

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**VALIDACIÓN DE UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DIFERENCIAR  
NIVELES DE DEGRADACIÓN EN DOS PISOS DE BOSQUE EN LA ZONA  
ANDINA DE LA REGIÓN METROPOLITANA.**

**FELIPE ESTEBAN DÍAZ SILVA**

**Santiago, Chile  
2015**

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**VALIDACIÓN DE UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DIFERENCIAR  
NIVELES DE DEGRADACIÓN EN DOS PISOS DE BOSQUE EN LA ZONA  
ANDINA DE LA REGIÓN METROPOLITANA.**

**VALIDATION OF A METOLOGY PROPOSAL TO DIFFER BETWEEN  
DEGRADATION LEVELS IN TWO FOREST VEGETATION BELTS IN THE  
ANDEAN ZONE OF THE METROPOLITAN REGION.**

**FELIPE ESTEBAN DÍAZ SILVA**

**Santiago, Chile  
2015**

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

**VALIDACIÓN DE UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DIFERENCIAR  
NIVELES DE DEGRADACIÓN EN DOS PISOS DE BOSQUE EN LA ZONA  
ANDINA DE LA REGIÓN METROPOLITANA.**

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

FELIPE ESTEBAN DÍAZ SILVA

	<b>Calificaciones</b>
<b>Profesores Guías</b>	
Jorge Pérez Q. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph. D.	<b>6,8</b>
Horacio Bown I. Ingeniero Forestal, M.S. Ph. D.	<b>6,7</b>
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Gerardo Soto M. Ingeniero Forestal, M.S. Dr.	<b>6,7</b>
Fernando Santibáñez Q. Ingeniero Agrónomo, Dr. Es. Sci.	<b>6,5</b>

**Santiago, Chile  
2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

Les agradezco a mis profesores guías, Jorge Pérez y Horacio Bown, por su paciencia, confianza, apoyo y conocimiento entregado a lo largo de todos los meses de realización de este proyecto, y por haberme dado la oportunidad de haber participado en él.

A todos quienes colaboraron con las mediciones en terreno y con el trabajo de laboratorio, sin ellos esta etapa hubiese sido sin duda más larga y agotadora. En especial, le agradezco a Cristian Hurtado quién fue de mucha ayuda dada su experiencia en la primera etapa del proyecto.

A mi familia por su apoyo, cariño y preocupación, materializado en diversos gestos que lograron que pudiera sobrepasar de mejor manera los obstáculos planteados a lo largo de todo este ciclo universitario que se cierra.

A mis amigos que, de una u otra forma, se hicieron presente durante este tiempo que tomó la realización de la presente memoria de título. Además, fueron de vital importancia desde primer año de universidad, y no sólo en el ámbito académico sino que también en otros aspectos de la vida.

Por último, agradecer a los administradores de los Santuarios de la Naturaleza El Arrayán y Yerba Loca por facilitarnos el acceso a los sitios en los cuales se realizaron las mediciones.

Esta tesis fue financiada por el Proyecto 022/2012 del Fondo de Investigación del Bosque Nativo (FIBN) de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), titulado “Guía para la regeneración y recuperación de bosque y matorral de ecosistemas de montaña en la Región Metropolitana

## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
Área de estudio .....	7
Bosque esclerófilo.....	8
Bosque esclerófilo andino.....	9
Métodos .....	11
Ubicación de pisos vegetacionales y niveles de degradación.....	11
Caracterización de niveles de degradación .....	12
Variables vegetacionales.....	12
Variables de suelo .....	14
Variable de proceso ecosistémico .....	16
Análisis estadístico .....	17
RESULTADOS.....	18
Piso bosque esclerófilo.....	18
Caracterización de niveles de degradación.....	19
Piso bosque esclerófilo andino .....	25
Caracterización de niveles de degradación.....	26
DISCUSIÓN .....	33
CONCLUSIONES .....	37
BIBLIOGRAFÍA .....	38
ANEXOS .....	42

## RESUMEN

Los ecosistemas de montaña constituyen una importante fuente de recursos, los cuales son utilizados de forma directa e indirecta por la población humana, quienes debido a prácticas inadecuadas han provocado que estos ecosistemas pierdan su funcionalidad. El proyecto en el cual se enmarca el presente trabajo busca generar una guía de restauración para informar a quienes ejercen acciones en zonas cordilleranas de la Región Metropolitana y así recuperar estos ambientes. Para ello, se caracterizaron tres niveles de degradación mediante la medición de cinco variables seleccionadas previamente como indicadores de la degradación en el cajón del Río Maipo: fitovolumen, porcentaje de arcilla, carbono total del suelo, densidad aparente y respiración de suelo. En este trabajo se evaluaron las variables en el cajón del Río Mapocho, en los pisos bosque esclerófilo y bosque esclerófilo andino, para su posterior comparación y así definir cuáles de éstas permiten caracterizar de forma más genérica distintos niveles de degradación. Se establecieron tres parcelas de 10 x 10 m en cada nivel, en donde se realizaron las mediciones. Los resultados indicaron que el fitovolumen y el contenido de carbono total del suelo caracterizan de mejor forma la degradación, porque ambas disminuyen a medida que el nivel de degradación aumenta, en ambos sitios de estudios y para ambos pisos vegetacionales. En cuanto a las otras variables de suelo, los datos obtenidos no permiten establecer con claridad algún comportamiento similar para ambos pisos. La respiración de suelo en el esclerófilo andino disminuyó a medida que aumentaba la degradación en ambas cuencas, pero no ocurrió así en el esclerófilo. Las variables vegetacionales permiten determinar niveles de degradación de forma más confiable, sin embargo se debe tener en cuenta la singularidad de las asociaciones vegetales que se forman en cada cuenca.

**Palabras claves:** esclerófilo, esclerófilo andino, fitovolumen, porcentaje arcilla, densidad aparente, carbono total del suelo, respiración de suelo, degradación.

## ABSTRACT

Mountain ecosystems are an important source of resources, which are used both, directly and indirectly by the human population who, due to inappropriate practices have diminished the functionality of these ecosystems. The project in which this work is framed looks at creating a restoration guide for those who use these areas, and in this way restore the environment in these mountain ecosystems. To achieve this objectives, three degradation levels were characterized by measuring five variables: phytovolume, percent clay, total soil carbon, bulk density and soil respiration, which were selected during the first stage of the project, done at Cajón del Maipo area. In this research, the behavior of these variables was analyzed in a similar area at the Mapocho river, for both vegetational belts, sclerophyllous forest and Andean sclerophyllous forest, to compare and identify which variables describe best the levels of degradation in both zones. Three plots of 10 x 10 m were established, where all the variables were measured. Results showed that phytovolume and total soil carbon content characterized degradation levels in a better way than other variables, because both decreased as degradation increased in both study areas and vegetational belts. Data from the other soil related variables did not allow establishing a similar behavior between both vegetational belts. Soil respiration decreased as degradation increased in both study areas only at Andean sclerophyllous forest. Vegetation variables allow to determine degradation levels more reliably way than other variables, but the singularity in the vegetation associations on each basin needs to be considered.

**Key words:** sclerophyllous, Andean sclerophyllous, phytovolume, percent clay, bulk density, soil total carbon, soil respiration, degradation.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico basado en la explotación de recursos naturales ha tenido importantes costos ambientales. Su uso inadecuado ha acelerado los procesos de degradación de diversos ecosistemas (Ovalles, 2006), alterándose la funcionalidad de sus procesos primarios, como la eficiencia en el uso y captura del agua, la energía y los nutrientes (Whisenant, 1999).

Los ecosistemas de montaña corresponden al 65% del territorio de la Región Metropolitana y se caracterizan por poseer diferentes bienes y servicios de los cuales la sociedad se beneficia, proveen de agua a las zonas bajas de la cuenca para abastecer el uso agrícola, industrial y residencial de la ciudad (Egan y Price, 2014). Además, estos ambientes albergan una alta diversidad natural y etno-cultural, elementos relevantes utilizados para el desarrollo de actividades recreacionales y turísticas. Sin embargo, son ambientes excepcionalmente frágiles debido a los cambios naturales y antropogénicos a los cuales están sujetos permanentemente, esto sumado a que la capacidad de recuperación de estos ecosistemas frente a disturbios es lenta y a veces inexistente (Spehn *et al.*, 2005).

En estos ecosistemas de montaña, a medida que se asciende por la cordillera, las condiciones del suelo, la disponibilidad de agua y las condiciones meteorológicas van determinando la existencia de diferentes asociaciones vegetacionales, llamadas pisos de vegetación. A pesar de que se dan condiciones de heterogeneidad dentro de un mismo piso, es posible establecer una clasificación general. Un primer piso vegetacional es el bosque esclerófilo, ubicado entre los 700 y 1.700 msnm, en donde las especies dominantes son el quillay (*Quillaja saponaria*) y el litre (*Lithraea caustica*), acompañados por el bollén (*Kageneckia oblonga*) y el peumo (*Cryptocarya alba*), éste último ubicado en sectores más húmedos. La estrata arbustiva se presenta muy heterogénea. Un segundo piso vegetacional lo constituye el bosque esclerófilo andino, ubicado entre los 1.650 y 2.000 msnm, con presencia de asociaciones dominadas por el frangel u olivillo de cordillera (*Kageneckia angustifolia*), guindilla (*Guindilia trinervis*) y duraznillo (*Colliguaja integerrima*) (Universidad de Chile, 2011). Ambos pisos presentan internamente distintos niveles de degradación, según el grado de intervención antrópica al cual han sido sometidos.

La intervención antrópica en estas zonas corresponde principalmente a la explotación minera, deforestación, extracción de tierra de hojas, generación de incendios y expansión urbana. Además, las actividades agrícolas y ganaderas son realizadas por pequeños productores que practican agricultura de subsistencia, por lo que el sistema que imponen es netamente extractivo, con ausencia del uso de tecnologías y realizadas en suelos frágiles. Otro proceso relevante que se lleva a cabo en las zonas altoandinas son las llamadas veranadas, que corresponden a praderas naturales o artificializadas, que por condiciones climáticas sólo pueden ser utilizadas entre mediados de primavera y verano, las cuales son sobrepastoreadas, impidiéndose la resiembra natural de los pastos (Universidad de Chile, 2011). Por otra parte, la actividad turística genera contaminación, compactación y erosión

de suelos (Ahumada y Faúndez, 2001). Estas actividades han derivado en la pérdida de las características propias de los ecosistemas naturales, traduciéndose en altos niveles de alteración y degradación de la productividad y funcionalidad ecológica (Fredericksen *et al.*, 2011).

Para detener la erosión y aumentar la funcionalidad de los lugares que han perdido paulatinamente sus propiedades y su calidad ambiental, es relevante iniciar un proceso de recuperación de las zonas degradadas. Para ello existen actividades como la restauración ecológica, cuyo objetivo es recuperar las condiciones iniciales de un ecosistema degradado, facilitando la reanudación de los procesos que permiten que el ecosistema perturbado retorne a la trayectoria deseada, hasta cierto punto en donde ya no requiera de ayuda externa para asegurar su salud e integridad, manteniendo su estructura y funcionalidad (SER, 2004).

La planificación de las actividades necesarias para la restauración no siempre es la adecuada, al no considerar los diversos tipos de limitaciones como las logísticas y aquellas propias del lugar. En este caso, las principales limitaciones se relacionan con que en estos ecosistemas la restauración es un proceso que se da de forma más lenta debido a factores como la pendiente y lo delgado de los suelos. Además, suele ocurrir que no se consideran los intereses de las comunidades locales. Por lo tanto, cuando se inicia un proceso de recuperación, una primera etapa debe ser la evaluación de las condiciones del sitio para otorgarles una escala de prioridades a la restauración de acuerdo a las limitaciones existentes. Para lograr una restauración exitosa, ésta debe tener un enfoque interdisciplinario, involucrando los aspectos sociales, económicos y ecológicos (Echeverría *et al.*, 2010). Sin embargo, la restauración no asegura la reproducción exacta de la sucesión histórica que dio lugar al ecosistema utilizado como referencia (Fernández *et al.*, 2010).

Durante la primera etapa del proyecto “Guía para la regeneración y recuperación de bosque y matorral de ecosistemas de montaña en la Región Metropolitana” se trabajó con 36 variables, relacionadas con vegetación (19), suelo (13) y procesos ecosistémicos (4) en el cajón del Río Maipo. Para cada variable se elaboró un gráfico que muestra su comportamiento en escala relativa y absoluta en relación con el estado de degradación, agrupándose posteriormente las variables que aumentaron, disminuyeron o no cambiaron con el aumento de la degradación. Finalmente, se identificaron aquellas consideradas como claves para resumir el estado de la vegetación, suelo y procesos ecosistémicos, esto en base a diferencias estadísticamente significativas (Bown y Pérez, 2013). Estas variables fueron estudiadas en un gradiente de perturbación que consideró cuatro estados o niveles de degradación, asimilando el comportamiento teórico planteado por Whisenant (1999). Aquellas variables seleccionadas fueron: fitovolumen, porcentaje de arcilla y carbono total a 10 cm, densidad aparente y respiración de suelo. A estas variables se le agrega un listado florístico de las especies observadas en cada estado de degradación.

Esta investigación específica se encuentra en la segunda etapa del proyecto, analizando los resultados en un sector montañoso distinto para validar el comportamiento de los modelos desarrollados para aquellas variables seleccionadas, corroborando que éstas puedan

describir los niveles de degradación, para así enfocar posteriormente las medidas de restauración en estos ecosistemas.

### **Objetivo General**

Validar una propuesta metodológica para caracterizar distintos niveles de degradación en los pisos vegetacionales correspondientes a bosque esclerófilo y bosque esclerófilo andino en la cuenca del Río Mapocho.

### **Objetivo Específico**

Comparar el comportamiento de las variables de vegetación, suelo y proceso ecosistémico con respecto al observado previamente en la cuenca del Río Maipo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La presente investigación se realizó en la zona cordillerana de la cuenca del Río Mapocho, al nor-oriente de la Región Metropolitana, comuna de Lo Barnechea. El estudio correspondiente al piso de bosque esclerófilo se llevó a cabo en el Santuario de la Naturaleza El Arrayán, mientras que el estudio correspondiente al piso de bosque esclerófilo andino se efectuó en el Santuario de la Naturaleza Yerba Loca. En la Figura 1 se observa la ubicación espacial del área de estudio. A continuación se describe cada sitio de estudio.

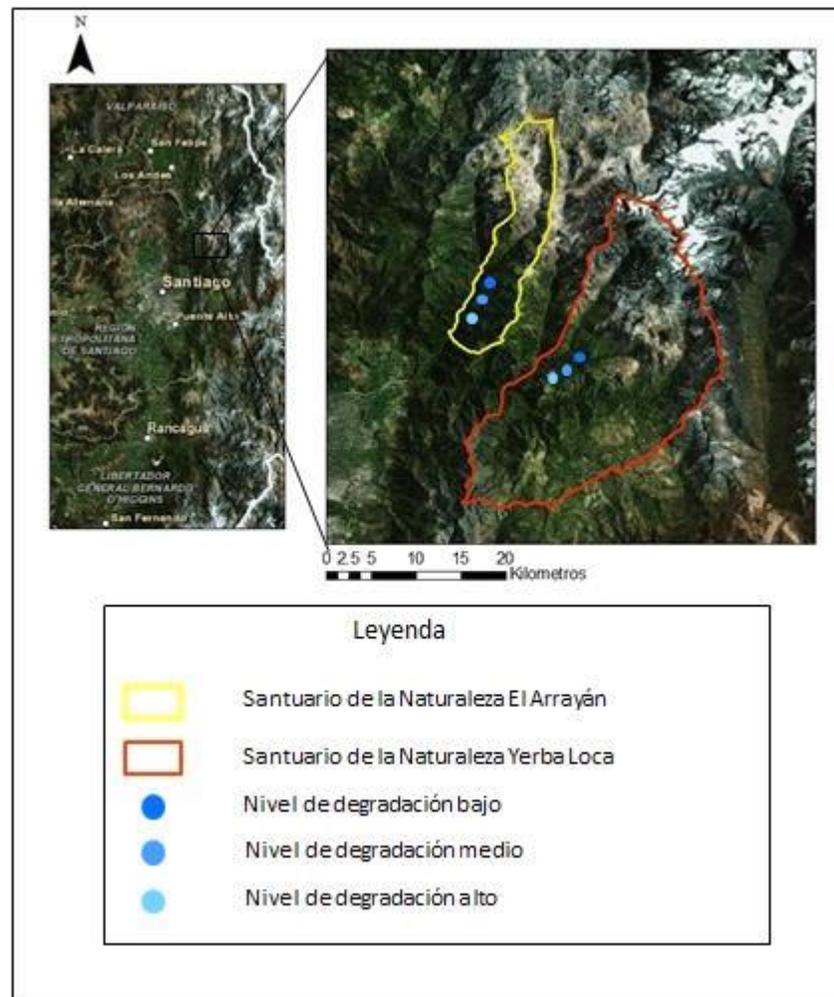


Figura 1. Ubicación espacial del área de estudio y sectores de distintos niveles de degradación (Elaboración propia).

