

GUÍA PARA LA RESTAURACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ANDINOS DE SANTIAGO

Jorge F. Pérez Quezada & Horacio E. Bown
Editores



GUÍA PARA LA RESTAURACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ANDINOS DE SANTIAGO

Jorge F. Pérez Quezada & Horacio E. Bown
Editores

Jorge F. Pérez Quezada,
Dr. en Ecología, Universidad de Chile, jorgepq@uchile.cl

Horacio E. Bown,
Dr. en Ciencias Forestales, Universidad de Chile, hborn@uchile.cl

ISBN

Registro de Propiedad Intelectual N°
Corporación Nacional Forestal
Universidad de Chile

I Edición. Distribución gratuita, sin valor comercial.

Diseñadora: América Davagnino B.

La información que entrega el presente documento es resultado del proyecto
CONAF 022/2012, financiado por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo.

Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida siempre y
cuando se cite la presente publicación como fuente. Citar de la siguiente manera:

Perez-Quezada JF & Bown, HE (Eds.). 2015. Guía para la restauración de los
ecosistemas andinos de Santiago. Santiago, Universidad de Chile-CONAF. XX p.

Santiago de Chile, 2015

El presente trabajo se desarrolló gracias al financiamiento del Fondo de Investigación del Bosque Nativo, de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), a través del proyecto 022/2012.

Agradecemos la disposición de los propietarios y administradores de los predios donde se realizaron los muestreos: Hacienda Río Colorado, Parque Valle del Yeso y Monumento Natural El Morado, en el Cajón del Maipo, y Santuario de la Naturaleza Yerba Loca y Santuario de la Naturaleza del Arrayán, en el Cajón del Mapocho.

Este trabajo no habría sido posible sin la participación de numerosos voluntarios, en su mayoría estudiantes de las carreras de Ingeniería en Recursos Naturales, Ingeniería Forestal y Biología Ambiental de la Universidad de Chile. Quisiéramos destacar la ayuda recibida de Ariane Claussen, Orlando Macari, Felipe Ávila, Aira Faúndez y Carlos Miranda, tanto en el trabajo de terreno como en el análisis de muestras y a Anne Reeves, Lohengrin Cavieres y Daniel Sziklai por el aporte fotográfico. Agradecemos además a los profesores Juan Pablo Fuentes y Oscar Seguel por facilitarnos algunos instrumentos de laboratorio y de terreno.

De la misma forma, agradecemos el aporte de los expertos que respondieron nuestra consulta sobre las variables que mejor representan los distintos niveles de degradación, específicamente a Antonio Lara de la Universidad Austral, Juan Pablo Fuentes, Gustavo Cruz, Luis Faúndez, Giorgio Castellaro, Álvaro Promis, Iván Grez y Soledad Muñoz de la Universidad de Chile, María Teresa Serra de Geobiota, Christian Little de INFOR, Lohengrin Cavieres de la Universidad de Concepción y Mauricio Lemus. Finalmente, agradecemos a Lohengrin Cavieres por sus comentarios a una versión preliminar de este documento.

La presente guía resume los resultados del proyecto “Guía para la Regeneración y Recuperación de Bosque y Matorral de Ecosistemas de Montaña en la Región Metropolitana”, financiado por el Fondo de Investigación en Bosque Nativo de CONAF (022/2012). Este estudio se realizó en los pisos vegetacionales de bosque esclerófilo, bosque esclerófilo andino y los pisos de matorral andino inferior y superior. En cada piso se realizó una caracterización de tres etapas de degradación, en base a los cambios que se producen en las variables de vegetación, suelo y procesos ecosistémicos, generados por la acción del ganado, la extracción de leña y el fuego. Junto con la caracterización se entregan recomendaciones de acciones para realizar la restauración de estos ecosistemas, así como también los costos asociados.

Los sitios de estudio se ubicaron en los cajones de los ríos Maipo y Mapocho, tanto en predios públicos como privados. Es importante considerar que los cambios absolutos y relativos de las variables estudiadas y reportadas en este documento son una guía y deben ser tomados como referenciales para quienes deseen evaluar el nivel de degradación en estos pisos vegetacionales. Del mismo modo, para aquellos propietarios o profesionales que desean realizar proyectos de regeneración y recuperación en ecosistemas de montaña, las recomendaciones y costos asociados deben ser considerados como una guía que oriente las acciones de dicho proyecto.

Si bien es cierto que este estudio se realizó en la Región Metropolitana, los resultados y recomendaciones podrían ser útiles para quienes trabajen en ecosistemas de montaña entre las Regiones de Coquimbo y del Maule.

Este documento tiene asociada una versión digital, la cual puede ser visitada en la página web del Laboratorio de Ecología de Ecosistemas de la Universidad de Chile (www.lecs.uchile.cl).

Esperamos que este documento genere la motivación para realizar proyectos de restauración en ecosistemas de montaña en Chile y que sea seguido por otros estudios que profundicen los conocimientos que pudimos generar en la presente investigación.

Jorge Pérez Quezada
Horacio Bown Intveen

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Los ecosistemas andinos de Santiago	9
1.2 Objetivos del estudio	13
1.3 Metodología	14
2. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BOSQUE ESCLERÓFILO	19
3. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BOSQUE ESCLERÓFILO ANDINO	29
4. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL MATORRAL ANDINO INFERIOR	37
5. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL MATORRAL ANDINO SUPERIOR	45
6. SÍNTESIS	53
7. RECOMENDACIONES	59
7.1 Lineamientos estratégicos	61
7.2 Modelo hipotético de degradación de Whisenant	65
7.3 Objetivos de la restauración	68
7.4 Sistema de Restauración	71
7.5 Plan de Restauración	77
7.6 Costos Potenciales	82
7.7 Memoria de Cálculo	90
Bibliografía	93
Anexo 1. Listado florístico de los sitios de estudio muestreados	98
Anexo 2. Caracterización del suelo encontrado en los sitios de muestreo del valle del Maipo	107

1. INTRODUCCIÓN





1.1 LOS ECOSISTEMAS ANDINOS DE SANTIAGO

Las montañas presentan una serie de características que las hacen relevantes para la sociedad y los ecosistemas, además de una serie de vulnerabilidades y amenazas que vale la pena mencionar. Spehn et al. (2005) destacan las siguientes:

- La mitad de la población humana depende, de una u otra manera, de los recursos de las montañas. Además de proveer agua a cerca de la mitad de la población humana, la agricultura de montaña brinda subsistencia a muchas personas. Otros servicios ecosistémicos claves son la hidroelectricidad, el control de inundaciones, los recursos minerales, la madera y combustibles y las plantas medicinales.
- Las montañas se caracterizan por su alta biodiversidad. Poseen aproximadamente un cuarto de la biodiversidad terrestre, y albergan una alta diversidad etnocultural, siendo relevantes en términos espirituales para muchas sociedades y también con objetivos de recreación y turismo.
- Las montañas son excepcionalmente frágiles. Estos ambientes están sujetos a cambios naturales y antropogénicos, los que van desde eventos volcánicos y sísmicos hasta el cambio climático y

deterioro de vegetación y suelo, debido a prácticas productivas inapropiadas. Debido a lo escarpado del terreno y lo delgado de los suelos, la recuperación de los ecosistemas de montaña es por lo general lenta o inexistente frente a disturbios.

- En general, la pobreza y la diversidad étnica son altas en regiones montañosas y la gente es a menudo más vulnerable que las personas de otros lugares.
- El fortalecimiento de los vínculos entre las tierras altas y las tierras bajas sustenta el desarrollo de poblaciones aguas arriba y aguas abajo. La conservación ambiental y el uso sustentable del territorio en las montañas del mundo no son solamente necesarios para las poblaciones locales, sino también para la gran población mundial que no vive en las montañas, pero que depende de los recursos de éstas.

Las regiones montañosas en Chile acogen una gran riqueza de culturas. Éstas se ven influenciadas por el entorno, tanto en sus tradiciones y costumbres, como en sus comportamientos y creencias. Su manera de adaptación al medio natural tiene implicancias directas sobre el territorio, por lo que el manejo de las

áreas en las que se desenvuelven juega un papel clave en la comprensión de la historia de estos lugares (Kottak, 2002). Desde el punto de vista ecológico e hidrológico, las montañas juegan un papel importante en la regeneración, nacimiento y protección de cuencas de ríos, disminuyendo las inundaciones y sedimentación en las zonas de altas pendientes (Hoffmann et al., 1998).

En la Región Metropolitana de Santiago un 65% del territorio corresponde a sistemas montañosos, cuyo accidentado relieve junto con sus diversos mecanismos de génesis han formado suelos tanto de origen volcánico, marino, coluvial como aluvial. Estos suelos, si bien presentan orígenes distintos, han evolucionado de acuerdo a las diferencias de los gradientes climáticos. La biodiversidad presente, al igual que para el resto del país, se estructura principalmente por su latitud y altitud, razón por la cual se identifican ambientes con condiciones muy contrastantes. Las formaciones vegetacionales siguen por lo tanto este patrón que deriva en diferencias de temperatura, sin embargo, la incidencia de la montaña no sólo crea variaciones de temperaturas, sino que influye también en los patrones de las precipitaciones (Universidad de Chile et al., 2005; CONAMA, 2008).

Según el estudio de Teillier et al. (2011), en la zona de montaña de la Región Metropolitana de Santiago se

encuentran cuatro pisos altitudinales con vegetación leñosa. Estos son el bosque esclerófilo, el bosque esclerófilo andino, el matorral andino inferior y el matorral andino superior (Figura 1).

El piso del bosque esclerófilo se ubica entre los 700 a los 1800 msnm. Las especies dominantes en este piso corresponden a *Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica*, *Kageneckia oblonga* y *Cryptocaria alba* en sectores más húmedos. En laderas de exposición norte se pueden encontrar *Trichocereus chilensis* y *Puya berteroniana*.

El piso del **bosque esclerófilo andino** se ubica entre los 1650 y los 2000 msnm. La comunidad de bosque subandino se encuentra en lugares de poca pendiente, y las especies dominantes corresponden a *Kageneckia angustifolia*, *Guindilia trinervis* y *Colliguaja integerrima*. Los bosques alcanzan hasta 5 m de altura, siendo abiertos y con un estrato arbustivo y herbáceo bien desarrollado. Además en este piso encontramos la comunidad de matorral subandino y matorral arborescente de quebradas.

