueron perdiendo con el aumento de la degradación, mientras que la densidad aparente o planos compactados fueron aumentando con la degradación, los cuales tuvieron estrecha relación con la cobertura vegetal.

Las propuestas de restauración apuntaron por un lado, a frenar la degradación actual, reconociendo las causas y procesos responsables del deterioro; y por otro lado, a proponer medidas para restablecer principalmente la estructura y composición del ecosistema.

Se puede concluir que se requieren más estudios de fauna nativa en este bosque, investigar el estado actual en que se encuentran los insectos, aves, mamíferos, reptiles y anfibios. Estudiar cuáles serían las interacciones planta-animal que debieran darse en este piso vegetacional y cuáles son las interacciones que existen actualmente en cada estado de degradación, para que en estudios futuros se pueda monitorear la recolonización de la fauna en su hábitat restaurado.

También se necesita integrar el componente social en esta restauración. Una forma de incluirlo sería haciéndolo partícipe de las medidas a implementar en el plan de restauración, trabajando con gente perteneciente a las escuelas de los alrededores, familiarizándolos con estos temas a temprana edad, para que puedan ser los futuros defensores en contra de la degradación antrópica y la desertificación.

El aporte de esta propuesta de restauración ecológica fue unir estudios tanto vegetacionales como edáficos logrando caracterizar el escenario donde poder iniciar la regeneración y recuperación del bosque esclerófilo andino en cada uno de los estados de degradación encontrados.

Por último, se puede concluir que al integrar mediciones de procesos y funciones ecosistémicas en cada estado de degradación y al unirlo con el componente faunístico y social, se llevaría a cabo un estudio más ecosistémico del comportamiento tanto de la degradación como de la regeneración en este piso vegetal.

Finalmente, una de las aplicaciones importantes de este estudio fue favorecer la recuperación de las poblaciones de Frangel que van quedando en la Región Metropolitana (ver distribución en mapa del Anexo 1), la cual es clave para la subsistencia del piso vegetal bosque esclerófilo andino, cuyas especies marcan el límite altitudinal arbóreo para los Andes Metropolitanos (Muñoz-Schick *et al.*, 2000) y son importantes en la transición entre el piso del bosque esclerófilo y piso del matorral bajo de altitud (Luebert y Pliscoff, 2006).

5.- Bibliografía

- Acácio, V., Holmgren, M., Jansen, P.A. y Schrotter, O. 2007. Multiple recruitment limitation causes arrested succession in Mediterranean cork oak systems. *Ecosystems* 10: 1220-1230.
- Araya, S. y Ávila, G. 1981. Rebrote de arbustos afectados por el fuego en el Matorral chileno. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso* 14: 99-105.
- Amico, G.C. y Aizen, M.A. 2005. Dispersión de semillas por aves en un bosque templado de Sudamérica austral: ¿quién dispersa a quién? *Ecología Austral* 15: 89-100.
- Arcadis geotecnica, 2008. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo, AES GENER S.A., Capítulo 5: Línea de Base. [Disponible en: <http://seia.sea.gob.cl/archivos/20080528.134802.pdf>]
- Armesto, J.J. y Pickett, S.T.A. 1985. Commentary: A mechanistic approach to the study of succession in the Chilean matorral. *Revista Chilena de Historia Natural* 58: 9-17.
- Aronson, J., Floret, C., Le Floc'h, E., Ovalle, C. y Pontanier, R. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semiarid regions. I. A view from the South. *Restoration Ecology* 1: 8-17.
- Arroyo, M.T.K., Marticorena, C., Matthei, O., Muñoz, M., y Pliscoff, P. 2002. Analysis of the contribution and efficiency of the Santuario de la Naturaleza Yerba Loca, 33° S in protecting the regional vascular plant flora (Metropolitan and Fifth regions of Chile). *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 767-792.
- Arroyo, M.T.K., Rozzi, J.R., Simonetti, J., Marquet, J.A. y Salaberry, M. 1999. Central Chile. En: Mittermeier, R.A., Myers, N., Robles-Gil, P. y Mittermeier, C.G. (Ed.). 1999. Hotspots. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. México City: CEMEX-Agrupación Sierra Madre. Pág. 161-171.
- Belmonte, E., Faundez, L., Flores, J., Hoffmann, A., Muñoz, M. y Teillier, S. 1998. Categorías de conservación de cactáceas nativas de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 47: 69-89.
- Benoit, I. 1989. Libro rojo de la flora terrestre de Chile. CONAF - Ministerio de Agricultura. Santiago de Chile. 157 p.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54: 464-465.
- Brown, S. y Lugo, A.E. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining. *Restoration Ecology* 2: 97-111.

Cavieres, L., Chacón, P., Peñaloza, A., Molina-Montenegro M. y Arroyo, M.T.K. 2007. Leaf litter of *Kageneckia angustifolia* D. Don (Rosaceae) inhibits seed germination in sclerophyllous montane woodlands of central Chile. *Plant Ecology* 190: 13-22.

Centro Información Recursos Naturales, CIREN-CORFO. 1996. Estudio Agrológico de la Región Metropolitana. Descripción de Suelos, Materiales y Símbolos. Publicación 115, Tomos I y II. 464 p.

Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana, CONAMA-RM. 2005. Estrategia para la conservación de la biodiversidad en la Región Metropolitana. p. 98.

Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA. 2008. Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Ocho Libros Editores. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 640 p.

Córdova, B. 2001. Aplicación del concepto de salud ecosistémica al estudio de las comunidades arbóreas en el valle de Yerba Loca (Lo Barnechea, RM). Memoria Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Pág. 41.

Donoso, C. 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Santiago de Chile. 70 p.

Dopazo, C., Robles, A.B., Ruiz, R. y San Miguel, A. 2009. Efecto del pastoreo en el mantenimiento de cortafuegos en la comunidad valeciana. En: Sociedad Española de Ciencias Forestales. Ávila, Castilla y León, España. Pág 1-13.

Echeverría, C., Schiappacasse, I., Urrutia, R., Cárcamo, M., Becerra, P., Smith, C. y Holmgren, M. 2010. Restauración de Ecosistemas Degradados para la Conservación de la Biodiversidad y el Desarrollo Rural en la Zona Semiárida de Chile Central. Proyectos REFORLAN - CONICYT RUE 33. Valdivia. Chile. Pág. 9.

FAO, 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Dirección de fomento de tierras y agua. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. [Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/gepnms.pdf>]

Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M. y Montenegro, G. 2010. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. PUC-CONAF. Gráfica LOM, Santiago, Chile. XX p.

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. y Holling, C.S. 2004. Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35: 557-581.

Francke, S. 2001. Experiencia de restauración en cuencas hidrográficas degradadas de Chile, proyecciones y expectativas. En: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Experiencias internacionales en la rehabilitación de espacios degradados. 2001. Proyecto FONDEF D98I1036. Pág. 57.

Fredericksen, N., Pérez, J. y Contreras, X. 2011. Manual de buenas prácticas para uso sustentable de ecosistemas de montaña. Editorial Universidad de Chile. Santiago de Chile. 122 p.

Fuentes-Castillo, T., Miranda, A., Rivera-Hutinel, A., Smith-Ramirez, C. y Holmgren, M. 2012. Nucleated regeneration of semiarid sclerophyllous forests close to remnant vegetation. *Forest Ecology and Management* 274: 38-47.

Fuentes, E.R., Hoffmann, A., Poiani, A. y Alliende, M. 1986. Vegetation change in large clearings: patterns in the Chilean matorral. *Oecologia* 68: 358-366.

Fuentes, E.R. y Jaksic, F.M. 1980. Consideraciones teóricas para el control biológico del conejo. *Medio Ambiente* 2: 45-49.

Fuentes, E.R., Jaksic, F. y Simonetti, J. 1983. European rabbits vs. native mammals: effects on shrub seedlings. *Oecologia* 58: 411-414.

Gajardo, R. 1994. *La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica.* Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 165 p.

Gastó, J., Cosío, F. y Panario, D. 1993. Clasificación de las ecorregiones y determinación de sitio y condición. Manual de aplicación a municipios y predios rurales. Red de Pastizales Andinos, Santiago, Chile. Pág. 254.

Hobbs, R.J. y Harris, J. A. 2001. Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology* 9: 239-246.

Hobbs, R.J. y Norton, D.A. 2004. Ecological Filters, Thresholds and Gradients in Resistance to Ecosystem Reassembly. En: Temperton, V., Hobbs, R.J., Nuttle, T. y Halle, S. (Ed.). *Assembly Rules and Restoration Ecology.* Island Press, EE.UU. Pág. 72-95.

Holmgren, M. 2002. Exotic herbivores as drivers of plant invasion and switch to ecosystem alternative states. *Biological Invasions* 4: 25-33.

Holmgren, M., Avilés, R., Sierralta, L., Segura, A.M. y Fuentes, E.R. 2000. Why have European herbs so successfully invaded the Chilean matorral? Effects of herbivory, soil nutrients, and fire. *Journal of Arid Environments* 44: 197-211.

Holmgren, M. y Scheffer, M. 2001. El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. *Ecosystems* 4: 151-159.

Hudson, B. 1994. Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation* 49: 189-194.

Instituto Nacional de Estadísticas. INE. 2003. Censo 2002: Síntesis de resultados. Chile. [Disponible en: <http://www.ine.cl/cd2002/sintesisencensal.pdf>]

Jacksic, F.M. y Fuentes, E.R. 1980. Why are native herbs in the Chilean matorral more abundant beneath bushes: microclimate o grazing? *Journal of Ecology* 68: 665-9.

Jaunatre, R., Buisson, E., Muller, I., Morlon, H., Mesléard, F. y Dutoit, T. 2013. New synthetic indicators to assess community resilience and restoration success. *Ecological Indicators* 29: 468-477.

Kay, B.D., Da Silva, A.P. y Baldock, J.A. 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic C content: predictions using pedotransfer functions. *Canadian Journal of Soil Science* 77: 655-667.

Kehr, E. 1983. Efecto de diferentes enmiendas sobre la evolución de las propiedades físico-hídricas de un suelo arcilloso. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile. 67 p.

Langet, O. 1971. Two hundred years genecology. *Taxon* 20: 653-722.