## Bosque esclerófilo

El Santuario de la Naturaleza El Arrayán fue creado mediante el Decreto Supremo 726 del Ministerio de Educación el 15 de junio del año 1973, cuyo propietario y administrador es la Sociedad Santuarios de la Cordillera Ltda. Su relevancia radica en el valor ecológico existente en sus 11,025 ha de extensión, con presencia de especies de vegetación y fauna autóctona, algunas de ellas en categoría de peligro, destinada a conservar la riqueza natural para el estudio e investigación de la flora, fauna y ecosistemas propios de la precordillera central (CONAMA, 2008).

Santibañez y Uribe (1990) clasifican el clima de este piso vegetal dentro del tipo Mediterráneo Semiárido, como Templado Mesotermal Inferior Estenotérmico (Distrito agroclimático 60.4), en donde las temperaturas varían, en promedio, entre una máxima para el mes de enero de 27.3°C y una mínima de 5.0°C para el mes de julio. El promedio de heladas es de 6 por año. En cuanto al régimen hídrico, se observa una precipitación media anual de 550 mm, un déficit hídrico de 980 mm y un período seco de 7 meses. Debido a la ubicación altitudinal, los inviernos son relativamente fríos, con veranos cálidos.

Los suelos se caracterizan por poseer un horizonte superficial iluvial, de texturas arcillosas y francosas finas, con una profundidad variable siendo predominantes los suelos ligeramente profundos (de 50 a 75 cm), de pH neutro, buen drenaje, sin pedregosidad y una permeabilidad moderadamente lenta (de 0.5 a 2 cm/h). Por estas características, estos suelos corresponden a clase VII, aptos para el manejo forestal (CIREN, 2011).

El principal curso de agua que alimenta esta zona es el Estero El Arrayán, que nace a los 3.100 msnm, y luego de un recorrido de 31 km finaliza en la confluencia con el río Mapocho, a los 900 msnm (Sepúlveda, 2012).

Luebert y Pliscoff (2006) clasifican la vegetación de este lugar en el tipo Bosque esclerófilo mediterráneo andino de *Quillaja saponaria* y *Lithraea caustica*, en donde la estrata arbórea se encuentra dominada principalmente por *L. caustica*, *Q. saponaria* y *Kageneckia oblonga*, mientras que otras especies como *Cryptocarya alba* son localmente abundantes en sectores más húmedos. Mientras tanto, la estrata arbustiva es más diversa, destacándose especies tales como *Escallonia pulverulenta*, *Proustia cuneifolia*, *Colliguaja odorífera*, *Satureja gilliesii* y *Teucrium bicolor*. En la estrata herbácea, también diversa, aparecen especies geófitas como *Alstroemeria haemantha*, *Pasithea coerulea* y *Solenomelus pedunculatus*. Por otro lado, los matorrales de las laderas rocosas de exposición norte se encuentran dominados por especies tales como *Colliguaja odorífera*, *Puya berteroniana* y *Echinopsis chiloensis*, con presencia de individuos aislados de especies arbóreas (Universidad de Chile, 2011).

Otras especies que potencialmente se pueden encontrar en esta zona son: *Alstroemeria haemantha*, *Azara petiolaris*, *Baccharis paniculata*, *Baccharis homboidalis*, *Cryptocarya alba*, *Eccremocarpus scaber*, *Gochnatia foliolosa*, *Nasella chilensis*, *Pasithea coerulea*,

*Podanthus mitiqui*, *Porlieria chilensis*, *Schinus polygamus*, *Solanum ligustrinum*, *Solenomelus pedunculatus*, *Teucrium bicolor*, *Retanilla quinquenervia*, *Tristerix corymbosus* (Luebert y Pliscoff, 2006).

En cuanto a la fauna, las especies de reptiles que habitan el cajón del río Arrayán corresponden a la culebra chilena de cola corta (*Tachymenis chilensis*) y de cola larga (*Phylodrias chamissonis*), la lagartija parda (*Liolaemus bellii*), el lagarto llorón (*Liolaemus chiliensis*), lagarto leopardo (*Liolaemus leopardinus*) y la lagartija del monte (*Liolaemus monticola*); mientras que los anfibios más comunes son el sapo de rulo (*Rhinella arunco*) y el sapo de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*). Ambos grupos de especies presentan un alto grado de endemismo, pero también un alto grado de vulnerabilidad. En cuanto a las aves, es posible observar al cóndor (*Vultur gryphus*), águila (*Geranoaetus melanoleucus*), loica (*Sturnella loyca*), tenca (*Mimus thenca*), perdiz chilena (*Nothoprocta perdicaria*), tapaculo (*Scelorchilus albicollis*), chercán (*Troglodyte saedon*) y chiricoca (*Chilia melanura*), entre otras. Entre los mamíferos se encuentran el puma (*Puma concolor*), el zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), quique (*Galictis cuja*) y diversos roedores (CMN, 2010).

### **Bosque esclerófilo andino**

El Santuario de la Naturaleza Yerba Loca fue creado mediante el Decreto Supremo 937 del Ministerio de Educación el 24 de julio del año 1973, cuyo propietario es la Ilustre Municipalidad de Lo Barnechea y privados, y es administrado por Parque Cordillera Yerba Loca, de forma conjunta con la localidad de Villa Paulina. Posee una superficie de 39,029 ha y su protección está fundamentada en la necesidad de conservar la especies arbóreas existentes y la ecología original de la precordillera, además de ofrecer una alternativa turística en la Región (CONAMA, 2008).

Santibañez y Uribe (1990) clasifican el clima de este piso vegetacional dentro del tipo Mediterráneo Semiárido, como Templado Microtermal Estenotérmico (Distrito agroclimático 54.8), en donde las temperaturas varían, en promedio, entre una máxima de enero de 20°C y una mínima de julio de -0.8°C. El promedio de heladas es de 151 por año. En cuanto al régimen hídrico, se observa una precipitación media anual de 445 mm, un déficit hídrico de 856 mm y un período seco de 8 meses. Debido a la ubicación altitudinal, el régimen térmico es moderado, con inviernos fríos y una alta incidencia de heladas. La variación en altitud que se registra en este piso vegetacional incide en una alta variabilidad climática local, con temperaturas más extremas y precipitaciones nivales (Álvarez, 2008).

El lugar de estudio presenta suelos esqueléticos sobre rocas, con alta frecuencia de afloramientos rocosos y pendientes pronunciadas. La superficie presenta alteraciones por movimientos de remoción en masa y procesos erosivos intensos. Corresponden a suelos con un desarrollo muy limitado, provenientes de depósitos recientes, muy delgados sobre roca, con pendientes fuertes y con escasa acumulación de materia orgánica, conocidos como Litosoles y Regosoles (Prado, 1997).

El principal curso de agua que alimenta esta zona es el Estero Yerba Loca, que nace a los 3.900 msnm, y luego de un recorrido de 22 km finaliza su recorrido en la confluencia con el río San Francisco, a los 1.400 msnm. Sus dos afluentes más importantes son los esteros La Leonera que confluye en el sector de Villa Paulina y el estero Chorillos del Plomo (Sepúlveda, 2012).

Luebert y Pliscoff (2006) clasifican la vegetación de este lugar en el tipo Bosque esclerófilo mediterráneo andino de *Kageneckia angustifolia* y *Guindilia trinervis*, el cual corresponde a un bosque abierto dominado en su estrata arbórea por *K. angustifolia*, mientras que *G. trinervis* y *Colliguaja integerrima* dominan la estrata arbustiva. La presencia de individuos de pisos altitudinales superiores (como *Viviana marifolia*) e inferiores (como *K. oblonga*) hace que a este piso se le otorgue un carácter de transicional entre bosque esclerófilo y matorral bajo andino. Por su parte, en la estrata herbácea es frecuente encontrar *Acaena pinnatifida* y *Stachys grandidentata*. En zonas más húmedas aparecen individuos de *Schinus montanus* y en laderas de exposición norte *Echinopsis chiloensis* (Universidad de Chile, 2011).

Otras especies que potencialmente se pueden encontrar en esta zona son: *Azara petiolaris*, *Baccharis homboidalis*, *Ephedra chilensis*, *Gymnophytonis atidicarpum*, *Haplopappus illinitus*, *Kageneckia oblonga*, *Mulinum spinosum*, *Phacelia secunda*, *Quinchamalium chilense*, *Stachys grandidentata*, *Tetraglochin alatum*, *Tristerix corymbosus* (Luebert y Pliscoff, 2006).

La fauna más frecuente de observar en el lugar corresponde a la avifauna, representada principalmente por especies del orden Passeriforme como el picaflor cordillerano (*Oreotrochilus leucopleurus*), mero gaucho (*Agriornis montana*), yal (*Phrygilus fruticeti*), jilguero (*Carduelis barbatus*) y la golondrina chilena (*Tachycineta leucopyga*); la tórtola cordillerana (*Metriopelia melanoptera*) representando al orden de las Columbiformes, y especies del orden Falconiformes como el cóndor (*Vultur gryphus*), aguilucho (*Buteo polyosoma*), cernícalo (*Falco sparverius*) y el halcón peregrino (*Falco peregrinus*) (CMN, 2010). Con respecto a los mamíferos, el orden mejor representado es el de los roedores, destacando especies como el cururo (*Spalacopus cyanus*), el degú (*Octodon degu*) y el ratón orejudo de Darwin (*Phyllotis darwini*) (CONAF, 2001).

## Métodos

### Ubicación de pisos vegetacionales y niveles de degradación

Se realizaron campañas de terreno durante el período estival (enero del 2014) para identificar los pisos vegetacionales y sus respectivos niveles de degradación. Para reconocer los pisos se utilizó como guía la descripción bibliográfica realizada por Sebastián Teillier (descritos en la introducción) para el proyecto de Santiago Andino (Universidad de Chile, 2011). Mediante la observación de distintos elementos del lugar, como especies presentes, su cobertura, cárcavas, fecas de ganado, antiguos cercos, construcciones y sitios quemados, se fue identificando un gradiente de perturbación. A partir de estas características, estos sitios fueron clasificados en tres niveles de degradación, siguiendo el modelo propuesto por Whisenant (Figura 2), el cual fue modificado, en donde los estados 0 y 1 corresponden a un nivel bajo de degradación, el estado 2 corresponde a un nivel de degradación media y los estados 3 y 4 corresponden a un nivel de degradación alta. Cabe destacar que el nivel bajo se asocia además a los estados 1 y 2 del estudio realizado por Reyes (2015) y Lambertini (2013) en el Maipo, el estado 2 al nivel medio y el estado 3 al nivel alto.

En el piso de bosque esclerófilo, los tres niveles fueron encontrados de forma continua en un sector del Santuario ubicado en las cercanías de la antigua casa patronal, observándose la relación que a medida que más alejado se estaba de este lugar menor era la degradación, por lo que tras ser delimitadas las parcelas más degradadas se llegaron a sitios con mejores condiciones en donde se establecieron las parcelas correspondientes al nivel bajo. Esto permitió realizar las mediciones en zonas ubicadas en condiciones topográficas similares, en cuanto a exposición y pendiente.

Situación similar ocurrió en el piso de bosque esclerófilo andino, en donde los tres niveles fueron encontrados en las cercanías del camino principal del Santuario y de una casa con un pequeño corral de animales. Una vez definidas las parcelas del nivel de degradación alta, en lugares contiguos se establecieron las parcelas del nivel medio y posteriormente del nivel bajo, que se encontraban más alejadas del camino principal, ubicadas también en condiciones topográficas similares.

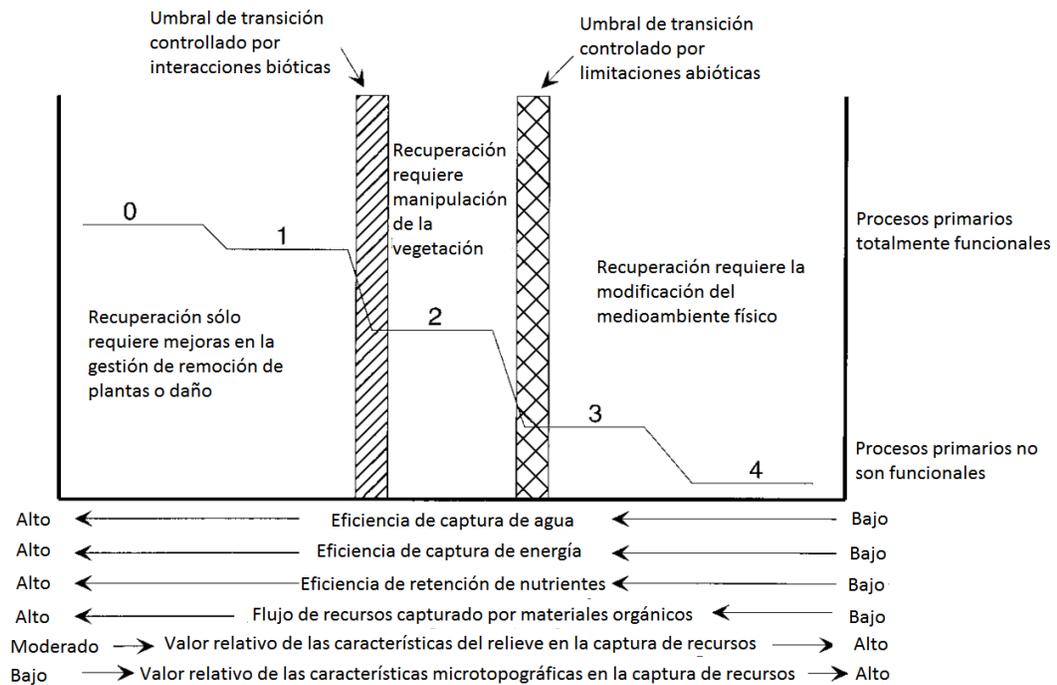


Figura 2. Modelo teórico estados de degradación de ecosistemas (Whisenant, 1999).

### Caracterización de niveles de degradación

En cada nivel de degradación se ubicaron tres parcelas de 10 x 10 m encada piso (con un total de 18 parcelas, 9 por cada piso vegetacional), dentro de las cuales se realizaron las mediciones correspondientes a cada variable (aquellas identificadas previamente como las más relevantes), que corresponden a: fitovolumen, porcentaje de arcilla a 10 cm, carbono orgánico a 10 cm, densidad aparente y respiración de suelo. De forma complementaria, se realizó un listado florístico del área estudiada por cada nivel. Cabe destacar que los métodos seleccionados se corresponden con aquellos utilizados en la primera etapa del proyecto en el sector del Río Maipo (Lambertini, 2013; Reyes, 2015), esto con el fin de obtener resultados que permitan su posterior análisis y comparación. Debido a que las campañas en terreno se realizaron durante el período estival, muchas de las especies herbáceas se encontraban secas o ya no estaban presentes en el lugar.