El **matorral andino-inferior** se encuentra entre los 1950 a 2800 msnm, dependiendo de la cuenca y la exposición. La comunidad posee especies arbustivas entre 50 y 120 cm de altura, con coberturas entre el 30 al 50%. Dominan especies como *Chuquiraga oppositifolia* y *Mulinum spinosum*, mientras que en las herbáceas dominan

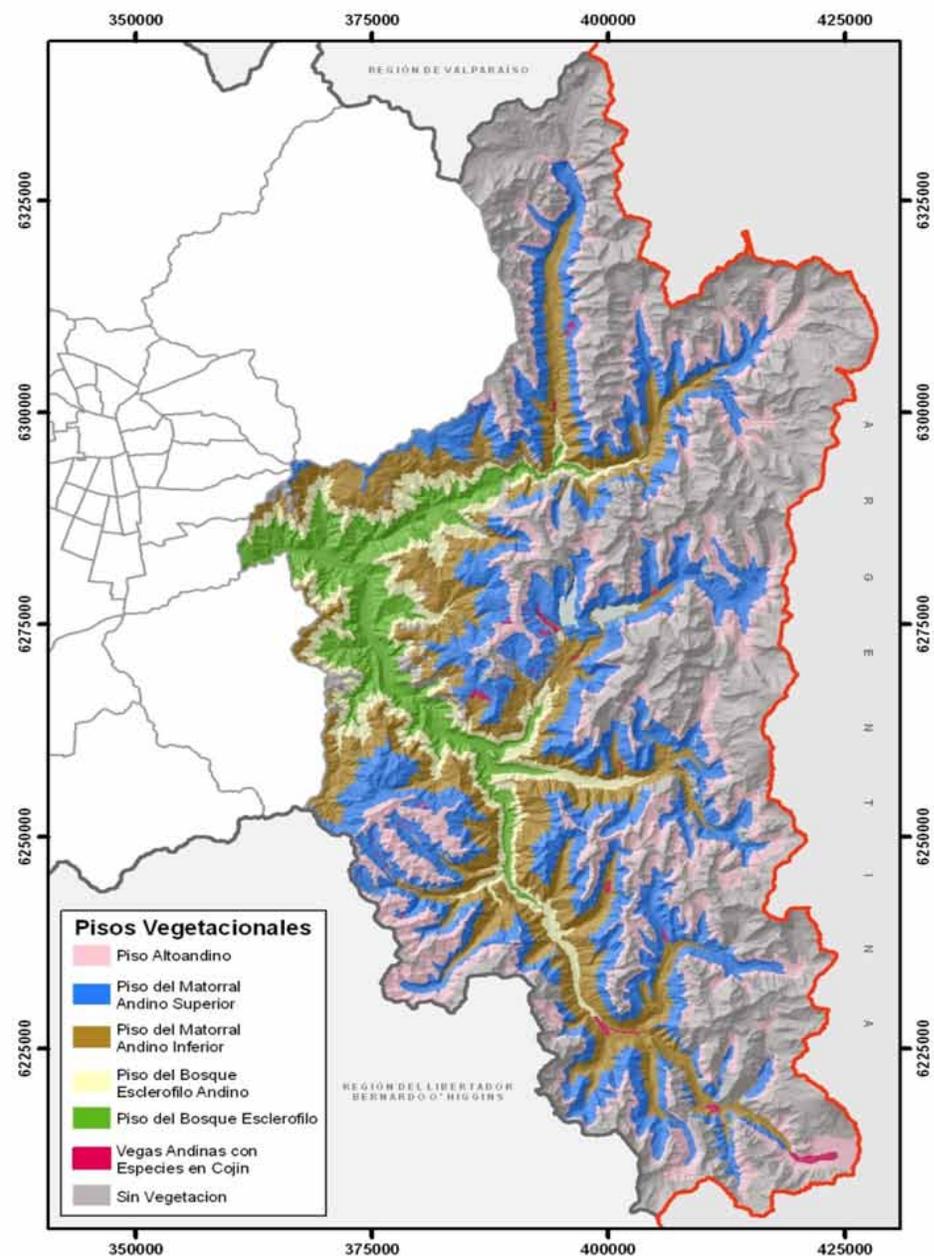


Figura 1. Ubicación de los cuatro pisos vegetacionales estudiados dentro de la comuna de San José de Maipo (Fredericksen et al. 2011).

Alstroemeria pallida y *Sisyrinchium arenarium*.

El **matorral andino-superior** se distribuye entre los 2500 m hasta los 3250 m, donde encontramos arbustos que no superan los 50 cm de altura, plantas en cojín, y un estrato de herbáceas perennes, donde la cobertura de la vegetación varía entre 10 y 30%. Las especies características de esta comunidad corresponden a *Berberis empetrifolia*, *Laretia acaulis* y *Adesmia schneideri*, mientras que en las herbáceas perennes dominan *Poa holciformis*, *Bromus setifolius* y *Hordeum comosum*. El estudio de Cavieres et al. (2000) sugiere dividir este piso en dos, ya que los arbustos solo están en la parte baja de este rango (2500-3000 m).

La intervención antrópica en estas zonas ha derivado en la pérdida de las características propias de los ecosistemas naturales, traduciéndose en altos niveles de alteración y degradación. La degradación de la zona andina central se debe en gran medida a la explotación minera sin resguardo, a la extracción de tierra de hojas, al sobrepastoreo, a la deforestación (tala rasa), incendios, vertederos ilegales y descarga de residuos al río, caza y extracción de especies nativas, expansión urbana (camino y carreteras) y turismo sin resguardo (Rodrigo et al., 2010). Este deterioro en las cuencas resulta alarmante, dada

la estrecha relación que existe entre bosque-agua en la zona central del país, y al considerar que la cuenca del Río Maipo aporta aproximadamente un 80% del agua potable de Santiago (Rodrigo et al. 2010).

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El proyecto que dio origen a esta publicación propuso desarrollar una guía para lograr la regeneración y rehabilitación en los ecosistemas andinos de la Región Metropolitana, representados por los cuatro pisos vegetacionales descritos en la sección anterior.

Para generar esta guía fue necesario cumplir con los siguientes objetivos:

- Realizar una descripción de los estados de referencia en cada piso vegetacional y la correspondiente descripción de los estados más degradados. Esta descripción se hizo a través de la evaluación de variables de vegetación, suelo y procesos ecosistémicos.

- Establecer cuáles son las variables que mejor describen la degradación. Esto se realizó con la finalidad de seleccionar los mejores indicadores para reconocer los distintos estados, pero que al mismo tiempo pueden servir para monitorear el avance de la restauración.

- Proponer medidas para lograr llevar los estados degradados a una mejor condición. Estas medidas contemplan las posibilidades de realizar procesos de restauración pasiva o activa.

- Proponer una estructura de costos de las medidas propuestas para evaluar las alternativas de manejo. Esta cuantificación económica permitirá una visión más realista por parte de los propietarios y los funcionarios públicos de los costos involucrados en este tipo de iniciativas.

1.3 METODOLOGÍA

Este trabajo se basó en el modelo hipotético de degradación propuesto por Whisenant (1999) (**Figura 2**). Este modelo considera cinco estados de degradación, siendo el 0 el estado en estado prístino (sin degradación) y el 4 el estado más degradado. En este estudio, para simplificar el trabajo de restauración, se consideraron tres estados: degradación baja, que es equivalente al estado 1; degradación media, que comprende el estado 2, y degradación alta, que comprende al estado 3 (**Figura 2**). El modelo

básicamente considera cómo un ecosistema pierde el control sobre sus recursos fundamentales como son el agua, los nutrientes y el carbono al aumentar su degradación, reduciéndose la eficiencia en la captura y uso de los mismos, como también la funcionalidad ecosistémica. En la **Figura 2** la eficiencia en el uso de recursos se representa en el eje de las abscisas y la funcionalidad en el eje de las ordenadas. Whisenant (1999) adiciona dos umbrales: uno controlado por factores bióticos y otro controlado por factores

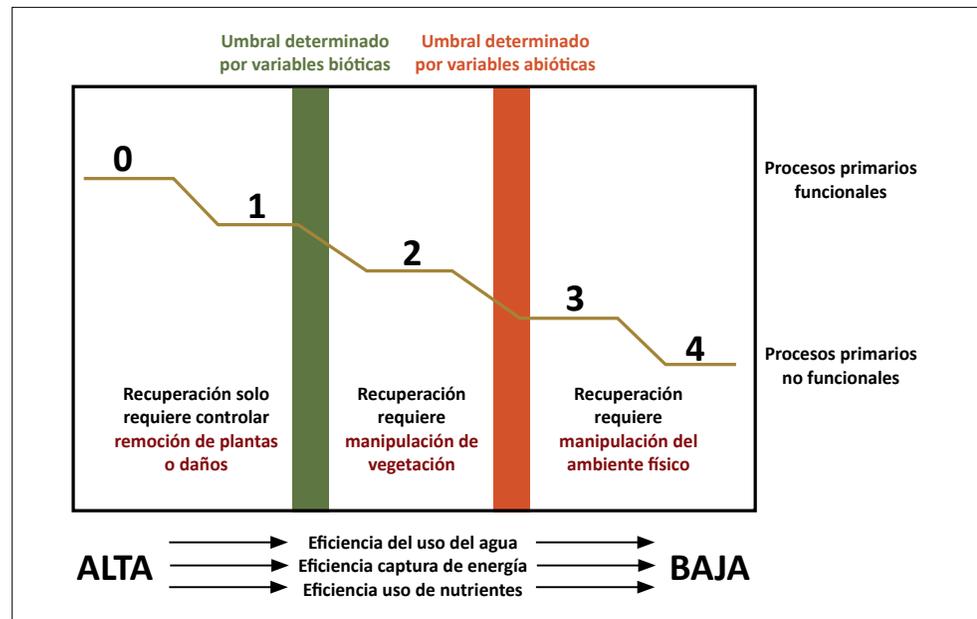


Figura 2. Modelo hipotético de degradación de ecosistemas. Modificado de Whisenant (1999).

abióticos. El autor enfatiza que una vez que un ecosistema ha sobrepasado el umbral controlado por los factores bióticos no será suficiente con una restauración pasiva requiriéndose la manipulación de la vegetación. La restauración pasiva se refiere a llevar a cabo medidas indirectas como la exclusión del ganado, lo que permitiría al ecosistema recuperarse a sí mismo sin otra intervención externa. Así, este ecosistema que ha sobrepasado el umbral biótico requerirá no sólo la exclusión de los factores causales, sino que adicionalmente el mejoramiento de la cobertura vegetal por ejemplo a través de la plantación, siembra o medidas que favorezcan la regeneración vegetativa. Whisenant (1999) también dice que una vez que se sobrepasa el umbral abiótico ya no será suficiente con la exclusión de los agentes de daño, ni con el mejoramiento de la cobertura vegetal, sino que se requerirá adicionalmente intervenir el ambiente físico con medidas que por ejemplo permitan estabilizar el medio físico. Estas medidas contemplan por ejemplo la construcción de obras físicas como diques de contención, empalizadas, zanjas de infiltración y re-perfilamiento del terreno, entre otras.