León, P. 1993. Efecto del espaciamento entre plantas en la producción de frutos y semillas en *Kageneckia angustifolia* D. Don., un árbol dioico del bosque esclerófilo montano de Chile central. Tesis de Magíster, Facultad de Ciencias Universidad de Chile, Santiago, Chile. 95 p.

Luebert, F. y Pliscoff, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 316 p.

Maestre, F.T., Cortina, J., Bautista, S., Bellot, J. y Vallejo, V.R. 2003. Small-scale environmental heterogeneity and spatio-temporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem. *Ecosystems* 6: 630-643.

Martcorena, C. y Rodriguez, R. 1995. Flora de Chile. Vol. 1. Pteridophyta-Gymnospermae. Concepcion, Chile. Universidad de Concepcion. 351 p.

Matteucci, S. y Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington DC. Monografía n.22.

McIntyre, S. y Hobbs, R. 1999. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. *Conservation Biology* 13: 1282-1292.



Ministerio del Medio Ambiente, MMA. 2013. Listado de Especies Clasificadas desde el 1° al 9° Proceso de Clasificación de Especies. [Disponible en: <http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/index2.htm>]

Mittermeier, R.A., Myers, N., Thomsen, J.B., Da Fonseca, G.A., Olivieri, S. 1998. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness area: approaches to setting conservation priorities. *Conservation Biology* 12: 516-520.

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia. Pág. 16.

Munsell Soil Color Charts, 1971. Munsell color Company, Inc., Baltimore, Maryland, USA.

Muñoz, O., Estevez-Brown, A.M., Ravelo, A.G. y Gonzalez, A.G. 2002. Cucurbitacin F in leaves of *K. angustifolia* (Rosaceae). *Zeitschrift für Naturforschung* 57C: 208-209.

Muñoz-Schick, M., Moreira-Muñoz, C., Villagrán, C. y Luebert, F. 2000. Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile Central. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural* 49: 9-50.

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A. y Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

Naguel, M. y Durán, J. 2009. Diseño y Elaboración de un Plan de Ordenación Territorial orientado a la protección y uso sustentable del Predio Hacienda Río Colorado, Región Metropolitana. Proyecto para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias, Escuela de Ingeniería Forestal, Santiago, Chile. 117 p.

Novoa, R., Martínez, M. y Letelier, E. 1991. Comparación de un sistema de fertilización mineral con uno de fertilización orgánica, en una rotación trigo-fréjol. *Agricultura Técnica (Chile)* 51: 1-8.

Ovalle, C., Aronson, J., Del Pozo, A. y Avendaño, J. 1990. The espinal: agroforestry systems of the mediterranean type climate region of Chile. *Agroforestry Systems* 10: 213-239.

Ovalle, C., Avendaño, J., Aronson, J. y Del Pozo, A. 1996. Land occupation patterns and vegetation structure in the anthropogenic savannas (espinales) of central Chile. *Forest Ecology and Management* 86: 129-139

Parks Canada and the Canadian Parks Council. 2008. Principles and Guidelines for Ecological Restoration in Canada's Protected Natural Areas. Gatineau, Québec: National Parks Directorate, Parks Canada Agency. Pág. 53-56.

R Core Team 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Ravenna, P., Tellier, S., Macaya, J., Rodriguez, R. y Zöllner, O. 1998. Categorías de conservación de las plantas bulbosas nativas de Chile. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural 47: 47-68.

Ravi, S., Breshears, D.D., Huxman, T.E. y D'Odorico, P. 2010. Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic-aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology* 116: 236-245.

Retana, J., Espelta, J.M., Gracia, M. y Riba, M. 1999. Seedling recruitment. En: Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A. y Bellot, J. (Ed.). *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Springer Verlag, Berlin. Pág. 47-59.

Rey-Benayas, J.M., Newton, A., Diaz, A. y Bullock, J. 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science* 325: 1121-1124.

Riedemann, P. y Aldunate, G. 2004. Flora Nativa de valor ornamental, Identificación y Propagación. Chile, zona centro. Segunda Edición. Chile. 566 p.

Seguel, O., García de Cortázar, V. y Casanova, M. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 63: 1-15.

Society for Ecological Restoration, SER. Grupo internacional de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Internacional, Tucson, Arizona. Pág. 15. [Disponible en: www.ser.org]

Spehn, E., Berge, E., Bugmann, H., Groombridge, B., Hamilton, L., Hofer, T., Ives, J., Jodha, N., Messerli, B., Pratt, J., Price, M., Reasoner, M., Rodgers, A., Thonell, J. y Yoshino, M. 2005. Chapter 24: Mountain Systems. In: Hassan, R., Scholes, R. y Ash, N. (Ed.). *Ecosystems and human well-being: current state and trends, Volume 1. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press. Pág. 681-716.

Tellier, S., Romero, F., Goic, I. y Romero, X. 2009. Informe Flora y Vegetación. Proyecto "Sistemas de producción sustentable para ecosistemas de montaña implementación plan Santiago Andino. Sitios prioritarios N° 4, 5 y 10". INNOVA-CORFO, Proyecto 07CN13IYM-16.