### Variables vegetacionales

Para la medición del fitovolumen se empleó el método del intercepto punto (Matteucci y Colma, 1982), que consiste en realizar transectos lineales y registrar en cada punto la presencia de alguna especie vegetal (estos puntos corresponden a la proyección de un punto

en el suelo). En las parcelas mencionadas se realizó una grilla compuesta por 10 transectos de 10 m cada una en dirección de la pendiente, realizando mediciones cada 1 m con una vara graduada (teniendo un total de 100 mediciones por parcela). En una libreta de campo se registró la presencia o ausencia de alguna especie (en el caso de encontrarse con alguna roca, ésta también fue registrada), altura y espesor del follaje. Con esta información levantada en terreno se determinó posteriormente la cobertura total y relativa para cada nivel y por estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo, permitiendo analizar en cuánto varía a lo largo del gradiente de perturbación (Jaunatre *et al.*, 2013). Luego, con los datos de cobertura, altura y espesor se determinó el fitovolumen correspondiente a cada estrato mediante la siguiente fórmula (Ecuación 1):

$$FV = \sum_{i=1}^{n=i} \frac{\left(\frac{Cest}{100}\right) * Eest * S}{S} \quad (1)$$

Donde,

FV: Fitovolumen de biomasa aérea intersectada del estrato i, en n puntos ( $m^3 * m^2$ ).

Cest: Cobertura del estrato i, entendido como el número total de intersecciones en la parcela (%).

Eest: Espesor promedio del estrato i intersectado (m).

S: Superficie de la parcela ( $m^2$ ).

Con las especies que aparecen en los transectos se obtuvieron valores de riqueza para el estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo, expresados como promedio de las 3 parcelas para cada nivel de degradación. La riqueza corresponde al número de especies distintas registradas. Además, se determinó la diversidad de especies mediante el cálculo del índice de Shannon - Wiener (Ecuación 2), también para cada estrato. Este índice refleja la variabilidad de los organismos presentes en una determinada comunidad, basado en su estructura y considera la importancia de cada especie presente (Moreno, 2001). La medición de estas variables de diversidad permitirá complementar la discusión.

$$H' = - \sum_{i=1} P_i * \ln P_i \quad (2)$$

Donde,

H': Índice de diversidad de Shannon para una parcela de estudio.

P<sub>i</sub>: Frecuencia acumulada de participación de la especie "i" (nº de especies), correspondiente a la cobertura.

Tras recorrer cada estado de degradación, las muestras vegetales fueron colectadas en terreno y prensadas para su posterior identificación en el Laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Con las especies

identificadas se elaboró un listado de la flora vascular encontrada en cada estado, indicando además su hábito de crecimiento y origen geográfico (Zuloaga *et al.*, 2008).

### Variables de suelo

Para determinar el porcentaje de arcilla se realizó el siguiente procedimiento en laboratorio: se extrajeron cuatro muestras de suelo de 1 kg cada una dentro de cada parcela delimitada, esto a 10 cm de profundidad, dos de ellas con cobertura y dos sin cobertura vegetal. Antes de realizar el procedimiento correspondiente, las muestras de suelo fueron tamizadas hasta obtener un tamaño de partículas igual o inferior a los 2 mm, y luego fueron secadas en un horno a 105°C durante 24 horas. En el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas, las muestras fueron sometidas al método de Bouyoucos, que consiste básicamente en una lectura de la densidad del suelo en solución para determinar el contenido de limo y arcilla en suspensión; luego, se realizó una segunda medición, de la cual se determinó la arcilla en suspensión. El procedimiento está basado en las leyes de Stokes, las cuales argumentan que la velocidad de decantamiento de una partícula de suelo diluida es proporcional a su radio. Esto genera que la primera partícula en decantar sea la arena (partícula de mayor radio), seguida por el limo y por último la arcilla, de tamaño más pequeña (Bouyoucos, 1962). Una vez tomados los datos, éstos son ingresados en la fórmula de las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned} \text{Arena} &= 100 - \left( \frac{\text{Lectura 1}}{P} * 100 \right) \\ \text{Limo} &= \frac{\text{Lectura 1} - \text{Lectura 2}}{P} * 100 \\ \text{Arcilla} &= \frac{\text{Lectura 2}}{P} * 100 \end{aligned} \quad (3)$$

Donde,

Arena: Contenido de arena (%).

Limo: Contenido de limo (%).

Arcilla: Contenido de arcilla (%).

Lectura 1: Primera medición de densidad.

Lectura 2: Segunda medición de densidad, luego de 4 horas.

P: Peso seco (g).

De las muestras de suelo de 1 kg extraídas para el análisis de porcentaje de arcilla (a 10 cm de profundidad, dos con cobertura y otras dos sin cobertura vegetal), se usaron solamente 50 g para determinar el contenido de carbono total, luego de haber sido tamizadas y secadas. Estas muestras fueron llevadas al Laboratorio de Biogeoquímica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, en donde se aplicó el método de análisis de gases a combustión completa para la determinación del carbono total del suelo, empleando para ello un Analizador Elemental (Carlo Erba, modelo NA2500).

Por otro lado, el procedimiento realizado para la medición de la densidad aparente fue el siguiente: dentro de cada parcela de estudio se introdujeron cilindros de penetración de volumen conocido ( $100 \text{ cm}^3$ ), dos en suelo con cobertura y dos en suelo sin cobertura vegetal, para obtener una mayor representatividad de cada parcela. En laboratorio, las muestras fueron tamizadas hasta obtener un tamaño de partículas inferior a los 2mm y secadas en un horno a  $105^\circ\text{C}$ . Posteriormente se determinaron sus propiedades físicas: densidad aparente, densidad fracción fina, porosidad y pedregosidad. La densidad aparente se determinó con la fórmula de la Ecuación 4.

$$Da = \frac{Mss}{Vc} \quad (4)$$

Donde,

Da: Densidad aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

Mss: Masa suelo seco (g).

Vc: Volumen del suelo en el cilindro de penetración ( $\text{cm}^3$ ).

Por otra parte, la densidad de la fracción fina se calcula con la misma fórmula de la Ecuación 6, pero corrigiéndose con el volumen de la fracción gruesa (Ecuación 5).

$$Vfg = \frac{Mfg}{Dr} \quad (5)$$

Donde,

Vfg: Volumen de la fracción gruesa ( $\text{cm}^3$ ).

Mfg: Masa fracción gruesa, superior a 2 mm (g).

Dr: 2.65, valor típico para los suelos minerales ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) (Lambe y Whitman, 2008).

De esta forma, la densidad aparente de la fracción fina queda de la siguiente forma (ver Ecuación 6):

$$Dff = \frac{Mss - Mfg}{Vc - Vfg} \quad (6)$$

Ecuación 6. Fórmula para el cálculo de la densidad aparente de la fracción fina.

Donde,

Dff: Densidad aparente fracción fina ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

Mss: Masa suelo seco (g).

Mfg: Masa fracción gruesa, superior a 2mm (g).

Vc: Volumen del suelo en el cilindro de penetración ( $\text{cm}^3$ ).

Vfg: Volumen de la fracción gruesa ( $\text{cm}^3$ ).

Por otro lado, la pedregosidad fue determinada mediante el uso de la siguiente ecuación (Ecuación 7).

$$Pe = \frac{Mfg}{Mss} \quad (7)$$

Donde,

Pe: Pedregosidad (%).

Mfg: Masa fracción gruesa, superior a 2 mm (g).

Mss: Masa suelo seco (g).

La porosidad fue determinada con la siguiente fórmula (Ecuación 8).

$$Po = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100 \quad (8)$$

Donde,

Po: Porosidad (%).

Da: Densidad aparente ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ).

Dr: 2.65, valor típico para los suelos minerales ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) (Lambe y Whitman, 2008).

### Variable de proceso ecosistémico

La respiración metabólica generada por organismos heterótrofos asociados al detritus orgánico es justamente el proceso que libera el carbono hacia la atmósfera en forma de  $\text{CO}_2$  (Carmona *et al.*, 2006). Para realizar las mediciones de este flujo se ubicaron cuatro puntos en cada parcela de  $100 \text{ m}^2$ , dos bajo cobertura vegetal y otros dos sin cobertura vegetal (en suelo desnudo). De esta forma, se obtuvieron 12 mediciones por cada estado de degradación. El instrumento empleado para su medición fue el analizador infrarrojo de gases (EGM-4, PP-System, Hitchin. UK), que funciona como un sistema cerrado que mide la tasa de emisión de  $\text{CO}_2$  desde el suelo ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Se midió además la temperatura del suelo superficial en cada punto con un termómetro infrarrojo de amplio rango (modelo: 42530, Extechinstrument, Nashua, NH, EE.UU.). Para el cálculo de la respiración de suelo se utilizará la fórmula adaptada de Lloyd y Taylor (1994) (Ecuación 9), estandarizada a una temperatura de  $10^\circ\text{C}$ .

$$R_{10} = R_t * e^{b(10-t)} \quad (9)$$

Donde,

$R_{10}$ : Flujo de  $\text{CO}_2$  desde el suelo superficial a  $10^\circ\text{C}$  ( $\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$R_t$ : Flujo de  $\text{CO}_2$  desde el suelo superficial a una temperatura  $t$ .

A su vez:

$$b = \frac{\ln Q_{10}}{10} \quad (10)$$

Donde,

b: Constante relacionada con el índice de  $Q_{10}$ .

$Q_{10}$ : Según Lloyd y Taylor (1994) la ecuación tiene un buen ajuste con un  $Q_{10}$  igual a 2, valor que fue utilizado en este estudio.

### **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico posterior a la recolección de datos se utilizó el programa R 3.1.0 (R Development Core Team, 2013). Se trabajó a nivel de parcela, considerándose ésta como unidad de estudio. Los valores obtenidos luego de la aplicación de las fórmulas correspondientes ya mencionadas fueron promediados por parcela y posteriormente se promediaron según nivel de degradación ( $n=3$ ), con sus respectivos valores de error estándar. Se aplicó el test de Shapiro – Wilk para comprobar en primer lugar la normalidad en el comportamiento de los datos (Shapiro y Wilk, 1965). Luego, se realizó un análisis de varianza que permitió contrastar estadísticamente las diferencias entre los niveles estudiados. Para ellos se realizaron comparaciones entre nivel y entre tipo de cobertura (solo para aquellas variables que fueron medidas con y sin cobertura vegetal). A continuación se utilizó el test HSD de Tukey con el fin de determinar entre qué niveles se generan estas diferencias.

Cabe destacar que este procedimiento replica aquél utilizado en la primera etapa del proyecto en el sector del río Maipo (Lambertini, 2013; Reyes, 2015). Esto permite obtener resultados estandarizados, comparables con estudios previos.

## RESULTADOS

### Piso bosque esclerófilo

En la Figura 3 se observan imágenes de las parcelas en donde se realizaron las mediciones. De forma complementaria, en el Cuadro 1 se presentan sus coordenadas geográficas, exposición, altitud y pendiente.



Figura 3. Sitios de muestreo seleccionados para los tres niveles de degradación (Bajo, Medio, Alto) en el piso bosque esclerófilo.

Cuadro 1. Ubicación parcelas en cada nivel de degradación del piso bosque esclerófilo y sus características topográficas.

Nivel de degradación	Parcela	Exposición	Norte	Este	Altitud (msnm)	Pendiente (%)
Bajo	1	Noreste	6312545	364385	1152	49
Bajo	2	Noreste	6312499	364385	1166	40
Bajo	3	Noreste	6312481	364393	1162	40
Medio	1	Noreste	6312230	364475	1131	20
Medio	2	Noreste	6312246	364461	1127	20
Medio	3	Noreste	6312231	364505	1121	28
Alto	1	Noreste	6312179	364565	1108	40
Alto	2	Noreste	6312202	364562	1115	53
Alto	3	Noreste	6312158	364568	1123	53

En el nivel de menor degradación las estratas arbórea y arbustiva se presentaban bastante densas (con valores de cobertura cercanas al 90%), dominando la asociación *L. caustica* – *K. oblonga* – *P. cuneifolia* en todas las parcelas, con una capa de hojarasca. Por otro lado, en el nivel medio dominó la asociación *A. caven* – *C. odorifera*, observándose también la presencia de caminos generados por el tránsito ocasional de personas y animales. En el nivel de mayor degradación se encontró un sector de pradera en donde la especie dominante fue *A. caven*, acompañada de algunas herbáceas secas, con una mayor presencia de rocas, caminos más marcados y cárcavas en el suelo.

### Caracterización de niveles de degradación

En el Cuadro 2 se puede observar que las variables vegetacionales en su mayoría disminuyen al aproximarse al nivel más degradado, como es el caso de la cobertura, altura y fitovolumen, en especial de especies arbóreas. Por otro lado, aquellas variables de suelo que manifestaron mayores diferencias entre niveles y tipo de cobertura son densidad aparente, porosidad, contenido de carbono total y de nitrógeno. En cuanto a procesos, la respiración de suelo no mostró diferencias significativas.

Cuadro 2. Variables de vegetación, suelo y proceso ecosistémico a lo largo de tres niveles de degradación en el piso bosque esclerófilo, valle del Río Mapocho\*.