Para cada uno de los cuatro pisos de vegetación se seleccionaron tres condiciones de degradación (baja, media y alta), a partir del efecto producido por la perturbación

ganadera, extracción de leña y el fuego, corresponden a los impactos más relevantes en todos los sitios estudiados. Esto se realizó seleccionando sitios a distancias crecientes desde los corrales o asentamientos humanos. En otras palabras, a medida que la distancia a los asentamientos aumentó, se encontró menor degradación. Para la selección de los sitios representativos de cada nivel de degradación se verificó que todos ellos se encontraran en condiciones similares de pendiente, exposición y tipo de suelo.

Durante una temporada de crecimiento (Octubre 2012 – Abril 2013) se muestrearon tres parcelas para cada nivel de degradación, totalizando 9 parcelas en cada piso vegetacional en el Cajón del río Maipo. Dentro de cada parcela se hicieron 5 transectos equidistantes totalizando 100 puntos por parcela (**Figura 3**). En cada punto se determinó la especie de planta presente, su altura y espesor, con lo cual se determinaron variables de cobertura, altura y fitovolumen para cada estrato (arbóreo, arbustivo y herbáceo) y para el total de la vegetación. Con estos datos se pudo determinar además la riqueza de especies y los porcentajes de especies exóticas. Del mismo modo, dependiendo si la cobertura de las especies bajaba o disminuía con la degradación, se definieron especies objetivo e invasoras, respectivamente (Jaunatre et al. 2013). Si la especie que



Figura 3. Medición de variables de vegetación.

crecía con la degradación era nativa o endémica, en vez de invasora se llamó colonizadora (Blackburn et al. 2011). La clasificación de las especies en nativa, endémica (solo en Chile) o exótica, se hizo según la base de datos on-line del Instituto de Botánica Darwinion (www.darwin.edu.ar).

Dentro de las parcelas se muestrearon también variables de suelo, para lo cual se tomaron muestras de suelo para medir la textura y los contenidos de carbono (C) y nitrógeno (N) total. A partir de estas dos últimas cantidades

se determinó la relación C/N del suelo. Se utilizaron cuadrantes para medir la cobertura y biomasa de hojarasca; las muestras fueron secadas y pesadas en laboratorio.

En cuanto a las variables que describen procesos ecosistémicos, se utilizó un sistema analizador de gases para determinar la respiración de suelos, estandarizada a 10°C, como un indicador de actividad biológica. Para cada estrato de vegetación se tomaron muestras de su producción de biomasa anual, cosechando la biomasa nueva en

Cuadro 1. Ubicación y características de los sitios de muestreo en los cajones de los ríos Maipo y Mapocho.

Piso Cajón	Altitud (msnm)	Exposición	Pendiente (°)	Coordenadas (N/E)
MAIPO				
B. esclerófilo	1.000	Norte	31	-33.5671 / -70.3257
B. esclerófilo andino	1.650	Sureste	12	-33.5124 / -70.2406
M. andino inferior	2.200	Noroeste	15	-33.7028 / -70.1131
M. andino superior	2.850	Suroeste	26	-33.6282 / -69.9512
MAPOCHO				
B. esclerófilo	1.130	Noreste	21	-33.3198 / -70.4559
B. esclerófilo andino	1.845	Noreste	26	-33.3352 / -70.3275
M. andino inferior	2.363	Norte	12	-33.3654 / -70.2916
M. andino superior	2.920	Noroeste	21	-33.3509 / -70.2541

el caso de las herbáceas y arbustivas, y a través de funciones de productividad basadas en anillos de crecimiento en el caso de los árboles. La mayor parte de estas variables fueron medidas durante la temporada de crecimiento 2013-2014, en sitios de muestreo equivalentes en los cuatro pisos vegetacionales en el Cajón del río Mapocho. El **Cuadro 1** muestra la ubicación y características de los sitios de estudios utilizados en los muestreos en ambos valles.

Se consultó un total de trece expertos en ecosistemas de montaña y restauración a nivel nacional, los cuales seleccionaron las variables que a su parecer mejor describían los estados de degradación, dentro del total de variables analizadas. Se realizó un ranking de las variables

según las preferencias de los expertos en cada piso vegetacional y para las primeras diez seleccionadas se estimó el cambio relativo y absoluto entre las condiciones de baja y alta degradación.

A landscape photograph showing a mountain valley. In the foreground, there are green trees and a road. In the middle ground, there are several power line towers. In the background, there are more mountains and a clear blue sky. The overall scene is a mix of natural and man-made elements.

2. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BOSQUE ESCLERÓFILO

Iván Reyes, Horacio E. Bown, Jorge F. Pérez Quezada, Felipe Díaz



2. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BOSQUE ESCLERÓFILO

La degradación en el bosque esclerófilo provoca un cambio estructural muy marcado (**Figura 4**), ya que en sectores donde la degradación es baja, la dominancia está dada por especies arbóreas (55-85%), la cual disminuye a medida que aumenta la degradación hasta cubrir solo un 25% de la superficie (**Cuadro 2**). En cuanto a la cobertura de plantas herbáceas, se encontraron resultados disímiles entre los cajones de los ríos Maipo y Mapocho, ya que en el primero se vio una disminución de 1/3 de la cobertura (67 a 45%), mientras que en el Mapocho se vio un aumento de 1 a 18%. Los valores de la cobertura total en cambio fueron bastante estables, ya que en ambos cajones se observaron valores de 87-88% en los estados de baja degradación, mientras que la disminución relativa se situó entre 33 y 51% (**Cuadro 2**).

Dentro de las variables de suelo, el carbono total se reduce drásticamente con la degradación, perdiéndose cerca del 70% entre los niveles de degradación baja y alta, desde valores entre 6-8% a valores alrededor de 2%. La relación C/N en tanto disminuye levemente y en forma muy similar en ambos cajones, ya que a pesar que el N total también baja (datos no mostrados), en los sectores de alta degradación se encuentra una

especie fijadora de N entre las más abundantes, como es el caso de *Acacia caven* y *Erodium cicutarium* en el cajón del Maipo (**Figura 4**). Esto implica que el C baja a una tasa más alta que el N con la degradación. En cuanto a las variables relacionadas con la hojarasca, se observó una disminución cercana a los 2/3 de cobertura y biomasa entre los estados de degradación baja y alta.

Dentro de las variables que describen procesos ecosistémicos, la productividad total disminuyó de 770 a 400 g m⁻² año⁻¹ en los sitios de muestreo del Cajón del Maipo, lo que representa cerca de un 50% de disminución. La respiración de suelo en tanto mostró un aumento con la degradación en el Maipo y una disminución en el Mapocho, para lo cual no se encontró una explicación especial.

En cuanto a la composición, las especies dominantes en sectores de baja degradación en el cajón del Maipo fueron *Lithraea caustica* y *Kageneckia oblonga* (**Figuras 4 y 5**). Estas especies, ambas arbóreas, disminuyen su presencia a medida que aumenta la degradación, dando paso a especies arbustivas como *Colliguaja odorifera* y una mayor presencia de herbáceas como *Nasella chilensis* y *Centaurea*