Tellier, S., Marticorea, A. y Niemeyer, H. 2011. Flora Andina de Santiago. Guía para la clasificación de las especies de las cuencas del Maipo y del Mapocho. Impresos Puntografix. Santiago. Pág. 20.

Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 2013. [Disponible en: www.tropicos.org]

Trubat, R., Cortina, J. y Vilagrosa, A. 2004. Nutrient status and transplant shock on Mediterranean shrubs under semiarid climate. Pág. 245-251.

Universidad de Chile. 2011a. Informe final. Proyecto "Sistemas de producción sustentable para ecosistemas de montaña implementación plan Santiago Andino. Sitios prioritarios N° 4, 5 y 10". INNOVA-CORFO, Proyecto 07CN13IYM-16.

Universidad de Chile. 2011b. Diagnóstico Territorial de la Comuna de San José de Maipo. Proyecto "Sistemas de producción sustentable para ecosistemas de montaña implementación plan Santiago Andino. Sitios prioritarios N° 4, 5 y 10". INNOVA-CORFO, Proyecto 07CN13IYM-16

United Nations Conference on Environment and Development, UNCED. 1992. Managing fragile ecosystems: combating desertification and drought. Agenda 21, Chapter 12. [Disp. en: www.bundestag.de/htdocs_e/bundestag/international/gph/un_habitat/agenda21.pdf]

USDA, 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Burt, E. (Ed.). Soil survey investigations report, n°42, version 4.0. 700 p.

Vargas, O. y Mora, F. 2007. La Restauración Ecológica, su Contexto, Definiciones y Dimensiones. En: Vargas, O. (Ed.). Estrategias para la Restauración Ecológica del Bosque Alto Andino. El caso de la Reserva Forestal Municipal de Cogua, Cundinamarca. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Pág. 20.

Vita, A. 1975. Metodología para el control y aprovechamiento de dunas litorales. Manual N°3. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Pág. 37.

Van de Wouw, P., Echeverría, C., Rey Benayas, J.M. y Holmgren, M. 2011. Persistent Acacia savannas replace Mediterranean sclerophyllous forests in South America. *Forest Ecology and Management* 262: 1100-1108.

Whisenant, S.G. 1999. *Repairing Damaged Wildlands: A process oriented, landscape-scale approach*. Cambridge UK: Cambridge University Press. Pág. 1-24.

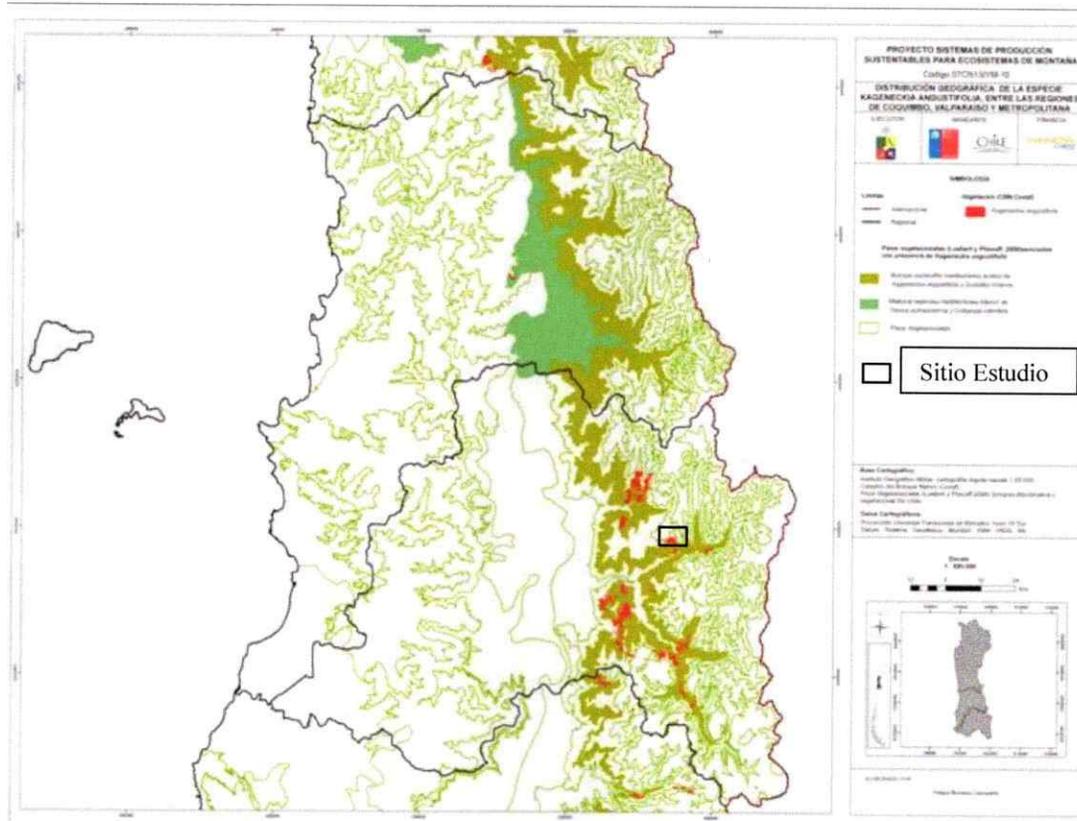
Yates, C.J., Norton, D.A. y Hobbs, R.J. 2000. Grazing effects on soil and microclimate in fragmented woodlands in southwestern Australia: implications for restoration. *Austral Ecology* 25: 36-47.