Variable	Unidad	Nivel de degradación			ANOVA (P)		Sentido degradación
		Bajo	Medio	Alto	N	C	
<i>Suelo</i>							
Arcilla	%	13.63 ± 12.37 a	15.36 ± 13.31 a	18.29 ± 16.38 b	0.012	0.404	↑
Limo	%	27.35 ± 22.65	18.88 ± 16.79	28.80 ± 22.86	0.0552	0.571	↔
Arena	%	63.95 ± 60.05 a	69.57 ± 66.09 a	60.52 ± 53.14 ab	0.0382	0.8337	↔
Pedregosidad	%	36.15 ± 30.33 a	19.50 ± 15.59 b	27.38 ± 23.42 ab	0.001	0.2466	↔
Densidad aparente	g*cm <sup>-3</sup>	0.98 ± 0.87a	1.14 ± 1.07b	1.19 ± 1.02b	0.0217	0.0026	↑
DA fracción fina	g*cm <sup>-3</sup>	0.72 ± 0.66a	1.03 ± 0.93b	0.99 ± 0.86b	0.0004	0.0043	↔
Porosidad	%	67.35 ± 63.00a	59.78 ± 56.86b	61.38 ± 54.92b	0.0217	0.0026	↔
C total	%	9.22 ± 6.70a	5.00 ± 3.37b	3.11 ± 1.98b	0.0002	0.0017	↓
N total	%	0.58 ± 0.43a	0.35 ± 0.26b	0.25 ± 0.16b	0.0005	0.0012	↓
<i>Vegetación</i>							
Cobertura total	%	89.63 ± 83.70a	58.55 ± 56.78b	47.00 ± 38.33c	0.0002	-	↓
Altura promedio	m	3.58 ± 3.13a	2.05 ± 1.61b	1.80 ± 1.41b	0.0023	-	↓
Fitovolumen total	m <sup>3</sup> *m <sup>-2</sup>	1.52 ± 0.96a	0.40 ± 0.37b	0.19 ± 0.15b	0.0081	-	↓
Cobertura arbórea	%	89.36 ± 85.31a	42.63 ± 28.71b	30.30 ± 24.37b	0.0002	-	↓
Altura arbórea	m	3.55 ± 3.17a	2.45 ± 2.31b	2.67 ± 2.12b	0.0193	-	↓
Fitovolumen arbóreo	m <sup>3</sup> *m <sup>-2</sup>	1.46 ± 0.93a	0.26 ± 0.19b	0.17 ± 0.13b	0.0052	-	↓
Cobertura arbustiva	%	12.19 ± 5.14a	29.32 ± 15.35a	2.87 ± 0.46ab	0.0474	-	↔
Altura arbustiva	m	1.67 ± 1.14	1.36 ± 0.99	0.79 ± 0.26	0.094	-	↓
Fitovolumen arbustivo	m <sup>3</sup> *m <sup>-2</sup>	0.06 ± 0.02a	0.20 ± 0.11a	0.01 ± 0.00ab	0.0289	-	↔

(Continúa)

Cuadro 2 (continuación)

Variables	Unidad	Nivel de degradación			ANOVA (P)		Sentido degradación
		Bajo	Medio	Alto	N	C	
<i>Vegetación</i>							
Cobertura herbáceas	%	0 ± 0	5.00 ± 1.67	27.73 ± 8.93	0.117	-	↑
Altura herbáceas	m	0 ± 0	0.20 ± 0.07	0.10 ± 0.05	0.154	-	↔
Fitovolumen herbáceas	m <sup>3</sup> *m <sup>-2</sup>	0 ± 0	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.01	0.264	-	↔
Riqueza total	n° especies	9	8	8	-	-	-
Riqueza	n° especies	5.67 ± 5.00	6.33 ± 5.00	5.55 ± 3.78	0.587	-	↔
Riqueza arbórea	n° especies	4.58 ± 3.42a	3.00 ± 3.00a	1.67 ± 1.00b	0.0076	-	↓
Riqueza arbustiva	n° especies	1.67 ± 1.00	2.00 ± 1.33	1.58 ± 0.42	0.579	-	↔
Riqueza herbácea	n° especies	0 ± 0a	1.58 ± 0.42ab	2.67 ± 2.00b	0.0147	-	↑
Índice de Shannon	-	1.43 ± 1.30a	1.98 ± 1.70a	1.38 ± 1.13ab	0.0249	-	↔
Shannon arbóreas	-	1.24 ± 0.91a	1.51 ± 1.24a	0.41 ± 0.11b	0.005	-	↓
Shannon arbustivas	-	0.31 ± 0.00	0.65 ± 0.00	0.54 ± 0.00	0.967	-	↔
Shannon herbáceas	-	0 ± 0a	0.37 ± 0.31b	0.98 ± 0.72c	0.0007	-	↑
<i>Proceso</i>							
Respiración de suelo	g CO <sub>2</sub> *m <sup>-2</sup> *h <sup>-1</sup>	0.05 ± 0.024	0.028 ± 0.013	0.015 ± 0.009	0.182	0.901	↓

\* Los valores se presentan como promedios ± error estándar por nivel. Se muestra además el efecto del Nivel de Degradación (N) y la condición de Cobertura (C).

El fitovolumen total (considerado como arbóreas, arbustivas y herbáceas juntas) presentó diferencias significativas entre niveles, disminuyendo a medida que la degradación aumentó.

Analizando el fitovolumen de la estrata arbórea, éste sí posee diferencias significativas entre niveles y disminuye al aumentar la degradación. La mayor diferencia se da al pasar del nivel bajo al nivel medio, en donde se reduce de forma considerable el fitovolumen correspondiente a estas especies. En tanto, el fitovolumen arbustivo aumenta hacia el segundo nivel (debido a una mayor dominancia y mayor cobertura por parte de estas especies) pero disminuye considerablemente en el tercero. El fitovolumen de herbáceas no presentó diferencias significativas entre niveles, pero aumentó al encontrarse más degradado.

Esta información es complementada en la Figura 4, en donde se observa que la asociación compuesta por *K. oblonga* - *L. caustica* desaparece al llegar al nivel alto (determinando la reducción del valor de fitovolumen), dominando la estrata arbórea en ese estado *A. caven*. En cuanto a las especies arbustivas, la especie *P. cuneifolia* disminuye su cobertura al transitar al nivel medio para darle paso a la especie *C. odorifera*, la cual se encuentra acompañada por otras especies arbóreas como el espino, quien aparece y comienza a aumentar su cobertura. Finalmente, las especies herbáceas como *Helenium aromaticum* aparecen a medida que nos encontramos en sitios más degradados.

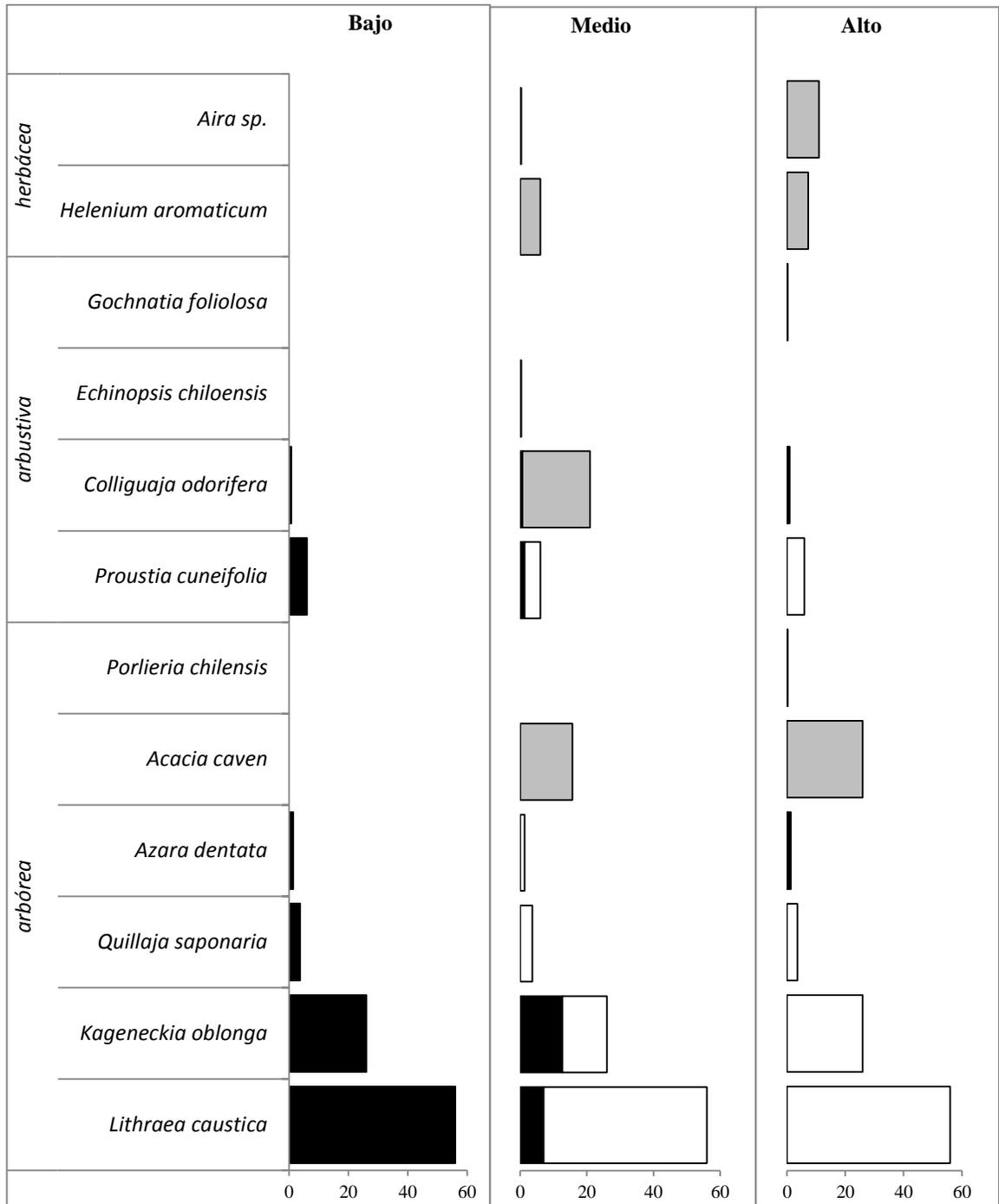


Figura 4. Cobertura por especie en cada nivel de degradación en el piso bosque esclerófilo (%), en el valle del Río Mapocho. El color negro representa la cobertura de la especie, el color blanco indica la cobertura que desaparece al pasar de un nivel al otro y el color gris muestra la cobertura de aquellas especies que aparecen al pasar al siguiente nivel o sobrepasan la cobertura del nivel anterior.

El listado florístico del Cuadro 3 muestra la flora vascular presente en el sitio de estudio, con las especies encontradas en cada nivel de degradación. En ella se puede observar que la especie *C. odorifera* es la única que está presente a lo largo de todo el gradiente de perturbación. En el nivel de alta degradación predominan especies herbáceas y arbustivas, mientras que en el nivel de menor perturbación predominan especies arbóreas y arbustivas endémicas, sin presencia de herbáceas. En el nivel intermedio se genera una combinación de especies de los tres tipos de hábitos de crecimiento y de los tres tipos de origen. Se puede señalar además que en este piso vegetacional no se registró la presencia de especies alóctonas, es decir, que no sean propias del lugar.

Cuadro 3. Flora vascular presente en las parcelas de los distintos niveles de degradación en el piso bosque esclerófilo, valle del Río Mapocho.

Nombre científico	Familia	Nivel de degradación			Hábito	Origen geográfico
		Bajo	Medio	Alto		
<i>Acacia caven</i>	<i>Fabaceae</i>		x	x	arbórea perenne	nativa
<i>Azara dentata</i>	<i>Flacourtiaceae</i>	x		x	arbórea perenne	endémica
<i>Kageneckia oblonga</i>	<i>Rosaceae</i>	x	x		arbórea perenne	endémica
<i>Lithraea caustica</i>	<i>Anacardiaceae</i>	x	x		arbórea perenne	endémica
<i>Quillaja saponaria</i>	<i>Quillajaceae</i>	x			arbórea perenne	endémica
<i>Colliguaja odorifera</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	x	x	x	arbustiva perenne	endémica
<i>Echinopsis chiloensis</i>	<i>Cactaceae</i>		x		arbustiva perenne	endémica
<i>Gochnatia foliolosa</i>	<i>Asteraceae</i>	x		x	arbustiva perenne	endémico
<i>Porlieria chilensis</i>	<i>Zygophyllaceae</i>			x	arbustiva perenne	endémica
<i>Proustia cuneifolia</i>	<i>Asteraceae</i>	x	x		arbustiva perenne	nativa
<i>Aira sp.</i>	<i>Poaceae</i>		x	x	herbácea anual	nativa
<i>Helenium aromaticum</i>	<i>Asteraceae</i>		x	x	herbácea anual	nativa

Con respecto a los valores de riqueza, se encontraron diferencias significativas para aquellas especies de hábito de crecimiento arbóreo y herbáceo. Las primeras manifiestan una disminución en cuanto a la riqueza, siendo más marcada la diferencia al alcanzar el nivel de mayor degradación, mientras que las segundas aumentan su riqueza al llegar a este mismo estado. Por otro lado, el índice de Shannon – Wiener manifestó un comportamiento similar para estos dos grupos de especies, es decir, disminuye para las primeras al llegar al nivel alto y aumenta para las segundas al llegar al mismo estado. La estrata arbustiva no mostró diferencias significativas para estas variables (Cuadro 2).

El contenido de arcilla en el suelo posee diferencias significativas entre niveles, y además los valores aumentan a medida que se llega al estado de mayor degradación. Este aumento se da principalmente cuando se alcanza el nivel más degradado y se produce debido al aporte realizado por los horizontes inferiores, que poseen una mayor proporción de estas partículas. Los contenidos de limo y arena no manifestaron alguna tendencia relevante.

Por otra parte, el contenido de carbono total resultó tener diferencias significativas, al encontrarse en mayores niveles de degradación el contenido de carbono disponible para las especies disminuye considerablemente. Lo mismo ocurre cuando se analiza esta variable tomando en cuenta si el suelo presenta o no cubierta vegetal (Cuadro 2).

En cuanto a la densidad aparente, se encontraron diferencias significativas tanto para los niveles como para las coberturas, y además aumentó a medida que los sitios se encontraron más degradados. El cambio cuantitativo más importante se da cuando se pasa del nivel bajo al medio, manteniendo valores similares en el nivel alto.

En cuanto a la respiración de suelo, se puede observar que ésta tiende a disminuir a medida que la degradación aumenta, sin embargo esta disminución no es significativa cuando se analiza según el estado en el que se encuentra ni cuando se considera el tipo de cobertura.

### **Piso bosque esclerófilo andino**

En la Figura 5 se observan las parcelas en donde se realizaron las mediciones. De forma complementaria, en el Cuadro 4 se exponen las coordenadas geográficas, exposición, altitud y pendiente.



Figura 5. Sitios de muestreo seleccionados para los tres niveles de degradación (Bajo, Medio, Alto) en el piso bosque esclerófilo andino.

Cuadro 4. Ubicación parcelas en cada nivel de degradación del piso bosque esclerófilo andino y sus características topográficas.

Nivel de degradación	Parcela	Exposición	Norte	Oeste	Altitud (msnm)	Pendiente (%)
Bajo	1	Noroeste	6311202	376581	1852	45
Bajo	2	Noroeste	6311183	376670	1903	52
Bajo	3	Noroeste	6311161	376674	1916	51
Medio	1	Noroeste	6310590	376458	1825	37
Medio	2	Noroeste	6310533	376478	1837	52
Medio	3	Noroeste	6310523	376456	1842	51
Alto	1	Noroeste	6310554	376235	1810	46
Alto	2	Noroeste	6310549	376260	1813	57
Alto	3	Noroeste	6310578	376301	1812	53

El nivel de baja degradación se presentaba de forma discontinua en el lugar, generándose fragmentos o manchones en donde se hicieron los muestreos. La estrata arbórea – arbustiva estaba dominada por la asociación *K. angustifolia* – *G. trinervis* en las tres parcelas, acompañadas de algunas herbáceas. Por otro lado, en el nivel medio siguió dominando la misma asociación, disminuyendo la cobertura del frangel con respecto a la guindilla y acompañados de otras especies herbáceas, observándose también la presencia de caminos generados por el tránsito ocasional de personas y animales, esto se puede concluir debido a la presencia de pequeños sitios quemados, osamentas animales y restos fecales. En el nivel de mayor degradación se encontraron algunos individuos de guindilla y otras especies arbustivas de menor tamaño, acompañados de distintas herbáceas, con mayor presencia de rocas y presencia de cárcavas.

### Caracterización de niveles de degradación

En el Cuadro 5 podemos observar que las variables vegetacionales en su mayoría disminuyen al aproximarse al nivel más degradado, es decir, que a medida que nos acercamos al estado más bajo disminuyen la cobertura, altura y fitovolumen. Por otro lado, aquellas variables de suelo que poseen mayores diferencias entre niveles son el contenido de carbono total y de nitrógeno. En cuanto a procesos, la respiración posee diferencias significativas por nivel y por cobertura.

Cuadro 5. Variables de vegetación, suelo y proceso ecosistémico a lo largo de tres niveles de degradación en el piso bosque esclerófilo andino, valle del Río Mapocho\*.