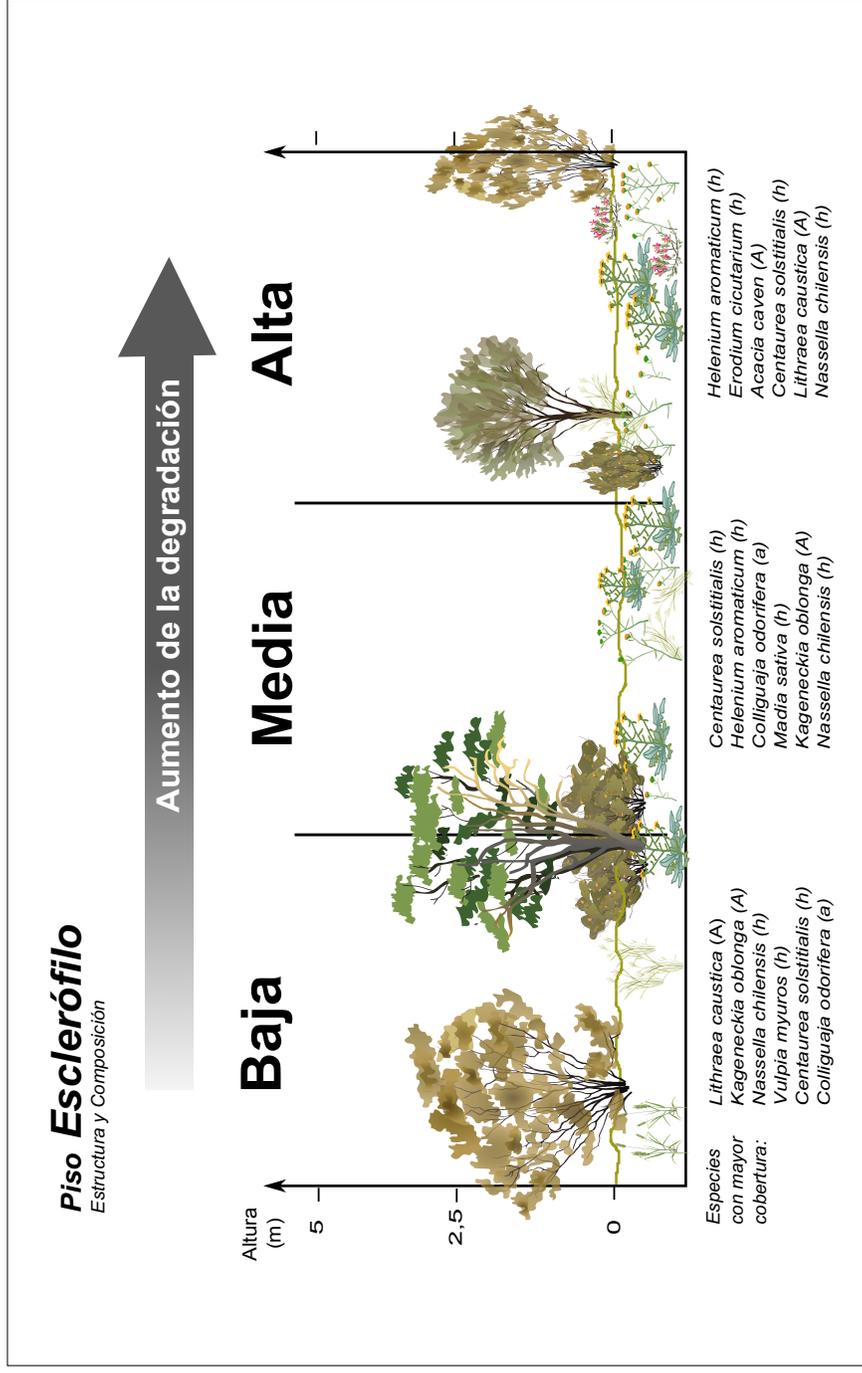


Figura 4. Esquema del cambio de composición y estructura de la vegetación con la degradación en el piso del bosque esclerófilo, observados en el Cajón del Maipo. Se incluyen los nombres de las seis especies con mayor cobertura (en orden descendiente). Entre paréntesis el hábito de crecimiento de la especie: A, arbóreo; a, arbustivo; h, herbáceo.

solstitialis. A pesar de aumentar su participación relativa, *C. odorifera* y *N. chilensis* son definidas como especies objetivo, junto a otras especies arbóreas y herbáceas (**Cuadro 3**), debido a que disminuyen su cobertura absoluta con la degradación. Por el contrario, especies como *Erodium cicutarium* y *Aira sp.* son definidas como invasoras, debido a que aumentan su cobertura con la degradación, mientras que *A. caven* y *Helenium aromaticum* son colonizadoras (**Cuadro 3**).

En el cajón del Mapocho, las especies dominantes fueron coincidentemente *L. caustica* y *K. oblonga* y aparece

también *Q. saponaria*. Esta última especie puede llegar a ser dominante en muchos sectores de bosque esclerófilo del sector cordillerano de la Región Metropolitana, sobre todo en los sectores de menor altitud dentro de su distribución y en sectores con exposición sur. En cuanto a las arbustivas, *C. odorifera* fue la especie más abundante en el estado de perturbación intermedia, lo cual indica que precisamente este estado es una transición entre una comunidad dominada por arbóreas en baja perturbación y otra dominada por herbáceas en alta perturbación,

Cuadro 2. Variación absoluta y relativa entre los estados de baja y alta degradación de las variables que mejor describen la degradación en el piso del bosque esclerófilo, observados en los sitios de estudio en los cajones de los ríos Maipo y Mapocho.

Nº	Variable*	Unidad	Maipo			Mapocho		
			Baja	Alta	Δ(%)	Baja	Alta	Δ(%)
1	Cobertura herbáceas	%	67	45	-33	1	18	+1700
2	Biomasa hojarasca	g m ²	365	143	-61	-	-	-
3	Fitovolumen arbóreo	m ³ m ⁻²	0,80	0,67	-16	1,2	0,15	-88
4	Carbono total	%	5,71	1,88	-67	7,96	2,55	-68
5	Cobertura arbórea	%	54	23	-58	87	27	-69
6	Respiración de suelo	g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹	0.37	0.61	+165	0,23	0,07	-70
7	Productividad total	g m ² año ⁻¹	770	400	-48	-	-	-
8	Relación C/N	-	14,9	12,5	-16	15,6	12,7	-19
9	Cobertura hojarasca	%	62	19	-69	-	-	-
10	Cobertura total	%	88	59	-33	87	43	-51

* Las variables se presentan en el orden en que fueron mencionadas por los expertos consultados.

Cuadro 3. Listado de especies objetivo e invasora o colonizadora en el piso del bosque esclerófilo observados en los sitios de estudio en los cajones de los ríos Maipo y Mapocho.

Tipo de especie	Nombre científico	Nombre Común	Hábito	Origen	Maipo	Mapocho
Objetivo	<i>Lithraea caustica</i>	Litre	Árborea	Endémica	x	x
	<i>Kogeneckia oblonga</i>	Bollén	Árborea	Endémica	x	x
	<i>Quillaja saponaria</i>	Quillay	Árborea	Endémica		x
	<i>Colliguaja odorifera</i>	Colliguay	Arbustiva	Endémica	x	
	<i>Podanthus mitiqui</i>	Mitique, Palo negro	Arbustiva	Endémica	x	
	<i>Nassella chilensis</i>	Coironcillo	Herbácea	Nativa	x	
	<i>Loasa triloba</i>	Ortiga caballuna	Herbácea	Endémica	x	
	<i>Dioscorea humifusa</i>	Huanqui	Enredadera	Endémica	x	
	<i>Acacia caven</i>	Espino	Arbustiva	Nativa	x	x
	<i>Helenium aromaticum</i>	Manzanilla	Herbácea	Endémica	x	x
	<i>Erodium cicutarium</i>	Alfilerillo, Relojito	Herbácea	Exótica	x	
	<i>Aira sp.</i>	-	Herbácea	Exótica		x

o especies arbóreas rusticas como *A. caven*. Precisamente esta última especie fue la dominante en el estado de alta degradación, junto a *H. aromaticum* dentro de las herbáceas. Sobre las especies objetivo, se agrega *Q. saponaria* en las arbóreas, mientas que en las invasoras se agrega una especie herbácea del género *Aira*.

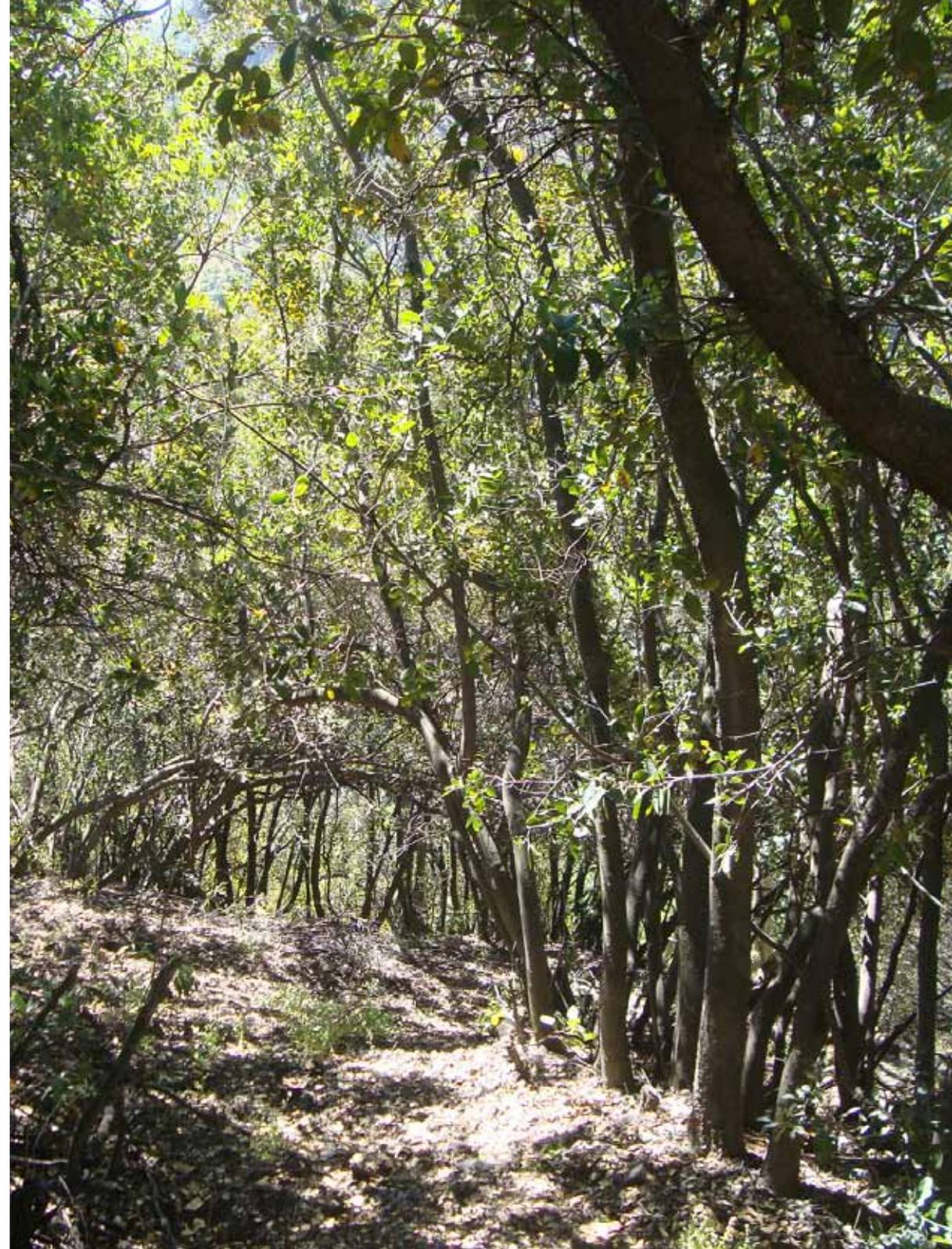


Figura 5. Sitios de degradación baja (A), media (B) y alta (C) en el piso del bosque esclerófilo y especies características de cada condición, *Quillaja saponaria* (D), *Colliguaja odorifera* (E) y *Helenium aromaticum* (F).

3. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BOSQUE ESCLERÓFILO ANDINO

Paola Lambertini, Horacio E. Bown, Jorge F. Pérez Quezada, Felipe Díaz





3. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL BOSQUE ESCLERÓFILO ANDINO

Estructuralmente, el cambio que se produce en el bosque esclerófilo andino con la degradación es muy similar al del bosque esclerófilo, en el sentido que las especies dominantes pasan de ser arbóreas a arbustivas y luego herbáceas, en los estados de baja, media y alta degradación, respectivamente (**Figura 6**). La cobertura arbórea pasa de 35-42% a cero en el estado de degradación media y baja, en los sitios de estudio en ambos valles. A pesar de lo similar de los valores de cobertura arbórea en los sitios de estudio de ambos cajones, el fitovolumen fue bastante distinto, con un máximo de $1,89 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ en el Maipo y sólo $0,6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ en el Mapocho (**Cuadro 4**). Esto resulta en una disminución de la cobertura total sumamente similar en ambos cajones, donde se observó una disminución de 72-74% entre los estados de baja y alta degradación, partiendo de 75 y 60% en los casos de menor degradación, hasta 21-29% en el caso de alta degradación. La cobertura de especies herbáceas en este piso fue consistente en ambos valles, con un aumento alrededor del 55%, aunque partiendo de valores muy distintos, con un 36% de cobertura en el estado de baja degradación en el Maipo y de sólo 4,3% en el Mapocho. En este piso los expertos propusieron el porcentaje de cobertura de plantas exóticas como una

variable relevante, la cual mostró un aumento de 23% en baja degradación a 36% en alta degradación en los sitios de muestreo en el río Maipo, lo que representa un aumento de 57%.

En las variables de suelo se observa una disminución en torno al 70% en C y N totales con la degradación, partiendo de valores de 5,7-7,1% en el caso del C y de 0,43-0,48% en el caso del N, en el estado de baja degradación en ambos valles. En forma similar, la cobertura y biomasa de hojarasca disminuyen un 50 y 70%, respectivamente, entre los estados de baja y alta degradación. La única variable que mide procesos ecosistémicos que fue seleccionada por los expertos fue la respiración de suelo, la que mostró una disminución en ambos valles, con una diferencia de 66-73% entre baja y alta degradación.

El estrato arbóreo del bosque esclerófilo andino es prácticamente monoespecífico, ya que *K. angustifolia* es el único árbol que domina en ambos cajones. Acompañando a *K. angustifolia* se encuentran *G. trinervis* y *C. integerrima* dentro de las arbustivas en el estado de baja degradación en los sitios de muestreo del cajón del Maipo (**Figura 6**). En el cajón del Mapocho, junto a *G. trinervis* se encontró a

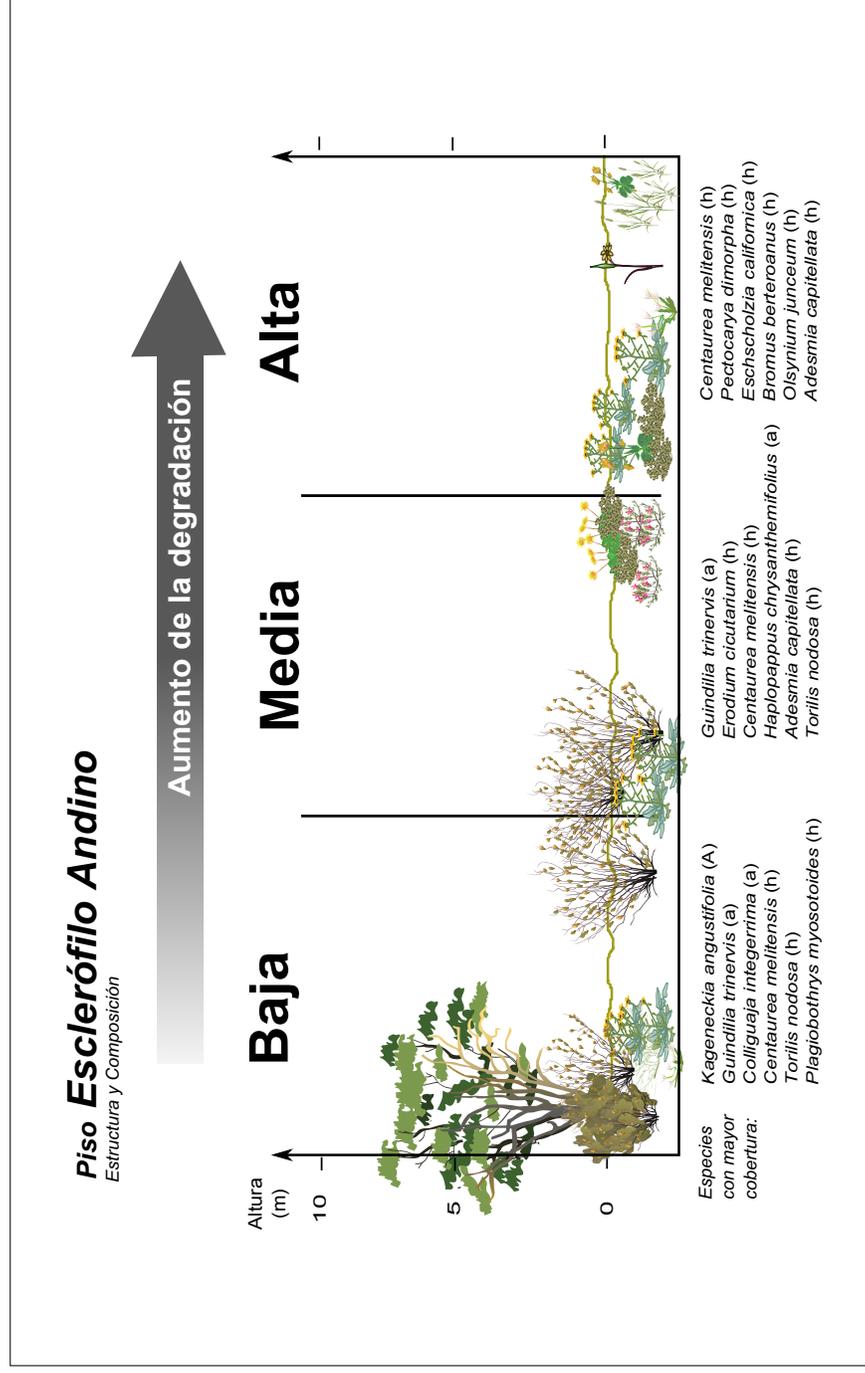


Figura 6. Esquema del cambio de composición y estructura de la vegetación con la degradación en el piso del bosque esclerófilo andino, observados en el sitio de estudio del Cajón del Maipo. Se incluyen los nombres de las seis especies con mayor cobertura (en orden descendente). Entre paréntesis el hábito de crecimiento de la especie: A, arbóreo; a, arbustivo; h, herbáceo.

Senecio eruciformis y *Azara serrata* dentro de las arbustivas, siendo todas las anteriores definidas como especies objetivo, ya que disminuyen con la degradación. A éstas se suman las herbáceas *Plagiobothrys myosotoides* y *Alstroemeria angustifolia*, que aunque con pequeña cobertura, son especies endémicas encontradas sólo en los estados de baja degradación.

Las especies exóticas que aumentan con la degradación, llamadas invasoras, corresponden todas en este piso a herbáceas, como *Centaurea melitensis* o *Eschscholtzia californica*. Las colonizadoras en tanto son las nativas como *Bromus berteroi* o

Quinchamalium chilense y endémicas como *Pectocarya dimorpha* o *Acaena pinnatifida* (Cuadro 5).

En los aspectos generales, el estado de alta degradación del bosque esclerófilo andino (Figura 7-C) es similar al estado de mayor degradación del bosque esclerófilo (Figura 5-C) en los sectores abiertos, aunque en el primer caso la cobertura arbórea desaparece totalmente, mientras que en el bosque esclerófilo se mantiene alrededor de un 25%.

Cuadro 4. Variación absoluta y relativa entre los estados de baja y alta degradación de las variables que mejor describen la degradación en el piso del bosque esclerófilo andino, observados en los sitios de estudio en los cajones de los ríos Maipo y Mapocho.

Nº	Variable*	Unidad	Maipo			Mapocho		
			Baja	Alta	Δ (%)	Baja	Alta	Δ (%)
1	Cobertura arbórea	%	42	0	-100	35	0	-100
2	Biomasa hojarasca	g m ⁻²	760	230	-70	-	-	-
3	Carbono total	%	7,1	2,0	-72	5,7	1,5	-74
4	Cobertura herbáceas	%	36	55	53	4,3	6,7	+56
5	Respiración	g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹	0,78	0,21	-73	0,29	0,10	-66
6	Cobertura total	%	75	29	-61	60	21	-65
7	Fitovolumen arbóreo	m ³ m ⁻²	1,89	0	-100	0,6	0	-100
8	Cobertura hojarasca	%	84	42	-50	-	-	-
9	Nitrógeno total	% (w/w)	0,48	0,17	-65	0,43	0,12	-72
10	Cobertura exóticas	%	23	36	+57	3	4,3	+43

* Las variables se presentan en el orden en que fueron mencionadas por los expertos consultados.

Cuadro 5. Listado de especies objetivo e invasora o colonizadora en el piso del bosque esclerófilo andino observadas en los sitios de estudio en los cajones de los ríos Maipo y Mapocho.

Tipo de especie	Nombre científico	Nombre Común	Hábito	Origen	Maipo	Mapocho
Objetivo	<i>Kageneckia angustifolia</i>	Franjel, Olivillo	Arbórea	Endémica	x	x
	<i>Guindilia trinervis</i>	Guindilla	Arbustiva	Nativa	x	x
	<i>Colliguaja integerrima</i>	Duraznillo	Arbustiva	Nativa	x	
	<i>Senecio eruciformis</i>	Senecio de cordillera	Sub-Arbustiva	Nativa		x
	<i>Azara serrata</i>	Corcolén	Arbustiva	Endémica		x
	<i>Plagiobothrys myosotoides</i>	-	Herbácea	Endémica	x	
	<i>Alstroemeria angustifolia</i>	Violeta del campo	Herbácea	Endémica		x
	<i>Pectocarya dimorpha</i>	-	Herbácea	Endémica	x	
	<i>Centaurea melitensis</i>	Tocalote	Herbácea	Exótica	x	
	<i>Eschscholtzia californica</i>	Dedal de oro	Herbácea	Exótica	x	
Invasora/ colonizadora	<i>Bromus berteroi</i>	Tuca, Pasto largo	Herbácea	Nativa	x	
	<i>Echium vulgare</i>	Hierba azul/Ortiguilla	Herbácea	Exótica		x
	<i>Acaena pinnatifida</i>	Pinpinela cimarrona	Herbácea	Nativa		x
	<i>Quinchamalium chilense</i>	Quinchamalí	Herbácea	Nativa		x



Figura 7. Sitios de degradación baja (A), media (B) y alta (C) en el piso de vegetación del bosque esclerófilo andino y especies características de cada condición, *Kageneckia angustifolia* (D), *Guindilia trinervis* (E), *Centaurea melitensis* (F).