Zuloaga, F., Morrone, O. y Belgrano, M.J. 2008. Catálogo de las Plantas vasculares del Cono Sur (Argentina, sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 107; i-xcvi. 983 p.

6. - Anexos

Anexo I

Mapa de distribución geográfica de *K. angustifolia* (en rojo) entre las Regiones de Coquimbo y Metropolitana (elaborado por Felipe Morales a partir del diagnóstico Territorial de la Comuna de San José de Maipo. Proyecto “Sistemas de producción sustentable para ecosistemas de montaña implementación plan Santiago Andino. Sitios prioritarios N° 4, 5 y 10”. INNOVA-CORFO, Proyecto 07CN13IYM-16, Universidad de Chile, 2011a)



7.- Apéndices

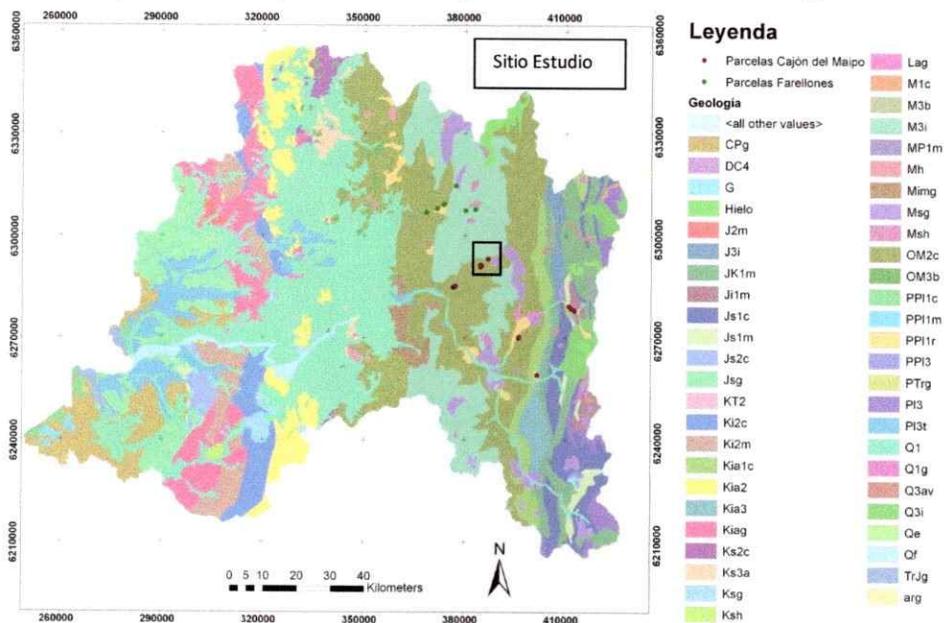
Apéndice I

Tabla: Ubicación y características geográficas de las tres parcelas por estado de degradación. Nota: la Parcela 3 del Estado 3 (E3P3) se tuvo que repetir en otro sitio (E3P3'') debido a imprevistos.

Ubicación de las parcelas en sus respectivos Estados de Degradación					
Estado/Parcela	Exposición	Altitud (msnm)	Pendiente	Coordenadas	19 H (m)
E1P1	este	1663	17%	386896.00 E	6293288.00 S
E1P2	este	1666	10%	386861.00 E	6293238.00 S
E1P3	este	1642	15%	386952.00 E	6293247.00 S
E2P1	norte	1739	5%	384667.00 E	6290913.00 S
E2P2	sureste	1735	10%	384710.00 E	6290887.00 S
E2P3	noreste	1736	3%	384693.00 E	6290926.00 S
E3P1	este	1642	10%	384945.11 E	6291359.82 S
E3P2	noreste	1645	20%	384991.67 E	6291236.73 S
E3P3	este	1709	5%	384577.85 E	6291492.09 S
E3P3''	este	1651	5%	384917.00 E	6291221.00 S
E4P1	este	1672	5%	384762.00 E	6291392.00 S
E4P2	este	1674	3%	384752.00 E	6291354.00 S
E4P3	este	1683	5%	384712.00 E	6291351.00 S

Mapa del Sitio de Estudio. Carta de Geología de la Región Metropolitana

Geología de la RM y ubicación de parcelas de muestreo de vegetación



Apéndice II

Tabla: Flora Vascular Presente en el Predio. Los nombres y familias fueron citados a partir del sitio web Missouri Botanical Garden; la forma de crecimiento, el origen geográfico y el endemismo con el Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Zuloaga *et al.*, 2008).