Variable	Unidad	Nivel de degradación			ANOVA (P)		Sentido degradación
		Bajo	Medio	Alto	N	C	
<i>Suelo</i>							
Arcilla	%	20.8 ± 18.89	32.10 ± 24.23	20.79 ± 16.88	0.0508	0.5958	↔
Limo	%	23.83 ± 20.84	19.17 ± 15.50	21.19 ± 18.48	0.107	0.21	↔
Arena	%	59.41 ± 56.25	57.90 ± 51.10	64.16 ± 58.51	0.26	0.84	↔
Pedregosidad	%	0.35 ± 0.33	0.38 ± 0.31	0.32 ± 0.27	0.362	0.344	↔
Densidad aparente	g*cm <sup>-3</sup>	1.12 ± 0.97	1.23 ± 1.11	1.19 ± 1.10	0.2823	0.0517	↔
DA fracción fina	g*cm <sup>-3</sup>	0.87 ± 0.73	0.96 ± 0.84	0.95 ± 0.88	0.28	0.112	↔
Porosidad	%	63.46 ± 57.55	58.06 ± 53.56	58.38 ± 55.04	0.2823	0.0517	↔
C total	%	6.76 ± 4.63a	2.72 ± 1.88b	1.83 ± 1.24b	0.0012	0.3104	↓
N total	%	0.52 ± 0.35a	0.18 ± 0.13b	0.15 ± 0.10b	0.0012	0.4342	↓
<i>Vegetación</i>							
Cobertura total	%	66.05 ± 53.28a	37.89 ± 32.11b	23.74 ± 18.93b	0.0021	-	↓
Altura promedio	m	2.84 ± 1.44	1.78 ± 0.64	0.34 ± 0.33	0.126	-	↓
Fitovolumen total	m <sup>3</sup> *m <sup>-2</sup>	0.98 ± 0.47	0.35 ± 0.16	0.04 ± 0.04	0.0523	-	↓
Cobertura arbórea	%	51.51 ± 19.15	15.23 ± 3.44	0.67 ± 0.00	0.106	-	↓
Altura arbórea	m	3.72 ± 2.56a	3.35 ± 1.94a	0.16 ± 0.00b	0.0133	-	↓
Fitovolumen arbóreo	m <sup>3</sup> *m <sup>-2</sup>	0.87 ± 0.33	0.25 ± 0.05	0.0017 ± 0.00	0.0957	-	↓
Cobertura arbustiva	%	32.56 ± 20.11	25.30 ± 19.37	17.51 ± 11.15	0.224	-	↓
Altura arbustiva	m	0.90 ± 0.61	0.63 ± 0.49	0.42 ± 0.37	0.0868	-	↓
Fitovolumen arbustivo	m <sup>3</sup> *m <sup>-2</sup>	0.16 ± 0.08	0.09 ± 0.08	0.04 ± 0.03	0.107	-	↓

(Continúa)

Cuadro 5 (continuación)

Variable	Unidad	Nivel de degradación			ANOVA (P)		Sentido degradación
		Bajo	Medio	Alto	N	C	
<i>Vegetación</i>							
Cobertura herbáceas	%	8.33 ± 5.00	7.54 ± 5.13	6.94 ± 1.73	0.667	-	↑
Altura herbáceas	m	0.25 ± 0.15	0.39 ± 0.19	0.31 ± 0.08	0.699	-	↔
Fitovolumen herbáceas	m <sup>3</sup> *m <sup>-2</sup>	0.01 ± 0.00	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.283	-	↔
Riqueza total	n° especies	10	16	14	-	-	-
Riqueza	n° especies	9.08 ± 4.92	8.67 ± 6.00	7.58 ± 6.42	0.983	-	↔
Riqueza arbórea	n° especies	1.00 ± 1.00	1.00 ± 1.00	0.67 ± 0.00	0.0787	-	↔
Riqueza arbustiva	n° especies	3.33 ± 2.00	2.00 ± 1.33	4.00 ± 3.33	0.064	-	↔
Riqueza herbácea	n° especies	4.53 ± 1.47	5.87 ± 3.46	3.58 ± 2.42	0.544	-	↔
Índice de Shannon	-	1.97 ± 1.08	1.35 ± 1.22	1.32 ± 1.13	0.704	-	↓
Shannon arbóreas	-	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0	-	↔
Shannon arbustivas	-	1.27 ± 0.20	0.18 ± 0.00	1.72 ± 1.34	0.0591	-	↔
Shannon herbáceas	-	1.47 ± 0.49	1.20 ± 0.94	0.95 ± 0.32	0.657	-	↔
<i>Proceso</i>							
Respiración de suelo	g CO <sub>2</sub> *m <sup>-2</sup> *h <sup>-1</sup>	0.059 ± 0.032a	0.016 ± 0.007b	0.025 ± 0.008b	0.01	0.0034	↓

\* Los valores se presentan como promedios ± error estándar por estado. Se muestra además el efecto del Nivel de Degradación (N) y la condición de Cobertura (C).

El fitovolumen total no presentó diferencias significativas entre los niveles estudiados. Sin embargo, se puede apreciar que esta variable tiende a disminuir al aumentar la degradación.

Analizando esta variable según hábito de crecimiento, el fitovolumen arbóreo tampoco posee diferencias significativas, pero se puede notar que posee un patrón similar. El fitovolumen arbustivo manifiesta el mismo comportamiento, es decir que disminuye al aumentar la degradación. En tanto, el fitovolumen de herbáceas tampoco presentó diferencias significativas, pero se observa que el valor más alto se dio en el nivel medio, sin manifestar una tendencia clara con respecto al sentido de la degradación.

Esta información es respaldada por la Figura 6, en donde se observa que la especie *K. angustifolia* casi desaparece al llegar al nivel alto. En tanto, en el nivel intermedio la especie dominante es *G. trinervis* (que también disminuye su cobertura al pasar al siguiente estado), que se encuentra acompañada de herbáceas como *Alstroemeria angustifolia* y *Hirschfeldia incana*. Finalmente, a medida que nos encontramos en sitios más degradados aparecen especies herbáceas que no se encontraban en el nivel anterior, tal es el caso de *Echium vulgare*.

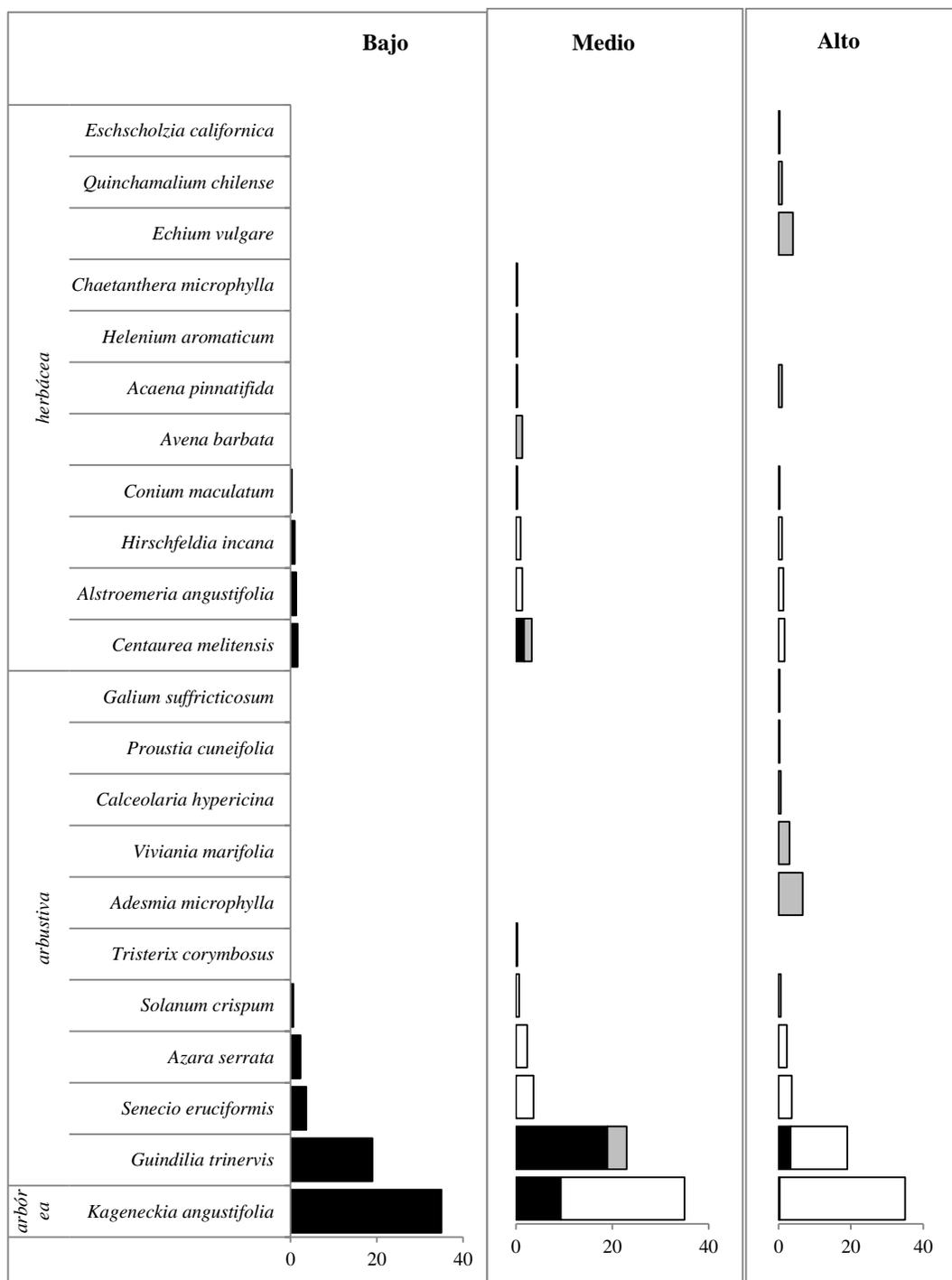


Figura 6. Cobertura por especie en cada nivel de degradación en el piso bosque esclerófilo andino (%), en el valle del Río Mapocho. El color negro representa la cobertura de la especie, el color blanco indica la cobertura que desaparece al pasar de un nivel a otro y el color gris muestra la cobertura de aquellas especies que aparecen al pasar al siguiente nivel o sobrepasan la cobertura del nivel anterior.

En el Cuadro 6 se muestra el listado florístico con las especies encontradas en cada nivel de degradación del bosque esclerófilo andino. En ella se puede observar que las especies *G. trinervis* y *K. angustifolia* son las únicas presentes a lo largo del gradiente de perturbación. En el nivel medio es donde se encuentra una mayor cantidad de especies alóctonas. Las especies endémicas y nativas se distribuyen en las parcelas en proporciones similares. Por otro lado, las especies herbáceas y arbustivas predominan en todos los niveles, de los tres tipos de origen geográfico.

Cuadro 6. Flora vascular presente en las parcelas de los distintos niveles de degradación en el piso bosque esclerófilo andino, valle del Río Mapocho.

Nombre científico	Familia	Nivel de degradación			Hábito	Origen geográfico
		Bajo	Medio	Alto		
<i>Kageneckia angustifolia</i>	<i>Rosaceae</i>	x	x	x	arbórea perenne	endémica
<i>Adesmia microphylla</i>	<i>Fabaceae</i>		x	x	arbustiva perenne	endémica
<i>Calceolaria hypericina</i>	<i>Scrophulariaceae</i>			x	arbustiva perenne	endémica
<i>Galium suffricticosum</i>	<i>Rubiaceae</i>		x	x	arbustiva perenne	endémica
<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Sapindaceae</i>	x	x	x	arbustiva perenne	nativa
<i>Proustia cuneifolia</i>	<i>Asteraceae</i>			x	arbustiva perenne	nativa
<i>Senecio eruciformis</i>	<i>Asteraceae</i>	x			arbustiva perenne	endémica
<i>Solanum crispum</i>	<i>Solanaceae</i>	x	x		arbustiva perenne	nativa
<i>Viviania marifolia</i>	<i>Vivianiaceae</i>			x	arbustiva perenne	endémica
<i>Azara serrata</i>	<i>Salicaceae</i>	x			arbustivo perenne	endémico
<i>Avena barbata</i>	<i>Poaceae</i>		x	x	herbácea anual	alóctona
<i>Centaurea melitensis</i>	<i>Asteraceae</i>	x	x		herbácea anual	alóctona
<i>Chaetanthera microphylla</i>	<i>Asteraceae</i>		x		herbácea anual	endémica
<i>Conium maculatum</i>	<i>Apiaceae</i>	x			herbácea anual	alóctona
<i>Echium vulgare</i>	<i>Boraginaceae</i>		x	x	herbácea anual	alóctona
<i>Helenium aromaticum</i>	<i>Asteraceae</i>				herbácea anual	nativa
<i>Hirschfeldia incana</i>	<i>Brassicaceae</i>	x			herbácea anual	alóctona
<i>Acaena pinnatifida</i>	<i>Rosaceae</i>		x	x	herbácea perenne	endémica
<i>Alstroemeria angustifolia</i>	<i>Alstroemeriaceae</i>				herbácea perenne	endémica
<i>Eschscholzia californica</i>	<i>Papaveraceae</i>		x	x	herbácea perenne	alóctona
<i>Quinchamalium chilense</i>	<i>Santalaceae</i>		x	x	herbácea perenne	nativa
<i>Tristerix corymbosus</i>	<i>Loranthaceae</i>	x	x		trepadora epífita	endémica

Con respecto a la diversidad, los valores de riqueza indican diferencias significativas para aquellas especies cuyo hábito de crecimiento es arbóreo y herbáceo. Las primeras manifiestan una disminución en cuanto a la riqueza, siendo más marcada la diferencia al alcanzar el estado de mayor perturbación, mientras que las segundas aumentan su índice de

riqueza al llegar a este mismo estado. El índice de Shannon – Wiener tiene un comportamiento similar para estos dos grupos de especies, es decir, disminuye para las primeras al llegar al tercer nivel y aumenta para las segundas al llegar al mismo. La estrata arbustiva no manifestó diferencias significativas para estas variables.

No existen diferencias significativas entre niveles ni entre coberturas para el contenido de arcilla, además tampoco se observa un patrón de tendencia claro (Cuadro 5).

Por otro lado, el contenido de carbono mostró diferencias significativas para niveles pero no para coberturas, es decir, al encontrarse en estados más degradados el contenido de carbono disponible disminuye considerablemente. El cambio más drástico ocurre al pasar del nivel bajo al medio. No ocurre lo mismo cuando el suelo está desnudo (o sin cobertura vegetal), ya que los resultados obtenidos no muestran diferencias significativas.

En cuanto a la densidad aparente el valor obtenido indica que no existen diferencias significativas para ningún caso, y su comportamiento fue variable, por lo que difícil establecer algún tipo de patrón.

En cuanto a la respiración de suelo, se obtuvo diferencias significativas en ambos casos (Cuadro 5). Se puede observar además que a medida que se aumenta el nivel de degradación la respiración disminuye, siendo el cambio más evidente cuando se pasa del nivel bajo al intermedio.

## DISCUSIÓN

En el Cuadro 7 se comparan los resultados en el piso de bosque esclerófilo, obtenidos por el presente estudio realizado en el valle del Río Mapocho y aquél realizado por Reyes en el valle del Río Maipo (2015). Como se puede apreciar, el fitovolumen y el contenido de carbono total son aquellas variables que presentan concordancia en cuanto a su patrón de disminución significativa a medida que el nivel de degradación aumenta.

Cuadro 7. Tabla comparativa de ambos estudios realizados en el piso de bosque esclerófilo.

Variable	Significancia estadística		Sentido degradación	
	Mapocho	Maipo	Mapocho	Maipo
Fitovolumen	si	si	disminuye	disminuye
Porcentaje arcilla	si	no	aumenta	indefinido
Carbono total	si	si	disminuye	disminuye
Densidad aparente	si	si	aumenta	indefinido
Respiración de suelo	no	si	disminuye	aumenta

Sin embargo, cuando se analiza el fitovolumen por estrata, las especies herbáceas presentan diferencias, ya que en el valle del Maipo alcanzó su máximo valor en el nivel intermedio de degradación, presentando además valores superiores (Anexo 1). A pesar de la disparidad, esta variable aparece como un buen indicador ambiental ya que da cuenta tanto de la cobertura vegetal como de la biomasa generada, siendo ésta proporcional al volumen ocupado por el follaje. Además, su medición en terreno no presenta grandes complicaciones y se realiza mediante la aplicación de métodos no destructivos (Morales *et al.*, 2006).