A photograph of a mountainous landscape. In the foreground, there is a dirt road winding through a hillside covered with sparse, dry-looking vegetation, including tall grasses and small shrubs. The background shows a valley with a dirt road and several utility poles. In the distance, there are rugged, rocky mountains under a blue sky with scattered white clouds. An orange text box is overlaid on the right side of the image.

4. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL MATORRAL ANDINO INFERIOR

Cristián Hurtado, Jorge F. Pérez Quezada, Horacio E. Bown, Nadia Fuentes



4. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL MATORRAL ANDINO INFERIOR

La estructura del piso de matorral andino inferior como su nombre lo indica está dominado por especies arbustivas, especialmente en estados de baja degradación, con una cobertura alrededor del 50% o más, las cuales alcanzan alturas máximas alrededor de 50 cm y de 33 cm en promedio, acompañadas de un estrato herbáceo de 17 cm en promedio (**Figura 8**). A medida que avanza la degradación disminuye la cobertura de arbustivas, desde un 45% aproximadamente hasta un valor <6% en la situación de alta degradación, lo cual se observó en los sitios de estudio de ambos valles. Mientras tanto las herbáceas, a pesar de disminuir también su cobertura, pasan a ser dominantes en el estado de alta degradación, al menos en lo observado en el valle del Maipo; en los sitios de estudio del valle del Mapocho se observó que la cobertura herbácea pasó de 14 a 25% (78% aumento) (**Cuadro 6**). La cobertura total en tanto, disminuyó desde un 50-65% hasta un 17-27%, lo cual representa una disminución relativa de 47-74%, considerando ambos valles. Una variable que mostró cambios relativos bastante similares en ambos valles fue el fitovolumen arbustivo, que disminuyó en torno al 95%, a pesar de

partir de valores bastante distintos en los estados de baja degradación (0,084 m³ m⁻² en el Maipo y 0,039 m³ m⁻² en el Mapocho).

La especie dominante del estrato arbustivo en el valle del Maipo fue *G. trinervis*, la cual es considerada especie objetivo, ya que disminuye su cobertura con el aumento de la degradación (**Cuadro 7**). En el estado de alta degradación se encontraron en condición de dominantes especies como *Nardophyllum lanatum* y *Poa holciformis*, a pesar que esta última es considerada objetivo por disminuir su cobertura con la degradación (**Figura 9**). En el valle del Mapocho en tanto, las especies arbustivas dominantes en baja degradación fueron *Mulinum spinosum* y *Tetraglochin alatum*, mientras que en el estado de alta degradación también se encontró como dominante a *Poa holciformis* junto a *Acaena splendens*, siendo esta última la especie definida como invasora en los sitios de este valle. Es llamativo que en este piso variaron casi completamente las especies definidas como objetivo (excepto *P. holciformis*) e invasoras entre los sitios de muestreo de los dos valles. La riqueza de especies no mostró diferencias con la degradación en los sitios de muestreo

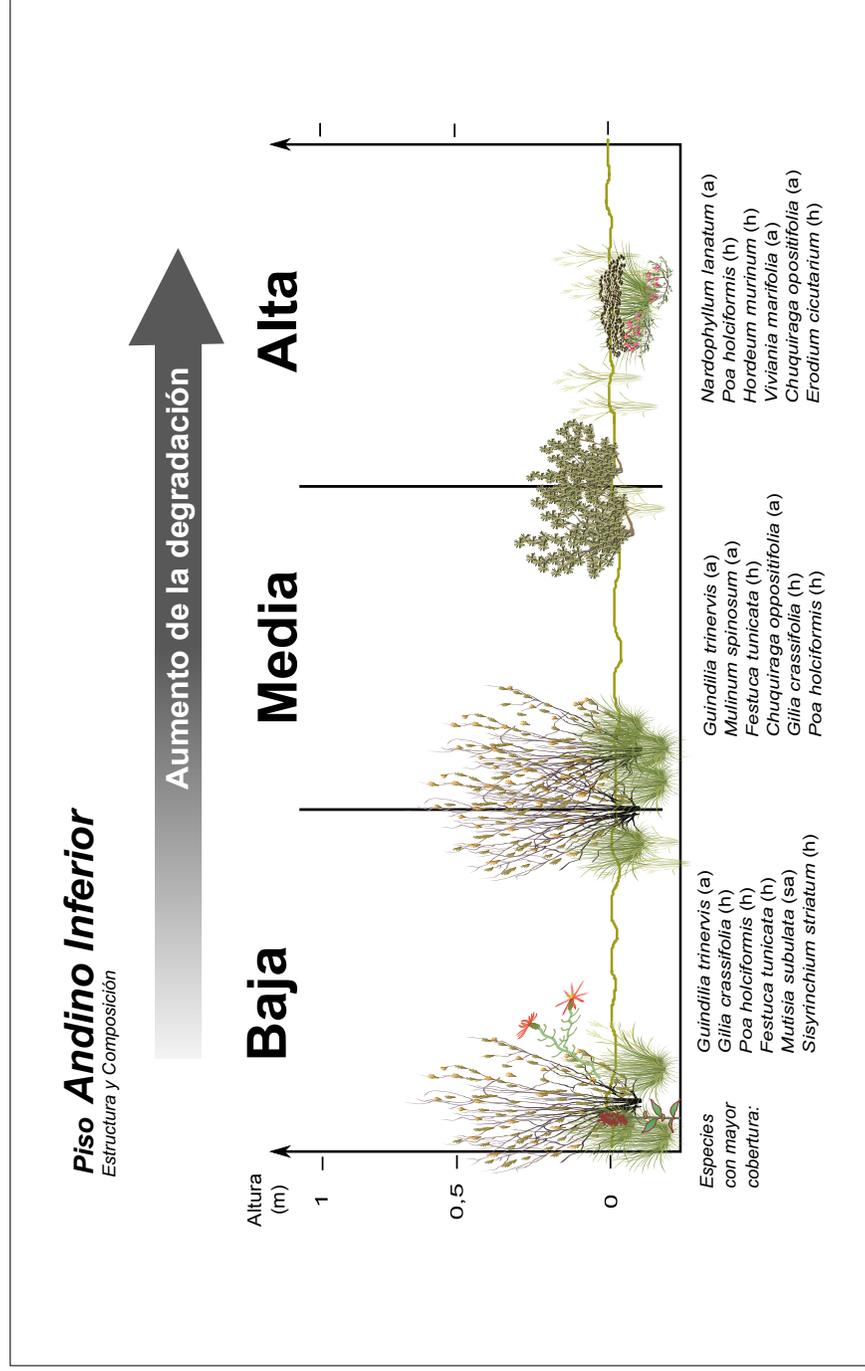


Figura 8. Esquema del cambio de composición y estructura de la vegetación con la degradación en el piso del matorral andino inferior, observados en los sitios de estudio en el Cajón del Maipo. Se incluyen los nombres de las seis especies con mayor cobertura (en orden descendiente). Entre paréntesis el hábito de crecimiento de la especie: a, arbustivo; sa, semi-arbustivo; h, herbáceo.

del Mapocho, pero sí una disminución de 9 a 5 especies (44%) en los sitios del Maipo (**Cuadro 6**).

En las variables de suelo fue seleccionado como indicador el contenido total de carbono, el cual mostró una disminución en ambos sitios de estudio, aunque con una variación mayor en el Maipo (61%) en comparación con la variación observada en el Mapocho (17%) (**Cuadro 6**). La biomasa de hojarasca también mostró una disminución, pasando de 230 a 60 g m⁻², es decir bajó un 74%.

En este piso se seleccionaron todas las variables relacionadas con la productividad vegetal, es decir la de los estratos arbustivo y herbáceo y la productividad total. En todas ellas se observa una disminución de más de 70% entre la condición de baja y alta degradación. En el caso de la productividad total, el valor promedio varió de 186 g biomasa m⁻² año⁻¹ a 43 g m⁻² año⁻¹.

Cuadro 6. Variación absoluta y relativa entre los estados de baja y alta degradación de las variables que mejor describen la degradación en el piso del matorral andino inferior, observados en los sitios de estudio en los cajones de los ríos Maipo y Mapocho.

Nº	Variable*	Unidad	Maipo			Mapocho		
			Baja	Alta	Δ (%)	Baja	Alta	Δ (%)
1	Cobertura total	%	66	17	-74	51	27	-47
2	Cobertura herbáceas	%	30	12	-60	14	25	+78
3	Cobertura arbustiva	%	48	6	-88	41	2	-95
4	Carbono total	%	2,3	0,9	-61	3,4	2,8	-17
5	Fitovolumen arbustivo	m ³ m ²	0,084	0,008	-90	0,039	0,0006	-98
6	Biomasa hojarasca	g m ²	230	60	-74	-	-	
7	Productividad arbustiva	g m ² año ⁻¹	143	30	-79	-	-	
8	Productividad herbáceas	g m ² año ⁻¹	43	12	-72	-	-	
9	Productividad total	g m ² año ⁻¹	186	43	-77	-	-	
10	Riqueza	Nº	9	5	-44	8	8	0

* Las variables se presentan en el orden en que fueron mencionadas por los expertos consultados.

Cuadro 7. Listado de especies objetivo e invasora o colonizadoras observadas en los sitios de estudio del piso del matorral andino inferior en el Cajón del Maipo.