Estado 1				
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	FORMA CRECIMIENTO	ORIGEN GEOGRÁFICO	ENDEMISMO
<i>Stachys philippiana</i> Vatke	Lamiaceae Martinov	hierba perenne	Endémica	Chile
<i>Centaurea melitensis</i> L.	Asteraceae Bercht. y J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertn.	Apiaceae Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Plagiobothrys fulvus</i> (Hook. y Arn.) I.M. Johnst.	Boraginaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile
<i>Amsinckia calycina</i> (Moris) Chater	Boraginaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Trifolium glomeratum</i> L.	Fabaceae Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Lactuca virosa</i> L.	Asteraceae Bercht. y J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Asteraceae Bercht. y J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Bromus berteroi</i> Colla	Poaceae Barnhart	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Scyphanthus elegans</i> Sweet	Loasaceae Juss.	hierba perenne, trepadora	Endémica	Chile
<i>Galium trichocarpum</i> DC.	Rubiaceae Juss.	hierba perenne	Endémica	Chile
<i>Verbascum thapsus</i> L.	Scrophulariaceae Juss.	hierba bianual	Adventicia	
<i>Plagiobothrys mysotoides</i> (Lehm.) Brand	Boraginaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Geraniaceae Juss.	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Leucocoryne violacescens</i> Phil.	Amaryllidaceae J. St.- Hil./Alliaceae	hierba perenne	Endémica	Chile
<i>Olsynium junceum</i> (E. Mey. ex C. Presl) Goldblatt	Iridaceae Juss.	hierba perenne	Nativa	Chile, Argentina
<i>Viola subandina</i> J.M. Watson	Violaceae	hierba anual	Endémica	Chile, Argentina
<i>Schinus montanus</i> (Phil.) Engl.	Anacardiaceae R. Br.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile
<i>Schinus polygama</i> (Cav.)	Anacardiaceae R. Br.	arbusto (perenne)	Nativa	Chile, Argentina
<i>Guindilla trinervis</i> Gill. ex H. y A.	Sapindaceae Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Colliguaja integerrima</i> Gillies y Hook.	Euphorbiaceae Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Proustia cuneifolia</i> D. Don	Asteraceae Bercht. y J. Presl	arbusto (perenne)	Nativa	Chile, Argentina
<i>Ephedra chilensis</i> C. Presl	Ephedraceae Dumort.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Kageneckia angustifolia</i> D.	Rosaceae Juss.	árbol	Endémica	Chile

Don				
Estado 2				
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	FORMA CRECIMIENTO	ORIGEN GEOGRÁFICO	ENDEMISMO
<i>Adiantum chilense</i> Kaulf.	Pteridaceae E. D. M. Kirchn.	hierba perenne	Endémica	Chile, Argentina
<i>Bromus berteroi</i> Colla	Poaceae Barnhart	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Lactuca virosa</i> L.	Asteraceae Bercht. y J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Asteraceae Bercht. y J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Geraniaceae Juss.	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Carex setifolia</i> Kunze ex Kunth	Cyperaceae Juss.	hierba perenne	Nativa	Chile
<i>Poa holciformis</i> J. Presl	Poaceae Barnhart	hierba perenne	Endémica	Chile
<i>Schinus molle</i> (Phil.) Engl.	Anacardiaceae R. Br.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile
<i>Colliguaja integerrima</i> Gillies y Hook.	Euphorbiaceae Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Baccharis rhomboidalis</i> J. Rémy	Asteraceae Bercht. y J. Presl.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Solanum crispum</i> var. <i>ligustrinum</i> (Loddiges) Dunal	Solanaceae Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Kageneckia angustifolia</i> D. Don	Rosaceae Juss.	árbol	Endémica	Chile
<i>Maytenus boaria</i> Molina	Celastraceae R. Br.	árbol	Endémica	Chile, Arg., Brasil
Estado 3				
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	FORMA CRECIMIENTO	ORIGEN GEOGRÁFICO	ENDEMISMO
<i>Bromus berteroi</i> Colla	Poaceae Barnhart	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Centaurea melitensis</i> L.	Asteraceae Bercht. y J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Geraniaceae Juss.	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Gilia crassifolia</i> Benth.	Polemoniaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertn.	Apiaceae Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Adesmia capitellata</i> Burkart	Fabaceae Lindl.	hierba anual	Endémica	Chile, Argentina
<i>Acaena pinnatifida</i> Ruiz y Pav.	Rosaceae Juss.	hierba perenne	Endémica	Chile, Argentina
<i>Trifolium glomeratum</i> L.	Fabaceae Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Pectocarya dimorpha</i> I.M. Johnst.	Boraginaceae Juss.	hierba	Endémica	Chile
<i>Plagiobothrys fulvus</i> (Hook. y Arn.) I.M. Johnst.	Boraginaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile
<i>Guindilla trinervis</i> Gill. ex H. y A.	Sapindaceae Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina

<i>Haplopappus chrysanthemifolius</i> DC.	Asteraceae Bercht. y J. Presl	arbusto (perenne)	Endémica	Chile
<i>Solanum crispum</i> var. <i>ligustrinum</i> (Loddiges) Dunal	Solanaceae Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Kageneckia angustifolia</i> D. Don	Rosaceae Juss.	árbol	Endémica	Chile
Estado 4				
NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	FORMA CRECIMIENTO	ORIGEN GEOGRÁFICO	ENDEMISMO
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Geraniaceae Juss.	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Bromus berteroi</i> Colla	Poaceae Barnhart	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae Juss.	enredadera perenne	Adventicia	
<i>Pectocarya dimorpha</i> I.M. Johnst.	Boraginaceae Juss.	hierba	Endémica	Chile
<i>Olsynium junceum</i> (E. Mey. ex C. Presl) Goldblatt	Iridaceae Juss.	hierba perenne	Nativa	Chile, Argentina
<i>Adesmia capitellata</i> Burkart	Fabaceae Lindl.	hierba anual	Endémica	Chile, Argentina
<i>Plagiobothrys fulvus</i> (Hook. y Arn.) I.M. Johnst.	Boraginaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile
<i>Eschscholzia californica</i> Cham.	Papaveraceae Juss.	hierba perenne	Adventicia	
<i>Trifolium glomeratum</i> L.	Fabaceae Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Carex setifolia</i> Kunze ex Kunth	Cyperaceae Juss.	hierba perenne	Nativa	Chile
<i>Acacia caven</i> Molina	Fabaceae Lindl.	arbusto o arbolito	Nativo	Ch., Arg., Brasil, Bolivia

Apéndice III

Tabla: Descripción cuantitativa de los promedios ponderados de las variables abióticas de los horizontes de cada calicata (* HA: Humedad Aprovechable calculada como la suma acumulativa de todos los horizontes de cada calicata)

<i>Calicata</i>	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4
Profundidad Total (cm)	76	75	60	70
Clase Textural	<i>Franco arenosa</i>	<i>Franco arenoso arcilloso</i>	<i>Franco arenoso arcilloso</i>	<i>Franco arcillosa</i>
Arena (%)	59.41	50.08	55.27	41.61
Limo (%)	21.45	24.21	16.06	21.52
Arcilla (%)	19.14	25.71	28.67	36.87
Densidad Aparente (g cm-3)	1.45	1.56	1.53	1.54
Densidad Fracción Fina (g cm-3)	1.14	1.30	1.42	1.47
Porosidad (%)	45.13	41.26	42.14	41.80
Pedregosidad (%)	35.15	31.04	15.80	10.68
Contenido C Total (%)	1.76	4.29	1.37	1.31
Contenido N Total (%)	0.11	0.27	0.11	0.11
Relación C/N	15.34	15.64	12.47	13.57
HA* (mm)	64.58	65.26	105.17	77.34

Apéndice IV

Tabla: Descripción cualitativa para la calicata de cada Estado de Degradación según la metodología de la USDA. La diferencia en coloración del perfil del suelo puede deberse a la distinta cantidad de luz y sombra según la hora del día a la que fue sacada la foto

CALICATA ESTADO 1	CALICATA ESTADO 2	CALICATA ESTADO 3	CALICATA ESTADO 4
Exposición Este, posición topográfica ladera, altitud 1642 msnm, pendiente 15%, coordenadas 386939 m E y 6293241 m S	Exposición Norte, posición topográfica cumbre, altitud 1738 msnm, pendiente 15%, coordenadas 384678 m E y 6290915 m S	Exposición Noreste, posición topográfica media ladera, altitud 1662 msnm, pendiente 20%, coordenadas 384868 m E y 6291611 m S	Exposición Este, posición topográfica baja ladera, altitud 1671 msnm, pendiente 15%, coordenadas 384763 m E y 6291381 m S
Profundidad horizonte A1 0-29 cm. Pardo (7.5 YR 4/3) en seco y pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo, textura Franco arcillosa, estructura de bloques angulares gruesos de grado moderado, abundantes raíces muy finas y finas, raíces medias comunes y gruesas pocas, poros muy finos abundantes, finos comunes y medios pocos, Guijarros prismoidales 15%. Presencia de coprolitos y cavernas de larvas.	Profundidad horizonte Ap 0-27 cm. Pardo (10 YR 5/3) en seco y pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo. Textura Franco arcillosa. Estructura de bloques subangulares gruesos de grado moderado. Raíces muy finas comunes y finas abundantes; poros muy finos comunes. Grava media de forma cúbica 15%. Horizonte compactado superficialmente.	Profundidad horizonte A 0-14 cm. Pardo amarillo oscuro (10 YR 4/4) en seco y pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo. Textura Franco Arcillo Arenosa. Estructura de bloques angulares gruesos de grado moderado. Raíces muy finas comunes y finas pocas; poros muy finos abundantes. Grava media de forma cúbica 5%. Presencia de cavernas y planos compactados de 3 a 4 cm.	Profundidad horizonte A 0-16 cm. Pardo (7.5 YR 4/3) en seco, pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo. Textura Franco arcillosa. Estructura de bloques angulares gruesos de grado moderado. Raíces muy finas abundantes y medias pocas/muy pocas; poros finos abundantes y gruesos pocos. Grava media subangular 10% y guijarros prismoidales 2%. Presencia de láminas sobre el horizonte indicando compactación.
Profundidad horizonte B-t1 29-57 cm. Pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en seco y pardo muy oscuro (7.5 YR 3/1) en húmedo. Textura Franco arcillosa, Estructura de bloques angulares gruesos de grado moderado, raíces muy finas pocas, finas comunes y gruesas pocas, poros muy finos abundantes, finos	Profundidad horizonte A 27-50 cm. Pardo oscuro (7.5 YR 3/3) en seco y pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2) en húmedo. Textura Franca arcillosa. Estructura de bloques subangulares gruesos de grado débil. Moderadamente pocas raíces gruesas; poros finos comunes. Grava media de forma esférica 5%. Límite con horizonte	Profundidad horizonte B 14-30 cm. Pardo amarillo oscuro (10 YR 3/6) en seco y pardo amarillo oscuro (10 YR 3/4) en húmedo. Textura Franco arcillosa. Estructura de bloques angulares recién formándose sin grado estructural. Muy pocas raíces muy finas y raíces finas comunes. Poros finos abundantes y medios comunes. Grava media de	Profundidad horizonte B-t1 16-30 cm. Pardo rojizo oscuro (2.5 YR 2.5/3) en seco, rojo muy oscuro (2.5 YR 2.5/2) en húmedo. Textura Arcillosa muy adhesiva. Estructura de bloques angulares medios de grado débil. Raíces muy finas comunes y finas comunes; poros muy finos abundantes y