Por otro lado, la composición de las comunidades vegetales también presentó singularidades. En el valle del Mapocho, la estrata arbórea estuvo dominada por la asociación litre – bollén y la estrata arbustiva por el colliguay, mientras que en el valle del Maipo dominó en la primera estrata la asociación litre– quillay, acompañadas por una estrata arbustiva más heterogénea, conformada por especies como *Escallonia illinata* y *Cestrum parqui*. Con respecto a la estrata herbácea se observó el mismo comportamiento para la especie *H. aromaticum*, acompañada por *Nassella chilensis* y *Vulpia myuros* (Anexo 2). Además se encontraron especies alóctonas pero sólo en forma herbácea (Anexo 3). En cuanto a los valores de riqueza y diversidad, estos fueron superiores con respecto a los obtenidos en el presente trabajo.

A pesar que en el estudio realizado en el Maipo no se obtuvieron diferencias significativas y no se observó una tendencia clara con respecto a la degradación (Anexo 1), McDaniel y Hajek (1985) comprobaron que el contenido de arcilla en la superficie aumenta de un 8 a un 16% cuando éste se erosiona de forma moderada. Este aumento genera un cambio en la distribución del tamaño de las partículas, afectándose la relación agua-aire en el suelo. Asimismo, cuando el horizonte superficial se pierde debido a la erosión, se provoca una

pérdida en la estabilidad estructural del suelo, afectando la retención de agua disponible y la porosidad (se reduce la cantidad de macroporos debido a su taponamiento, transformándolos a diámetros más pequeños) e induciendo a un incremento de la densidad aparente (Brunel y Seguel, 2011), variable que mostró diferencias significativas en ambos sitios, pero con un patrón variable.

La disminución del contenido de carbono del suelo está relacionada con la disminución del contenido de nitrógeno. Los microorganismos presentes en el suelo utilizan una fracción del carbono como fuente de energía para realizar su actividad metabólica, determinando la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo. En suelos erosionados ocurre que se reduce el potencial de mineralización del nitrógeno de estos microorganismos producto de la pérdida de carbono (Rhoton y Lindbo, 1997). La importancia de esta variable radica en la influencia que tiene sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, especialmente la parte orgánica, determinando su productividad. A medida que el sistema pierde carbono los microorganismos pierden la fuente de energía que necesitan para mineralizar el nitrógeno y dejarlo disponible para otros organismos pertenecientes a la cadena trófica (Martínez *et al.*, 2008).

Los resultados en el presente trabajo, en cuanto a la respiración de suelo, se condicen con aquellos conseguidos en un estudio realizado en la Reserva Nacional “Roblería del Cobre de Loncha” (Bown *et al.*, 2014), el cual mostró diferencias significativas y un comportamiento similar de esta variable en un gradiente de perturbación, atribuyéndole tres causas a esta conducta: disminución de los sustratos orgánicos en la capa de hojarasca debido a la baja actividad micro biótica y de la mesofauna (respiración realizada por organismos heterótrofos), reducción del aporte de biomasa realizado por las raíces y los exudados de carbono debajo del suelo (respiración realizada por organismos autótrofos) y debido también al bajo contenido de agua en el suelo, sobre todo durante el verano. En este estudio también se obtuvo el mismo comportamiento de otras variables analizadas, como es el caso del contenido de carbono total, contenido de nitrógeno y porcentaje de arcilla.

En el Cuadro 8 se comparan los resultados del presente estudio realizado en el valle del Río Mapocho y aquél realizado por Lambertini en el valle del Río Maipo (2013), ambos realizados en el piso de bosque esclerófilo andino. Como se puede apreciar, el porcentaje de arcilla, la densidad aparente y la respiración de suelo son aquellas variables que presentan concordancia en cuanto a su patrón de disminución a medida que el nivel de degradación aumenta.

Cuadro 8. Tabla comparativa de ambos estudios realizados en el piso de bosque esclerófilo andino.

Variable	Significancia estadística		Sentido degradación	
	Mapocho	Maipo	Mapocho	Maipo
Fitovolumen	no	si	indefinido	aumenta
Porcentaje arcilla	si	si	disminuye	disminuye
Carbono total	no	si	indefinido	aumenta
Densidad aparente	si	si	indefinido	disminuye
Respiración de suelo	si	si	disminuye	disminuye

El fitovolumen no manifestó patrones de comportamiento similares en ambas cuencas. En cuanto a los valores absolutos, se dan diferencias en los estados de menor nivel de perturbación, duplicándose con respecto a los obtenidos en el presente estudio, sobre todo en la estrata arbórea (Anexo 4).

Con respecto a las asociaciones vegetales presentes, éstas no difieren en gran medida a las encontradas en el Maipo, sin embargo en la estrata herbácea aparecen otras especies como *Torilis nodosa*, *Lactuca virosa* y *Scyphanthus elegans*. *Centaurea melitensis* aparece como especie en común para ambos sitios, presentando además los valores más altos de cobertura en los estados de menor nivel de perturbación (Anexo 5). Con respecto al origen y hábitos de crecimiento de las especies, en este estudio no se encontraron especies arbóreas ni arbustivas en el estado de mayor degradación, y en cuanto al origen de éstas (Anexo 6).

En terreno se observó una singularidad en cuanto a la distribución de la vegetación ya que ésta se presentaba de forma discontinua en el lugar, generándose fragmentos o manchones en donde se hicieron los muestreos, especialmente en el estado de menor degradación. Esto es explicado en el estudio realizado por Arroyo *et al.* (2001), quienes concluyen que el dosel superior formado por la especie *K. angustifolia* funciona como contenedor de la nieve, acumulándose de forma preferente en los espacios generados entre los árboles y limitando la sobrevivencia de semillas y plántulas en estas zonas, por lo que el mayor reclutamiento de éstas ocurre bajo el dosel (generando un efecto nodriza). Además, el intenso uso que se le dio a estos terrenos durante años anteriores, por parte de productores de subsistencia que llevan a su ganado hasta estos lugares para alimentarlos, han disminuido la posibilidad de recuperación y crecimiento, sobre todo durante períodos de propagación y semillación (Universidad de Chile, 2011).

A diferencia del comportamiento observado en el presente estudio, el contenido de carbono total en el valle del Maipo sí mostró una disminución significativa a mayor degradación (Anexo 4). Un estudio de campo realizado por Izaurralde *et al.* (2006) comprobó que con la pérdida de suelo de 20 cm, la concentración de carbono total descendió de 40,2 g a 25 g (un 37,8 %), misma tendencia si se analiza el contenido de nitrógeno. El mismo estudio de Izaurralde tampoco mostró una variación considerable en los valores de densidad aparente (aumento de un 10,7%), con la misma cantidad de suelo extraído, al igual que en el valle

del Mapocho. Sin embargo, Lambertini (2013) sí obtuvo diferencias significativas entre estados, además observó que a medida que aumenta el estado de degradación aumenta también la densidad aparente, pero no así al comparar con y sin cobertura (Anexo 4).

En 2010, diversas instituciones elaboraron un modelo para poder determinar la erosión actual y potencial de los suelos de Chile (Flores *et al.*, 2010), en donde la textura, en conjunto con el contenido de materia orgánica, se consideraron como factores relevantes para establecer la estabilidad estructural del suelo. A estos se les agregó un factor de resistencia al arrastre de partículas, en donde la permeabilidad (dependiente a su vez de la densidad aparente) y profundidad del suelo afectan entre otros procesos a la velocidad de infiltración y a la capacidad de almacenamiento de agua (escorrentía superficial), y al combinarse se habla de erodabilidad, lo que constituye un riesgo físico. Cuando este suelo además se encuentra desprovisto de vegetación se establece un riesgo de erosión potencial (vinculado también a variables topográficas como la pendiente). Es decir, suelos sin cubierta vegetal, poco permeables y con pendiente son más propensos a ser erosionados con respecto a otros que presenten condiciones menos adversas.

Es por esto que futuras medidas de rehabilitación en lugares degradados, deben apuntar a mejorar las condiciones del ambiente físico en un primer lugar sobrepasar el primer umbral de limitaciones abióticas, favoreciendo la cobertura vegetal (al proteger el suelo de la erosión causada por el impacto de la lluvia), mejorar la infiltración del agua (mediante prácticas que enriquezcan el suelo con materia orgánica por ejemplo) y reducir el escurrimiento superficial (estableciendo barreras para reducir la velocidad de escurrimiento del agua). Posteriormente, se requiere manipular variables relacionadas a la vegetación para sobrepasar el segundo umbral controlado por las interacciones bióticas. De esta forma es posible restaurar la tasa de captura de energía, se minimiza la exportación de nutrientes y se reestablece el control de la eficiencia en el uso del agua (Breedlow, 1988).

## CONCLUSIONES

Con respecto a las variables vegetacionales, el fitovolumen mostró efectivamente un patrón similar al obtenido en el estudio realizado en el Cajón del Río Maipo, validándose el comportamiento para los pisos vegetacionales del bosque esclerófilo y esclerófilo andino. Entre las variables de suelo, la que manifestó un comportamiento similar fue el contenido de carbono, el cual disminuyó considerablemente al llegar al nivel de mayor degradación en ambas zonas. Con las otras variables de suelo no fue posible validar el modelo debido a que hay irregularidad en los resultados, situación que ocurre en ambos pisos vegetacionales. Como la respiración no mostró diferencias significativas para el bosque esclerófilo pero sí para el bosque esclerófilo andino, el modelo se validó para el segundo caso.

Otra diferencia con respecto a los resultados de la primera etapa del proyecto, es la singularidad de las asociaciones vegetacionales que se forman en las distintas cuencas, en especial para el piso de bosque esclerófilo, que es el que se encuentra más vulnerable debido a la mayor cercanía con lugares poblados. Esto resulta relevante a la hora de tomar decisiones con respecto a la recuperación de áreas degradadas.

Cuando se quiera emprender algún proyecto que busque rehabilitar y/o recuperar algún sitio que se encuentre con altos niveles de erosión, los elementos que mejor permiten caracterizarlo, de forma previa a la intervención, son aquellos relacionados con la vegetación, como especies presentes, cobertura y riqueza, además de saber si existe o no renovación de las especies claves que determinan de cierta forma el funcionamiento del ecosistema del cual forman parte. Estas variables resultaron ser mejores indicadoras del estado de degradación, en comparación con las variables de suelo que mostraron no ser tan significativas y tener un comportamiento más heterogéneo, permitiendo identificar el estado en el cual se encuentra algún sitio específico, usando métodos no destructivos y que no presentan grandes complicaciones al aplicarlos.

A pesar que los sitios de estudio se encuentran protegidos, aún es posible encontrar sectores con altos niveles de erosión, debido al uso intenso que se les dio antes de haber sido declarados como Santuarios de la Naturaleza, hace ya más de cuatro décadas. Esto demuestra que la recuperación de ecosistemas perturbados es un proceso lento. Sin embargo, conservar estos lugares e informar a aquellas personas que generan acciones en estos terrenos aparecen como medidas que permiten que el ecosistema pueda recobrar su funcionalidad.

Es sugerible realizar mediciones durante distintas épocas del año para así poder analizar el comportamiento de variables que puedan manifestar diferencias según la estación, además de incluir variables de tipo social y económica, lo que ayudaría a realizar acciones de restauración que puedan ser más completas, efectivas, oportunas y perdurables en el tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

Ahumada, M y Faúndez, L. 2001. Guía descriptiva de las praderas naturales de Chile. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago, Chile. 98p.

Álvarez, S. 2008. Caracterización florística y proposición de una tipología de la vegetación para la pre-cordillera andina de Santiago. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 96p.

Arroyo, M.; Cavieres, L.; Peñaloza, A. y Torres, C. 2001. Efecto nodriza intra-específico de *Kageneckia angustifolia* D. Don (Rosaceae) sobre la germinación de semillas y sobrevivencia de plántulas en el bosque esclerófilo montano de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*. 74:539-548.

Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54(5), 464-465.

Bown H.; Fuentes, J.; Pérez, J. and Frank, N. 2014. Soil respiration across a disturbance gradient in sclerophyllous ecosystems in Central Chile. *Ciencia e investigación agraria*. 41(1):89-106.

Bown, H. y Pérez, J. 2013. Informe preliminar. Proyecto Guía para la regeneración y recuperación de bosque y matorral de ecosistemas de montaña en la Región Metropolitana. Fondo de Investigación para el Bosque Nativo 022/2012, CONAF. Universidad de Chile. 15p.

Breedlow, P.; Voris, P. and Royers, L. 1988. Theoretical perspective on ecosystem disturbance and recovery. In: Rickard, W.H., Rogers, L.E., Shrub-Steppe, B.E (Eds.), 1988. *Balance and Change in a Semi-Arid Terrestrial Ecosystem*. Vaughan y Libetrau S. F. New York, Elsevier. p. 257-269.

Brunel, N. y Seguel, O. 2011. Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur* Vol. 39 (1) 1-12. 12p.

Carmona, M.; Aguilera, M.; Pérez, C. y Serey, I. 2006. Actividad respiratoria en el horizonte orgánico de suelos de ecosistemas forestales del centro y sur de Chile. *Gayana Bot.* 63(1). 12p.

CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales), Chile. 2011. Sistematización de información para el diagnóstico del estado actual del bosque esclerófilo en Chile – Biblioteca Digital. 84p.

CMN (Consejo de Monumentos Nacionales), Chile. 2010. Santuarios de la Naturaleza de Chile. 144p.

CONAF (Corporación Nacional Forestal), Chile. 2001. Guía de Parques Nacionales y Áreas Silvestres Protegidas de Chile. 2da Edición. 287p.

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente), Chile. 2008. Biodiversidad de Chile, Patrimonios y Desafíos. Capítulo IV : El Hombre y la Biodiversidad. Ocho Libros Editores. 640p.

Echeverría, C.; I. Schiappacasse, R.; Urrutia, M.; Cárcamo, P.;Bercerra, C. y Smith, 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. 24p.

Egan, P. y Price, M. 2014. Las montañas como torres de agua del mundo: Protegiendo el agua y los servicios ecosistémicos de montaña ante el cambio climático. UNESCO. Programa hidrológico internacional. Programa sobre el Hombre y la Biosfera. 8p.

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. ISBN 978-956-14-1112-8. 162p.

Flores, J.; Martínez, E.; Espinoza, M.; Henríquez, G.; Avendaño, P.; Torres, P. y Ahumada, I. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Síntesis de Resultados. CIREN, SAG, INDAP, ODEPA, CONAF. Santiago, Chile. 50p.

Fredericksen, N., Astorga, B. y Morales, F. 2010. In: Rodrigo, P., Pérez, J., Contreras, X., de la Fuente, A., Villarroel, C. (Eds.). Santiago Andino. La mayor reserva natural de agua de la Región Metropolitana. Sistemas de Producción Sustentable para Ecosistemas de Montaña. Ministerio del Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero, Chilesustentable, Universidad de Chile. 67p.

Izaurrealde, R.;Malhi, S.; Nyborg, M.; Solberg, E. y Quiorga, M. 2006. Crop performance and soil properties in two artificially eroded soil in North-Central Alberta. Agron. J. 98(5): 1298-1311.

Jaunatre, R.; Buisson, E.; Muller, I.; Morlon, H.;Mesleard, F. y Dutoit, T. 2013.New synthetic indicators to assess community resilience and restoration success.Ecological Indicators 29.468-477.

Lambe, T. and Whitman, R. 2008.Soil mechanics SI version.John Wiley & Sons.