Tipo de especie	Nombre científico	Nombre Común	Hábito	Origen	Maipo	Mapocho
Objetivo	<i>Guindilla trinervis</i>	Guindilla	Arbustiva	Nativa	x	
	<i>Mulinum spinosum</i>	Mata barrosa	Arbustiva	Nativa		x
	<i>Tetraglochin alatum</i>	Horizonte	Arbustiva	Nativa		x
	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	Chuquiraga/ Hierba Blanca	Arbustiva	Nativa		x
	<i>Mutisia subulata</i>	Hierba del jote	Sub-Arbustiva	Nativa	x	
	<i>Gilia crassifolia</i>	-	Herbácea	Nativa	x	
	<i>Poa holciformis</i>	-	Herbácea	Nativa	x	x
	<i>Festuca tunicata</i>	-	Herbácea	Endémica	x	
	<i>Viviania marifolia</i>	Té de burro	Arbustiva	Nativa	x	
	<i>Erodium cicutarium</i>	Alfilerillo, Relojito	Herbácea	Exótica	x	
Invasora/ colonizadora	<i>Chenopodium album</i>	Quingüilla	Herbácea	Exótica	x	
	<i>Bromus setifolius</i>	-	Herbácea	Nativa		x
	<i>Chaetanthera euphrasioioides</i>	-	Herbácea	Nativa		x



Figura 9. Fotos de sitios de degradación baja (A), media (B) y alta (C) en el piso de matorral andino inferior y especies características de cada condición, *Mulinum spinosum* (D), *Chuquiraga oppositifolia* (E) y *Poa holciformis* (F).



5. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL MATORRAL ANDINO SUPERIOR

Cristián Hurtado, Jorge F. Pérez Quezada, Horacio E. Bown, Nadia Fuentes



5. DESCRIPCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL MATORRAL ANDINO SUPERIOR

En el matorral andino superior, las especies dominantes fueron arbustivas y herbáceas (**Figura 10**). Tanto las arbustivas como las herbáceas disminuyeron su cobertura, haciendo que la cobertura total disminuyera desde 50-69% en la condición de baja degradación hasta 18-19% en alta degradación, lo que representa una disminución alrededor del 70% (**Cuadro 8**). En ambos valles las plantas arbustivas desaparecieron con la degradación más alta producida por el pastoreo de cabras (**Figura 11**). Esto se vio reflejado por supuesto también en una pérdida de 100% del fitovolumen arbustivo, que en este piso alcanza valores muy bajos incluso en situaciones de baja degradación ($0,043-0,086 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$). Las herbáceas en el Maipo disminuyeron de 30 a 5% su cobertura, lo que representa un 83% de disminución. En el valle del Mapocho se observó que las herbáceas aumentaron su cobertura, sin embargo, el fitovolumen herbáceo se redujo de 0,01 a $0,0047 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ (datos no mostrados), es decir hay más cobertura, pero son plantas más pequeñas.

En el suelo se observaron pérdidas de C y N bastante parecidas entre valles (**Cuadro 8**). El C total pasó de 3,1% a 1,4% en el Maipo y de 2,2 a 0,9%

en el Mapocho, lo que representa una disminución de 57%. El N total en el suelo disminuyó en la misma proporción, a partir de valores de 0,27-0,17% en los estados de baja degradación. El contenido de arcilla fue seleccionado en este piso como un indicador de la degradación, mostrando un aumento en ambos valles, aunque con valores de cambio relativo muy distintos. El aumento del porcentaje de arcilla no parece lógico a primera vista, ya que las partículas de arcilla por ser de menor tamaño tienden a dominar en suelos más desarrollados o en las capas más profundas de suelo. Sin embargo, creemos que justamente a esto último se debe su aumento, ya que la erosión de las primeras capas en los estados de mayor degradación generaría que el muestreo se haya realizado en la parte del perfil de suelo que antes estaba más profundo.

En situación de baja degradación en el valle del Maipo dominaron *Adesmia gracilis*, *Poa holciformis* y *Senecio davilae* (**Figura 10**). *P. holciformis* estuvo presente en todos los estados de degradación, con una cobertura bastante estable, alrededor del 20%. *A. gracilis* y *S. davilae* en cambio disminuyeron su cobertura, por lo

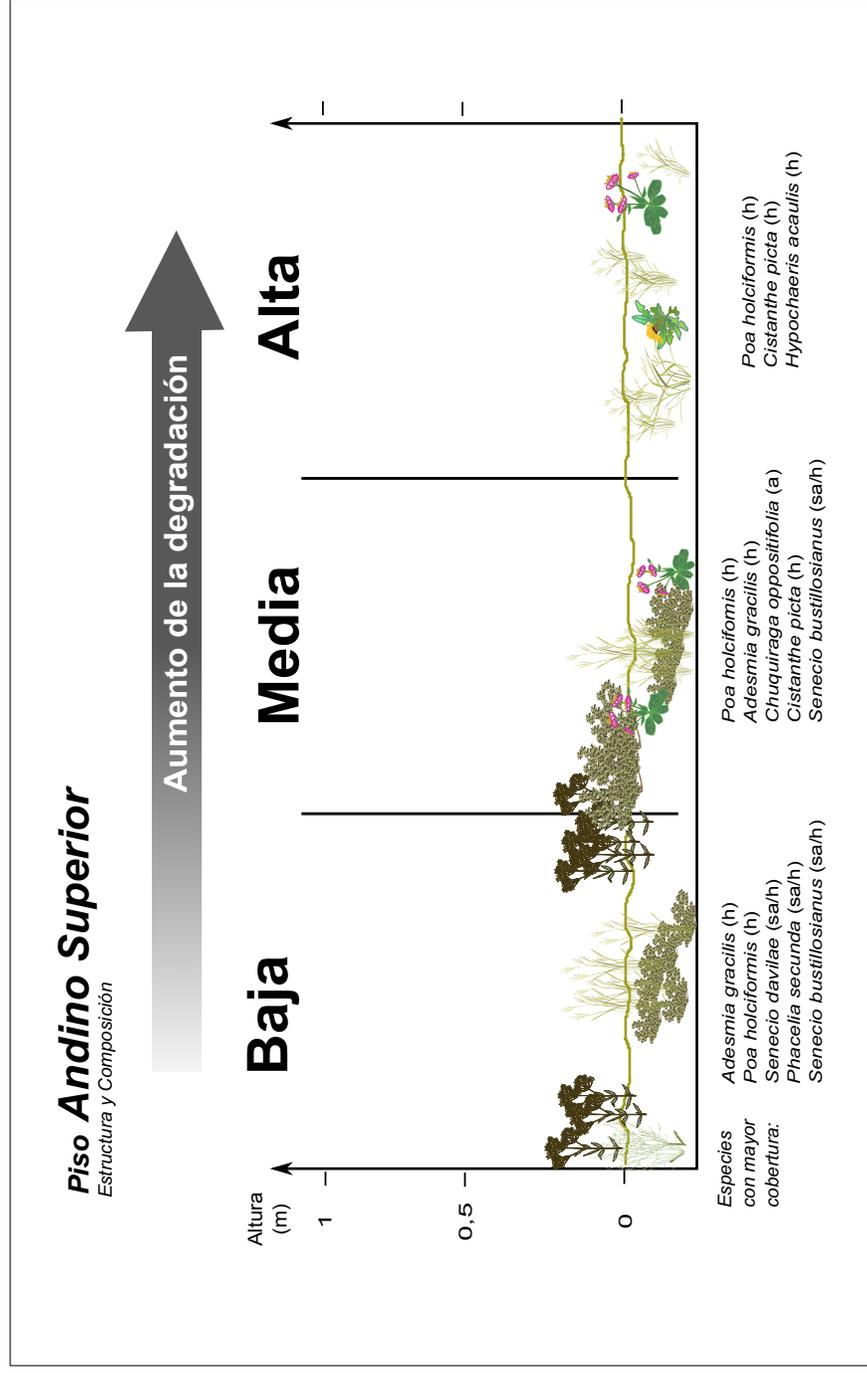


Figura 10. Esquema del cambio de composición y estructura de la vegetación con la degradación en el piso del matorral andino superior, observados en el Cajón del Maipo. Se incluyen los nombres de las seis especies con mayor cobertura (en orden descendente). Entre paréntesis el hábito de crecimiento de la especie: a, arbustivo; sa, semi-arbustivo; h, herbáceo.

cual fueron calificadas como especies objetivo (**Cuadro 9**). *Phacelia secunda* y *Senecio bustillosianus* también fueron definidas como especies objetivo, coincidiendo su clasificación en ambos valles. En el valle del Mapocho además se identificó a *Berberis empetrifolia*, *Laretia acaulis* y *Senecio francisci*

como especies objetivo. Las especies que aumentaron su cobertura con la degradación, fueron distintas entre los valles, pero fueron todas especies nativas (colonizadoras) (**Cuadro 9**).

Cuadro 8. Variación absoluta y relativa entre los estados de baja y alta degradación de las variables que mejor describen la degradación en el piso del matorral andino superior, observados en los sitios de estudio en los cajones de los ríos Maipo y Mapocho.

Nº	Variable*	Unidad	Maipo			Mapocho		
			Baja	Alta	Δ (%)	Baja	Alta	Δ (%)
1	Cobertura total	%	50	18	-64	69	19	-72
2	Cobertura arbustiva	%	37	0	-100	51	0	-100
3	Carbono total	%	3,1	1,4	-55	2,2	0,9	-59
4	Fitovolumen arbustivo	m ³ m ⁻²	0,043	0	-100	0,086	0	-100
5	Riqueza	Nº	4	2	-50	8	4	-50
6	Respiración de suelo	g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹	0,51	0,34	-33	0,51	0,11	-78
7	Productividad total	g m ⁻² año ⁻¹	111	4	-96	-	-	-
8	Arcilla	%	6,7	17,3	+158	15,7	20,8	+32
9	Nitrógeno total	%	0,27	0,12	-55	0,17	0,07	-59
10	Cobertura herbáceas	%	30	5	-83	28	51	+82

* Las variables se presentan en el orden en que fueron mencionadas por los expertos consultados.

Cuadro 9. Listado de especies objetivo y colonizadora en el piso del matorral andino superior.