comunes y gruesos pocos. Gravas finas esféricas 20% y guijarros prismoidales 5%. Límite con horizonte A1 lineal claro. Presencia de cutanes.	Ap ondulado claro. Presencia de gravas muy finas que se sienten al tacto.	forma cúbica 10%. Límite con horizonte A ondulado claro. Presencia de moteados de distintos colores.	finos comunes. Guijarros prismoidales 2%. Límite con horizonte A lineal difuso. Presencia de coprolitos y cutanes.
Profundidad horizonte B-t2 57-76 cm. Pardo oscuro rojizo (5 YR 3/2) en seco y pardo oscuro rojizo (5 YR 2.5/2) en húmedo. Textura Franco límoso, Estructura granular fina de grado no estructural, raíces muy finas, finas y gruesas pocas, poros finos comunes y medios pocos. Gravas finas esféricas 35% y guijarros prismoidales 15%. Límite lineal claro. Presencia de coprolitos y cutanes.	Profundidad horizonte B 50-75 cm. Pardo amarillo oscuro (10 YR 3/6) en seco y pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo. Textura Franco arcillosa. Bloques subangulares gruesos de grado moderado. Raíces muy finas pocas, finas comunes y medias muy pocas; poros muy finos comunes. Grava media de forma cúbica 10%. Límite con horizonte A ondulado claro. Presencia de roca meteorizada.	Profundidad horizonte C 30-60 cm. Pardo amarillento (10 YR 5/6) en seco y húmedo. Sin textura (maicillo). Sin Estructura. Raíces muy finas muy pocas y gruesas muy pocas. Presencia de maicillo, roca en descomposición y bolones cutanes. Límite con horizonte B lineal difuso.	Profundidad horizonte B-t2 30-70 cm. Pardo rojizo (5 YR 4/3) en seco, pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3) en húmedo. Textura Arcillosa. Estructura de bloques angulares gruesos de grado moderado. Raíces muy finas comunes, finas y medias pocas; poros finos y muy finos abundantes. Grava gruesa 2%, guijarros 2%, grava media de forma cúbica 5% y bolón grande sin determinar %. Límite lineal difuso con horizonte B-t1. Presencia de cutanes.



Apéndice V

Tabla: Diagnóstico de la condición del estado actual; donde *Condición Buena*: situación esperable según estado de referencia, *Regular*: situación cercana a lo esperable o con potencial de ser mejorada, y *Pobre*: situación lejana a lo esperable, ya sea por estar por sobre/bajo el valor de referencia.

Variables	Diagnóstico de la Condición Actual			
	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4
Bióticas				
<i>Cobertura, Profundidad, Biomasa Hojarasca</i>	Buena	Regular (exceso)	Pobre (déficit)	Pobre (déficit)
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Arbórea</i>	Buena	Buena	Regular	Pobre
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Arbustiva</i>	Buena	Buena	Regular	Pobre
<i>Cobertura, Altura, Fitovolumen, Diversidad y Riqueza Herbáceas</i>	Buena	Pobre (déficit)	Buena	Regular (exceso adventicias)
<i>Cobertura y Fitovolumen Total</i>	Buena	Buena	Regular	Pobre
<i>Riqueza y Diversidad Total</i>	Buena	Regular	Regular	Pobre
Abióticas*				
<i>% Arena</i>	Buena	Buena**	Regular (déficit)	Regular
<i>% Arcilla</i>	Buena	Buena	Regular (exceso)	Regular
<i>Densidad Aparente, de Fracción Fina</i>	Regular (exceso)	Buena**	Regular	Regular (exceso)
<i>Porosidad</i>	Regular (déficit)	Buena**	Regular	Pobre (déficit)
<i>Contenido de C y N totales y Relación C/N</i>	Buena	Buena**	Regular	Pobre (déficit)
<i>Humedad Aprovechable, Capacidad Campo y Punto Marchitez Permanente</i>	Buena	Buena**	Regular (favorecido por arcilla)	Regular (favorecido por arcilla)
*Se consideraron variables cuantitativas y cualitativas del suelo superficial y en profundidad.				
**Estado 2 se tomó como referencia debido a que el Estado 1 se encontraba en otro sitio separado por una distancia de 2.865 m.				