- Lambertini, P. 2013. Caracterización del bosque esclerófilo andino en distintos estados de degradación en la Región Metropolitana con fines de restauración ecológica. Seminario de Título. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. 61p.
- Lloyd, J. and Taylor, J. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional ecology*, 315-323.
- Luebert, F. y Pliscoff, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. 316p.
- Martínez, E.; Fuentes, J. y Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 8(1) (68-96).
- 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. Monografía; nro. 22. Washington DC.
- McDaniel, T and Hajek, B. 1985. Soil erosion effects on crop productivity and soil properties. In: *Erosion and soil productivity*. Publ. 8-85. ASAE, St. Joseph, MI, 45-58 p.
- Morales, L.; Sobrino, J.; Castellaro, G.; El-Kharraz, J. y Parra, J. 2006. Método de estimación del fitovolumen leñoso en la zona semiárida de Chile mediante una imagen SPOT y mediciones de campo. *Revista de teledetección* 26: 31-39.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO. Sociedad Entomológica Aragonesa. Manuales y Tesis SEA, vol. 1. 83p.
- Ovalles, F. 2006. Manejo Sustentable de los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe: Oportunidades y Desafíos de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cooperación, PROCANDINO, FORAGRO, IICA. Maracaibo, Venezuela. 30p.
- Prado, C. 1997. Mapa de Usos Potenciales de Suelos. Proyecto Protege. Corporación Nacional Forestal, Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo e Intendencia, Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 106p.
- R Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. [En línea]. Vienna, Austria. Recuperado en: <<http://www.R-project.org>>. Consultado el: 05-04-2014.
- Reyes, I. 2015. Caracterización de un gradiente de perturbaciones en bosque esclerófilo en la comuna de San José de Maipo, Región Metropolitana. Memoria de Título. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. 56p.

Rhoton, F. and Lindbo, D. 1997. A soil depth approach to soil quality assessment. *J. Soil and Water Cons* 52(1): 66–72.

Santibañez, F. y Uribe, J. 1990. Atlas agroclimático de Chile, Regiones V y Metropolitana. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Depto de Ingeniería y suelos. Santiago, Chile. 65p.

Sepúlveda, A. 2012. Análisis de normativa ambiental e identificación de territorios afectos a restricciones de uso con fines de protección ambiental en la cuenca alta del Río Mapocho, comuna de Lo Barnechea. Memoria para optar al título profesional de Geógrafo. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y urbanismo. Santiago, Chile. 155p.

SER (Society for Ecological Restoration International), Estados Unidos de América. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 15p.

Shapiro, S. and Wilk, M. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. Vol. 52, No. 3 and 4. 21p.

Spehn, E.; E. Berge, H.; Bugmann, B.; Groombridge, L.; Hamilton, T. and Hofer, J. et al. 2005. Chapter 24: Mountain Systems. p. 681-716. In: Hassan, R., R. Scholes and N. Ash (Eds.). *Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the condition and trends working group, Volume 1. The millennium ecosystem assessment series*. Island Press, Washington DC.

Universidad de Chile. 2011. Manual de buenas prácticas para uso sustentable de ecosistemas de montaña, Plan de Acción Santiago Andino, Sistemas de Producción sustentable para Ecosistemas de Montaña. INNOVA CHILE-CORFO Proyecto 07CN13IYM-16. 216p.

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

Zuloaga, F. O; Morrone O. and Belgrano, M. (eds). 2008. Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Pteridophyta, Gymnospermae, Monocotyledoneae. Monograph in Systematic Botany from Missouri Botanical Garden 107(1); i-xcvi, 1-983.

## ANEXOS

Anexo 1. Resultados estudio realizado en cajón del Río Maipo, piso bosque esclerófilo (Reyes, 2015).

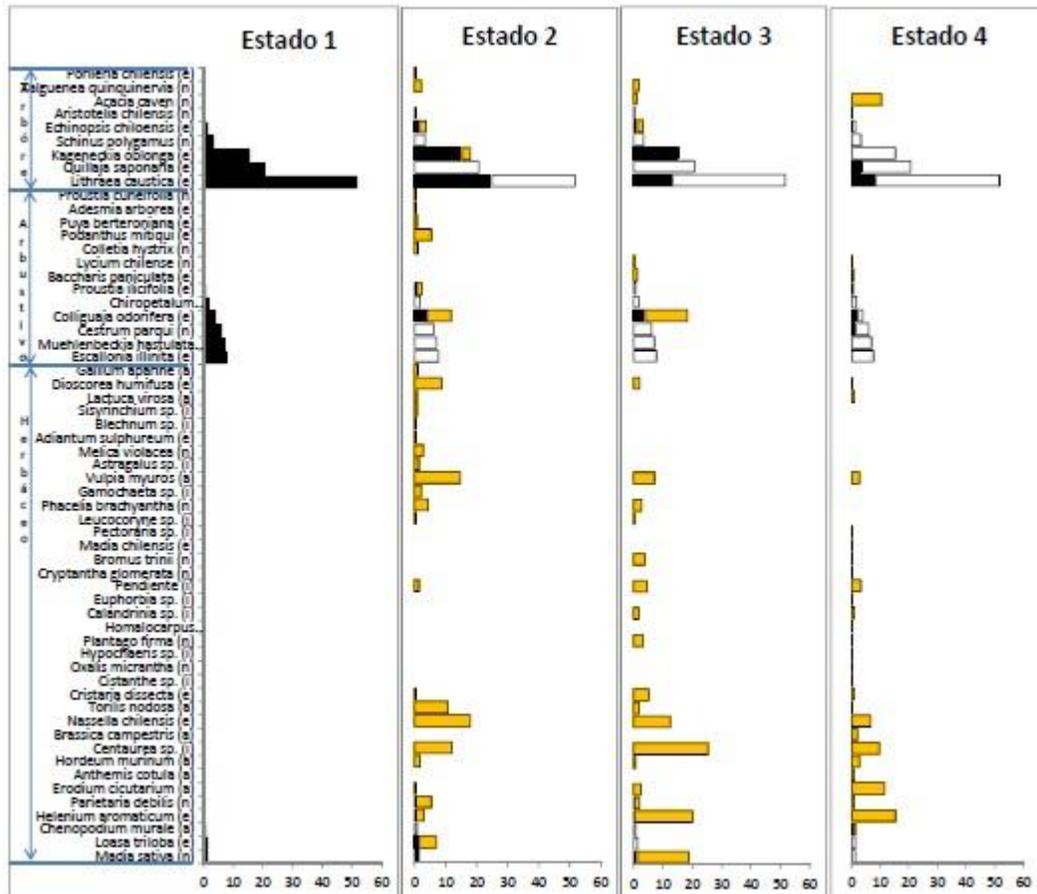
Variable	Unidades	Estado de degradación				ANOVA		
		E1	E2	E3	E4	E	C	ExC
<i>Vegetación</i>								
Cobertura Hojarasca	(%)	90 ± 5a	62 ± 11a	18 ± 7b	19 ± 9b	***	**	
Profundidad Hojarasca	(cm)	5.0 ± 0.9a	3.3 ± 0.7a	0.8 ± 0.1b	0.5 ± 0.2b	***		
Biomasa Hojarasca	(g m <sup>-2</sup> )	873 ± 132a	365.2 ± 101b	140.2 ± 39b	143.1 ± 75b	***		
Cobertura Total	(%)	89 ± 3.2a	88 ± 3.8a	86 ± 4a	59 ± 7.2b	**	-	-
Cobertura Arbórea	(%)	75 ± 14.6a	55 ± 5.8ab	32 ± 6.7b	23 ± 2.5b	*	-	-
Altura Arbórea	(m)	5.9 ± 1.2	3.3 ± 0.4	3.3 ± 0.3	5 ± 2.7		-	-
Fitovolumen Arbóreo	(m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	1.71 ± 0.19a	0.71 ± 0.08ab	0.59 ± 0.2b	0.67 ± 0.38ab	*	-	-
Cobertura Arbustiva	(%)	22.7 ± 13.1	20.3 ± 8.4	20 ± 6.1	5 ± 3.2		-	-
Altura Arbustiva	(m)	2.8 ± 1.93	1.1 ± 0.2	0.7 ± 0.04	0.4 ± 0.2		-	-
Fitovolumen Arbustiva	(m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	0.14 ± 0.077	0.1 ± 0.058	0.12 ± 0.057	0.02 ± 0.011		-	-
Cobertura Herbáceas	(%)	4 ± 2b	67 ± 10a	70 ± 4a	45 ± 7a	***	-	-
Altura Herbáceas	(cm)	0.2267 ± 0.1	0.2283 ± 0.04	0.23 ± 0.01	0.1781 ± 0.03		-	-
Fitovolumen Herbáceas	(m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	0.013 ± 0.01b	0.156 ± 0.044a	0.162 ± 0.016a	0.078 ± 0.012ab	**	-	-
Riqueza Total	(n° especies)	10 ± 2b	23 ± 2a	22 ± 1a	18 ± 3ab	**	-	-
Endémicas	(n° especies)	6 ± 0.7b	11 ± 0.3a	9 ± 0.3ab	6 ± 1.3b	*	-	-

(Continúa)

## Anexo 1 (continuación)

Variables	Unidades	Estado de degradación				ANOVA		
		E1	E2	E3	E4	E	C	ExC
Nativas	(n° especies)	4 ± 1.2	5 ± 0.3	6 ± 0.6	4 ± 1.2		-	-
Adventicias	(n° especies)	0 ± 0.3b	4 ± 1.2ab	4 ± 0.3ab	4 ± 1.2a	*	-	-
Indeterminada	(n° especies)	0 ± 0.0b	4 ± 1.2a	3 ± 0.3a	4 ± 0.3a	**	-	-
Diversidad (H')		1.62 ± 0.24b	2.66 ± 0.16a	2.59 ± 0.03a	2.42 ± 0.1b	**	-	-
<i>Suelo</i>								
Clase textural		francoarenoso	francoarenoso	francoarenoso	francoarenoso			
Arena	(%)	63.5 ± 5.0	55.5 ± 2.6	60.8 ± 2.3	58.8 ± 1.3			
Limo	(%)	23 ± 2.1	29 ± 2.2	24 ± 1.6	23 ± 2.0			
Arcilla	(%)	13.9 ± 3.3	15.5 ± 2.0	15.2 ± 1.7	18.2 ± 1.5			
Densidad aparente	(g m-3)	0.94 ± 0.08b	1.18 ± 0.06a	1.03 ± 0.05ab	1.12 ± 0.04ab	*		
Densidad fracción fina	(g m-3)	0.67 ± 0.07a	0.84 ± 0.06ab	0.73 ± 0.03ab	0.87 ± 0.04b	*	*	
Porosidad	(%)	64.5 ± 2.89a	55.6 ± 2.20b	61.2 ± 1.84ab	57.6 ± 1.53ab	*		
Pedregosidad	(%)	13.6 ± 2.0	18.3 ± 1.7	15.7 ± 1.9	14.3 ± 1.1			
Contenido C	(%)	10.5 ± 3.1a	5.7 ± 1.7ab	3.7 ± 0.9ab	1.9 ± 0.3b			
Contenido N	(%)	0.9 ± 0.38	0.4 ± 0.11	0.3 ± 0.06	0.2 ± 0.03			
Relación C/N	-	13.8 ± 1.04	14.9 ± 0.48	13.6 ± 0.50	12.5 ± 0.66			
HA	(mm)							
CC	(%)							
PMP	(%)							
<i>Procesos</i>								
Respiración de suelo		1.82 ± 0.27a	0.63 ± 0.10b	0.62 ± 0.11b	0.91 ± 0.29ab	***		
Velocidad de infiltración	(cm s-1)	0.00028 ± 0.00012	0.00075 ± 0.00018	0.00066 ± 0.00015	0.00047 ± 0.0001			
Productividad Arsbutivas	(g m-2 año-1)	7.4 ± 4.9	39.8 ± 19.1	52.0 ± 22.1	14.8 ± 10.3		-	-
Productividad Herbáceas	(g m-2 año-1)	1.67 ± 1.67a	61.84 ± 8.98a	82.11 ± 9.34b	70.58 ± 15.43b	***	**	

Anexo 2. Abundancia de especies por cada estado de degradación, piso bosque esclerófilo (Reyes, 2015).



Anexo 3. Flora vascular presente en el cajón del Río Maipo por cada estado de degradación, piso bosque esclerófilo (Reyes, 2015).

Nombre científico	Familia	Forma de crecimiento	Origen geográfico
<i>Acacia caven</i>	<i>Fabaceae</i>	arboreo	Nativa
<i>Lithraea caustica</i>	<i>Anacardaceae</i>	arboreo	Endémica
<i>Echinopsischiloensis</i>	<i>Cactaceae</i>	arboreo	Endémica
<i>Quillaja saponaria</i>	<i>Quillajaceae</i>	arboreo	Endémica
<i>Kageneckia oblonga</i>	<i>Rosaceae</i>	arboreo	Endémica
<i>Talgueneaquinquineria</i>	<i>Rhamnaceae</i>	arboreo	Nativa
<i>Porlieriachilensis</i>	<i>Zygophyllaceae</i>	arboreo	Endémica
<i>Aristoteliachilensis</i>	<i>Elaeocarpaceae</i>	arboreo	Nativa
<i>Schinuspolygamus</i>	<i>Anacardaceae</i>	arboreo	Nativa
<i>Cestrumparqui</i>	<i>Solanaceae</i>	arboreo	Nativa
<i>Baccharispaniculata</i>	<i>Asteraceae</i>	arbustivo	Endémica
<i>Colliguajaodorifera</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	arbustivo	Endémica
<i>Lyciumchilense</i>	<i>Solanaceae</i>	arbustivo	Nativa
<i>Colletiahystrix</i>	<i>Rhamnaceae</i>	arbustivo	Nativa
<i>Podanthusmitiqui</i>	<i>Asteraceae</i>	arbustivo	Endémica
<i>Proustiailicifolia</i>	<i>Asteraceae</i>	arbustivo	Endémica
<i>Puya berteroniana</i>	<i>Bromeliaceae</i>	arbustivo	Endémica
<i>Adesmiaarborea</i>	<i>Fabaceae</i>	arbustivo	Endémica
<i>Proustiacuneifolia</i>	<i>Asteraceae</i>	arbustivo	Nativa
<i>Muehlenbeckiahastulata</i>	<i>Polygonaceae</i>	arbustivo	Nativa
<i>Escalloniaillinita</i>	<i>Escalloniaceae</i>	arbustivo	Endémica
<i>Chiropetalumberterianum</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	arbustivo	Endémica
<i>Erodiumcicutarium</i>	<i>Geraniaceae</i>	herbáceo	Adventicia
<i>Anthemiscotula</i>	<i>Asteraceae</i>	herbáceo	Adventicia
<i>Hordeummurinum</i>	<i>Poaceae</i>	herbáceo	Adventicia
<i>Centaurea sp.</i>	<i>Asteraceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Heleniumaromaticum</i>	<i>Asteraceae</i>	herbáceo	Endémica
<i>Brassicacampestris</i>	<i>Brassicaceae</i>	herbáceo	Adventicia
<i>Nassellachilensis</i>	<i>Poaceae</i>	herbáceo	Endémica

(Continúa)

## Anexo 3 (continuación)

Nombre científico	Familia	Forma de crecimiento	Origen geográfico
<i>Torilisnodosa</i>	<i>Apiaceae</i>	herbáceo	Adventicia
<i>Cristariadissecta</i>	<i>Malvaceae</i>	herbáceo	Endémica
<i>Cistanthesp.</i>	<i>Portulacaceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Oxalismicrantha</i>	<i>Oxalidaceae</i>	herbáceo	Nativa
<i>Hypochaerissp.</i>	<i>Asteraceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Plantago firma</i>	<i>Plantaginaceae</i>	herbáceo	Nativa
<i>Homalocarpusdichotomus</i>	<i>Apiaceae</i>	herbáceo	Endémica
<i>Calandriniasp.</i>	<i>Portulacaceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Euphorbiasp.</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Melesherbiasp.</i>	<i>Malesherbaceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Chenopodiummurale</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	herbáceo	Endémica
<i>Cryptanthaglomerata</i>	<i>Boraginaceae</i>	herbáceo	Nativa
<i>Bromustrinii</i>	<i>Poaceae</i>	herbáceo	Nativa
<i>Madia chilensis</i>	<i>Asteraceae</i>	herbáceo	Endémica
<i>Pectorariasp.</i>	Indeterminado	herbáceo	Indeterminado
<i>Parietaria debilis</i>	<i>Urticaceae</i>	herbáceo	Nativa
<i>Madia sativa</i>	<i>Asteraceae</i>	herbáceo	Nativa
<i>Leucocorynesp.</i>	<i>Alliaceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Phaceliabrachyantha</i>	<i>Boraginaceae</i>	herbáceo	Nativa
<i>Gamochaetasp</i>	<i>Asteraceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Vulpiamyuros</i>	<i>Poaceae</i>	herbáceo	Adventicia
<i>Astragalussp.</i>	<i>Fabaceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Loasatriloba</i>	<i>Loasaceae</i>	herbáceo	Endémica
<i>Melicaviolacea</i>	<i>Poaceae</i>	herbáceo	Nativa
<i>Adiantumsulphureum</i>	<i>Polypodiaceae</i>	herbáceo	Endémica
<i>Blechnumsp.</i>	<i>Blechnaceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Sisyrinchiumsp.</i>	<i>Iridaceae</i>	herbáceo	Indeterminado
<i>Lactucavirosa</i>	<i>Asteraceae</i>	herbáceo	Adventicia
<i>Dioscoreahumifusa</i>	<i>Dioscoreaceae</i>	herbáceo	Endémica
<i>Galliumparine</i>	<i>Rubiaceae</i>	herbáceo	Adventicia

## Anexo 4. Resultados estudio realizado en cajón del Río Maipo, piso bosque esclerófilo andino (Lambertini, 2013).

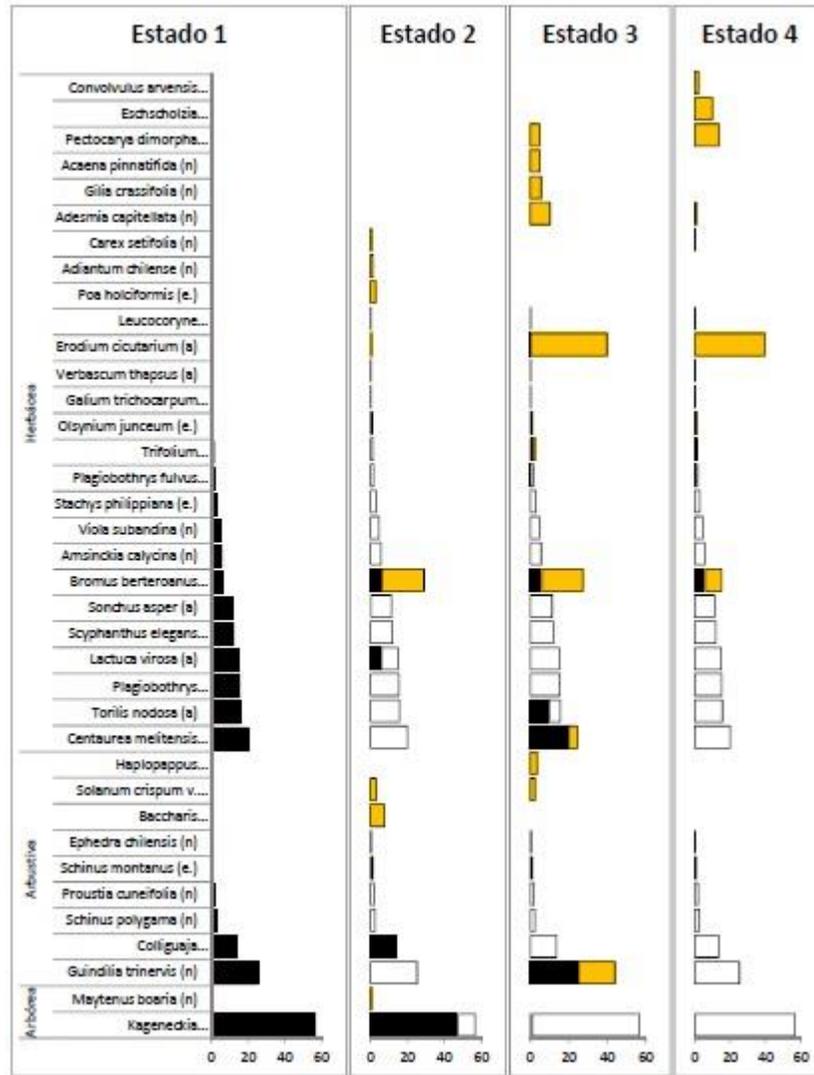
Variables	Unidades	Estado de degradación				ANOVA		
		E1	E2	E3	E4	E	C	ExC
<i>Vegetación</i>								
Cobertura Hojarasca	(%)	84.2 ± 7.2a	83.7 ± 7.5a	35.8 ± 7.1b	44.2 ± 6.6b	***	ns	ns
Profundidad Hojarasca	(cm)	2.29 ± 0.44a	2.75 ± 0.21a	1.04 ± 0.12b	1.08 ± 0.08b	***	ns	ns
Biomasa Hojarasca	(g m <sup>-2</sup> )	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	(%)	42.4 ± 5.5	47.5 ± 13.8	0	0	ns	-	-
Altura Arbórea	(m)	9.02 ± 0.11a	5.13 ± 0.11b	0	0	***	-	-
Fitovolumen Arbóreo	(m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	3.34 ± 0.55	1.89 ± 0.55	0	0	ns	-	-
Diversidad Arbórea	(H')	0.48 ± 0.04	0.52 ± 0.09	0	0	ns	-	-
Riqueza Arbórea	(n° especies)	1	1.3 ± 0.3	0.3 ± 0.3	0	ns	-	-
Cobertura Arbustivas	(%)	55.5 ± 6.3	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 <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	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)	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 <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	0.061 ± 0.016a	0.0044 ± 0.0042b	0.055 ± 0.011a	0.064 ± 0.015a	**	-	-
Diversidad Herbáceas	(H')	2.52 ± 0.07a	0.81 ± 0.36b	2.57 ± 0.08a	2.04 ± 0.25a	**	-	-
Riqueza Herbácea	(n° especies)	9 ± 3	2.7 ± 0.3	8 ± 1	7.3 ± 1.2	ns	-	-
Riqueza (Estado)	(n° especies)	24	13	14	11			
-Endémicas		6	3	3	1			

(Continúa)

## Anexo 4 (continuación)

Variables	Unidades	Estado de degradación				ANOVA		
		E1	E2	E3	E4	E	C	ExC
-Nativas		11	7	7	6			
-Adventicias		7	3	4	4			
Riqueza (Parcelas)	(n° especies)	14 ± 3.1	8 ± 0.6	10 ± 1	7.3 ± 1.2	ns	-	-
Diversidad Total	(H')	2.63 ± 0.1a	1.19 ± 0.21b	2.1 ± 0.07a	1.21 ± 0.08b	***	-	-
Fitovolumen Total	(m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> )	3.71 ± 0.487a	2.23 ± 0.466a	0.28 ± 0.042b	0.06 ± 0.001b	***	-	-
<i>Suelo (0-10 cm)</i>								
Clase textural		<i>Franco arenosa</i>	<i>Franco 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 <sup>-3</sup> )	1.53 ± 0.07a	1.08 ± 0.12b	1.27 ± 0.04ab	1.45 ± 0.05a	**	ns	ns
Densidad Fracción Fina	(g cm <sup>-3</sup> )	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
PMP	(%)	26.2 ± 5.5a	17.2 ± 0.9ab	20.7 ± 1.9ab	14.5 ± 1.1b	*	*	ns
<i>Procesos</i>								
Respiración de suelo		0.78 ± 0.14a	0.74 ± 0.19a	0.51 ± 0.12ab	0.21 ± 0.04b	*	*	ns
Productividad arbustivas	(g m <sup>-2</sup> año <sup>-1</sup> )	30.6 ± 7.7	35.7 ± 18.2	39.53 ± 1.2	0	ns	-	-
Productividad herbáceas	(g m <sup>-2</sup> año <sup>-1</sup> )	49.7 ± 6.9a	3.80 ± 3.4b	51.6 ± 4.9a	62.8 ± 6.8a	***	ns	ns

Anexo 5. Abundancia de especies por cada estado de degradación, piso bosque esclerófilo andino (Lambertini, 2013).



Anexo 6. Flora vascular presente en el cajón del Río Maipo por cada estado de degradación, piso boque esclerófilo andino (Lambertini, 2013).

Estado 1				
Nombre científico	Familia	Forma de crecimiento	Origen geográfico	Endemismo
<i>Stachysphilippiana</i> Vatke	Lamiaceae Martinov	hierba perenne	Endémica	Chile
<i>Centaurea melitensis</i> L.	Asteraceae Bercht. & J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Torilisnodosa</i> (L.) Gaertn.	Apiaceae Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Plagiobothrysfulvus</i> (Hook. & Arn.) I.M. Johnst.	Boraginaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile
<i>Amsinckiacalycina</i> (Moris) Chater	Boraginaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Trifoliumglomeratum</i> L.	Fabaceae Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Lactucavirosa</i> L.	Asteraceae Bercht. & J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Sonchusasper</i> (L.) Hill	Asteraceae Bercht. & J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Bromusberteroanus</i> Colla	Poaceae Barnhart	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Scyphanthuselegans</i> Sweet	Loasaceae Juss.	hierba perenne, trepadora	Endémica	Chile
<i>Galiumtrichocarpum</i> DC.	Rubiaceae Juss.	hierba perenne	Endémica	Chile
<i>Verbascumthapsus</i> L.	Scrophulariaceae Juss.	hierba bianual	Adventicia	
<i>Plagiobothrysmysotoides</i> (Lehm.) Brand	Boraginaceae Juss.	hierba anual	Nativa	Chile
<i>Erodiumcicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	Geraniaceae Juss.	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Leucocoryneviolacescens</i> Phil.	Amaryllidaceae J. St.-Hil./Alliaceae	hierba perenne	Endémica	Chile
<i>Olsyniumjunceum</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>Schinusmontanus</i> (Phil.) Engl.	Anacardiaceae R. Br.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile
<i>Schinuspolygama</i> (Cav.)	Anacardiaceae R. Br.	arbusto (perenne)	Nativa	Chile, Argentina
<i>Guindiliatrinervis</i> Gill. ex H. & A.	Sapindaceae Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Colliguajaintegerrima</i> Gillies & Hook.	Euphorbiaceae Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Proustiacuneifolia</i> D. Don	Asteraceae Bercht. & J. Presl	arbusto (perenne)	Nativa	Chile, Argentina
<i>Ephedrachilensis</i> C. Presl	Ephedraceae Dumort.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Kageneckia angustifolia</i> D. Don	Rosaceae Juss.	árbol	Endémica	Chile

(Continúa)

## Anexo 6 (continuación)

Estado 2				
Nombre científico	Familia	Forma de crecimiento	Origen geográfico	Endemismo
<i>Adiantum chilense</i> Kaulf.	<i>Pteridaceae</i> E. D. M. Kirchn.	hierba perenne	Endémica	Chile, Argentina
<i>Bromus berteroi</i> Colla	<i>Poaceae</i> Barnhart	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Lactucavivosa</i> L.	<i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	<i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	<i>Geraniaceae</i> Juss.	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Carex setifolia</i> Kunze ex Kunth	<i>Cyperaceae</i> Juss.	hierba perenne	Nativa	Chile
<i>Poa holciformis</i> J. Presl	<i>Poaceae</i> Barnhart	hierba perenne	Endémica	Chile
<i>Schinus molle</i> (Phil.) Engl.	<i>Anacardiaceae</i> R. Br.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile
<i>Colliguaja integrifolia</i> Gillies & Hook.	<i>Euphorbiaceae</i> Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Baccharis rhomboidalis</i> J. Rémy	<i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Solanum crispum</i> var. <i>Liguistrinum</i> (Loddiges) Dunal	<i>Solanaceae</i> Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Kageneckia angustifolia</i> D. Don	<i>Rosaceae</i> Juss.	árbol	Endémica	Chile
<i>Maytenus boaria</i> Molina	<i>Celastraceae</i> R. Br.	árbol	Endémica	Chile, Arg., Brasil
Estado 3				
Nombre científico	Familia	Forma de crecimiento	Origen geográfico	Endemismo
<i>Bromus berteroi</i> Colla	<i>Poaceae</i> Barnhart	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Centaurea melitensis</i> L.	<i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	<i>Geraniaceae</i> Juss.	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Gilia crassifolia</i> Benth.	<i>Polemoniaceae</i> Juss.	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertn.	<i>Apiaceae</i> Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Adesmia capitellata</i> Burkart	<i>Fabaceae</i> Lindl.	hierba anual	Endémica	Chile, Argentina
<i>Acaenapinnatifida</i> Ruiz & Pav.	<i>Rosaceae</i> Juss.	hierba perenne	Endémica	Chile, Argentina
<i>Trifolium glomeratum</i> L.	<i>Fabaceae</i> Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Pectocarya dimorpha</i> I.M. Johnst.	<i>Boraginaceae</i> Juss.	hierba	Endémica	Chile
<i>Plagiobothrys fulvus</i> (Hook. & Arn.) I.M. Johnst.	<i>Boraginaceae</i> Juss.	hierba anual	Nativa	Chile
<i>Guindilia trinervis</i> Gill. ex H. & A.	<i>Sapindaceae</i> Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Haplopappus chrysanthemifolius</i> DC.	<i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl	arbusto (perenne)	Endémica	Chile
<i>Solanum crispum</i> var. <i>Liguistrinum</i> (Loddiges) Dunal	<i>Solanaceae</i> Juss.	arbusto (perenne)	Endémica	Chile, Argentina
<i>Kageneckia angustifolia</i> D. Don	<i>Rosaceae</i> Juss.	árbol	Endémica	Chile

(Continúa)

## Anexo 6 (continuación)

Estado 4				
Nombre científico	Familia	Forma de crecimiento	Origen geográfico	Endemismo
<i>Erodiumcicutarium</i> (L.) L'Hér. ex Aiton	<i>Geraniaceae</i> Juss.	hierba anual o bianual	Adventicia	
<i>Bromusberteroanus</i> Colla	<i>Poaceae</i> Barnhart	hierba anual	Nativa	Chile, Argentina
<i>Convolvulusarvensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i> Juss.	enredadera perenne	Adventicia	
<i>Pectocaryadimorpha</i> I.M. Johnst.	<i>Boraginaceae</i> Juss.	hierba	Endémica	Chile
<i>Olsyniumjunceum</i> (E. Mey. ex C. Presl) Goldblatt	<i>Iridaceae</i> Juss.	hierba perenne	Nativa	Chile, Argentina
<i>Adesmiacapitellata</i> Burkart	<i>Fabaceae</i> Lindl.	hierba anual	Endémica	Chile, Argentina
<i>Plagiobothrysfulvus</i> (Hook. & Arn.) I.M. Johnst.	<i>Boraginaceae</i> Juss.	hierba anual	Nativa	Chile
<i>Eschscholziaacalifornica</i> Cham.	<i>Papaveraceae</i> Juss.	hierba perenne	Adventicia	
<i>Trifoliumglomeratum</i> L.	<i>Fabaceae</i> Lindl.	hierba anual	Adventicia	
<i>Carexsetifolia</i> Kunze ex Kunth	<i>Cyperaceae</i> Juss.	hierba perenne	Nativa	Chile
<i>Acacia caven</i> Molina	<i>Fabaceae</i> Lindl.	arbusto o arbolito	Nativo	Ch.,Arg.,Brasil, Bolivia