Tipo de especie	Nombre científico	Nombre Común	Hábito	Origen	Maipo	Mapocho
Objetivo	<i>Adesmia gracilis</i>	Varilla	Arbustiva	Nativa	x	
	<i>Senecio davilae</i>	-		Endémica	x	
	<i>Phacelia secunda</i>	Cuncuna, Té de burro	Sub-Arbustiva	Nativa	x	x
	<i>Senecio bustillosianus</i>	-	Sub-Arbustiva	Endémica	x	x
	<i>Berberis empetrifolia</i>	-	Sub-Arbustiva	Nativa	x	x
	<i>Laretia acaulis</i>	Llaretilla	Sub-Arbustiva	Nativa		x
	<i>Senecio francisci</i>	-	Arbustiva	Endémica		x
	<i>Cistanthe picta</i>	-	Herbácea	Nativa	x	
	<i>Hypochaeris acaulis</i>	-	Herbácea	Nativa	x	
	<i>Chaetanthera euphrasioides</i>	-	Herbácea	Nativa		x
Colonizadora						

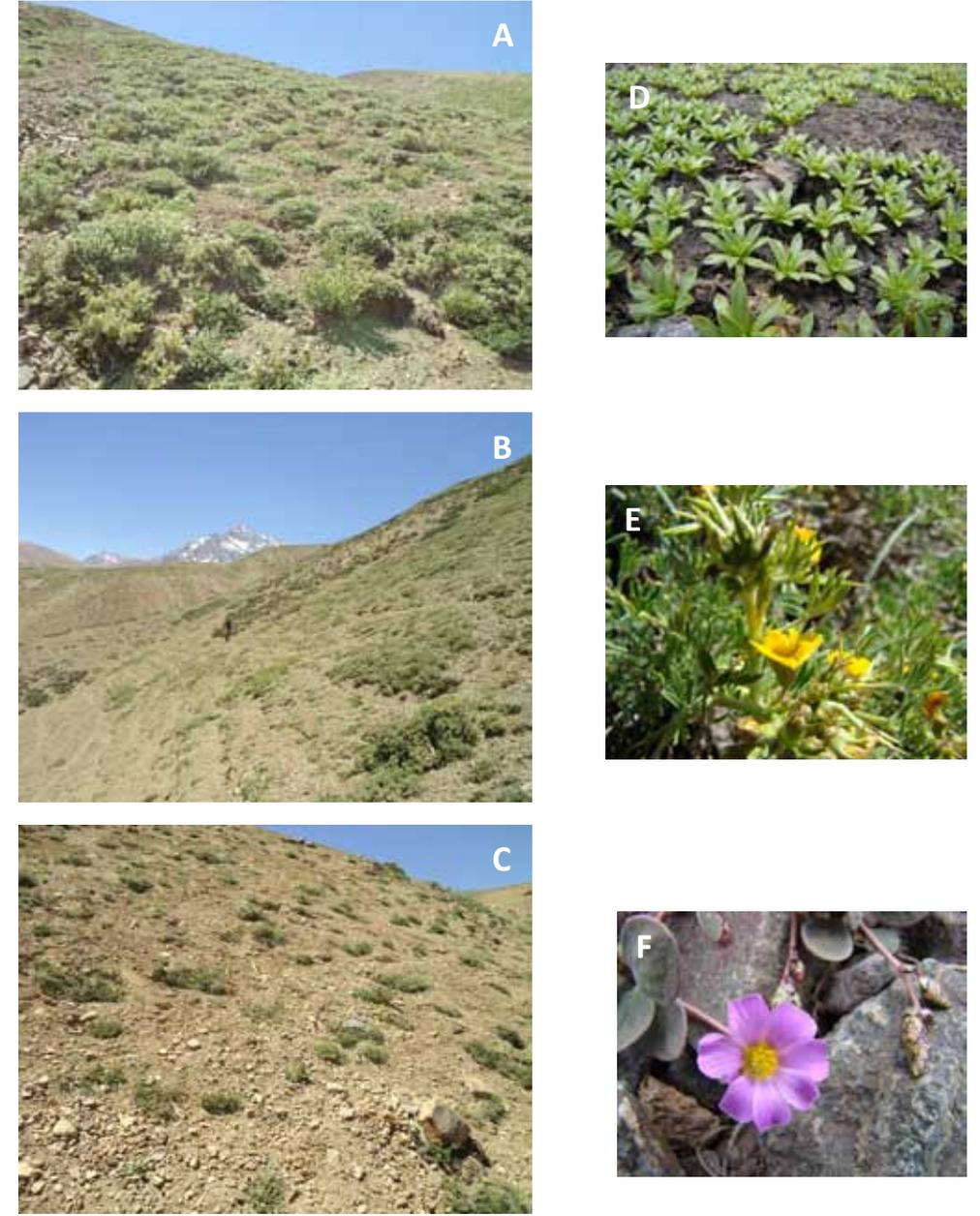


Figura 11. Fotos de sitios de degradación baja (A), media (B) y alta (C) en el piso de matorral andino superior y especies características de cada condición en los sitios de muestreo del valle del Maipo; *Laretia acaulis* (D), *Adesmia gracilis* (E), *Cistanthe picta* (F).

A photograph of a dense field of a low-growing, silvery-green plant with numerous yellow flower buds. The buds are elongated and pointed, and the leaves are small and pointed. The background is a light-colored, sandy or dusty ground.

6. SÍNTESIS

Jorge Pérez Quezada y Horacio Bown



6. SÍNTESIS

Algunas de las variables muestreadas fueron seleccionadas por los expertos como buenos indicadores de la degradación en los cuatro pisos vegetacionales. Este es el caso de la cobertura total de plantas, la cobertura de herbáceas y el carbono total en el suelo. Otras variables fueron seleccionadas dependiendo si la vegetación era arbórea o arbustiva. Por ejemplo, las variables de biomasa y cobertura de hojarasca aparecieron en ambos pisos de vegetación arbórea, pero no en los arbustivos, mientras que la riqueza de especies fue considerada importante sólo en los pisos arbustivos. Otras variables como el fitovolumen se consideraron importantes en relación a la vegetación dominante, es decir el fitovolumen arbóreo en el bosque esclerófilo y esclerófilo andino, y el fitovolumen arbustivo en el matorral andino inferior y superior.

Al analizar el cambio relativo de las variables muestreadas en los cuatro pisos vegetacionales, surgen algunos patrones dignos de destacar. La cobertura total disminuyó en todos los pisos y en ambos valles, con valores entre 33 y 74% de diferencia entre el estado de baja y alta degradación. Sin embargo, esta disminución fue más marcada a mayor altitud, de manera que el promedio de disminución de los sitios de ambos valles fue de 42% en el

bosque esclerófilo, subiendo a 63, 61 y 68% en los pisos de mayor altitud. En el caso del C total, salvo una excepción, los valores siempre mostraron una disminución entre 55 y 74% entre los estados de baja y alta degradación. La cobertura de herbáceas mostró un patrón interesante, ya que a excepción del matorral andino inferior, en los otros tres pisos se vio una disminución en los sitios de muestreo del Maipo y un aumento en los sitios del Mapocho. Las especies que siempre disminuyeron su cobertura fueron las leñosas, ya sea arbóreas o arbustivas, lo cual demuestra el efecto detrimental conjunto del ramoneo y fuego. Ambas fuentes de perturbación impiden el reclutamiento de nuevos individuos arbóreos y arbustivos. Las herbáceas en cambio, generalmente disminuyeron su cobertura, pero a veces aumentaron, compensando en parte la pérdida de cobertura de especies leñosas.

Las especies definidas como objetivo (disminuyen su cobertura con la degradación) generalmente tuvieron especies que coincidieron entre los valles del Maipo y del Mapocho en los cuatro pisos de vegetación, excepto en el matorral andino inferior. Las especies definidas como invasoras o colonizadoras en tanto, mostraron menos coincidencia que las objetivo entre los distintos valles, siendo solo

el bosque esclerófilo donde las mismas especies, *Acacia caven* y *Helenium aromaticum* mostraron un aumento de su cobertura con el aumento de la degradación. En general existe la tendencia a pensar que las especies que aumentan con la degradación son solo exóticas, sin embargo en este estudio encontramos una alta participación de especies nativas, algunas de ellas endémicas, como colonizadoras. Esto puede ser una particularidad de los ecosistemas de montaña, ya que a medida que aumenta la altitud las condiciones ambientales se van haciendo cada vez más difíciles para la sobrevivencia de las plantas, lo que genera las condiciones para que solo especies tolerantes al estrés puedan habitarlos. Es así como en el matorral andino superior solo se encontraron especies nativas. En cuanto al hábito de crecimiento, las especies invasoras o colonizadoras encontradas fueron algunas arbustivas y mayoritariamente herbáceas.

En las variables de suelo, como ya se mencionó, el C total del suelo disminuyó en todos los pisos vegetacionales. Cuando el N total fue medido también, mostró valores muy similares de disminución relativa en comparación con el C total. En otros casos, a pesar que no se reportaron los datos para todos los pisos por no estar dentro de las variables seleccionadas por los expertos, sí se vio una consistencia entre los distintos pisos vegetacionales.

Por ejemplo, el aumento de la arcilla en la capa superficial del suelo mostrado para el matorral andino superior, fue consistente en los otros tres pisos vegetacionales.

Algunas variables no mostraron tendencias estables, como es el caso de la respiración de suelo. Por lo tanto, dado que otras variables mostraron más similitud entre valles y dada la dificultad que representa medir esta variable, es posible indicar que no sería la más recomendada para representar la degradación.

En este sentido, entre las variables más consistentes en mostrar las diferencias entre los estados de degradación están las referidas a cobertura vegetal, tanto la cobertura total como la de especies leñosas. Sería recomendable elegir más de una variable para corroborar el estado de degradación, ya que las características de la hojarasca o los contenidos de C y N del suelo contienen información importante. Del mismo modo, la cobertura sola no nos dice el tipo de especies que la componen, por lo que es vital revisar la composición florística y definir cuáles son las especies objetivo e invasoras o colonizadoras.

Por último, es importante resaltar que los valores mostrados en esta publicación, a pesar de representar sitios de muestreo en dos valles, siguen siendo muy limitados en cuanto a la representación espacial, por lo que se

recomienda considerar estos valores como referenciales. La idea es que las variables y los valores mostrados sirvan de base para orientar el trabajo de terreno donde se evalúe la degradación y precisamente sirvan de guía para orientar la restauración de estos ecosistemas.

Como recomendación general para identificar los distintos estados de degradación en los ecosistemas andinos de Santiago, se propone realizar un recorrido por la zona, estableciendo un gradiente entre los sectores mejor y peor conservados. Es importante que el estado de referencia se establezca en forma local, ya que a pesar de no mostrarlo entre los resultados de este estudio, observamos que definir sitios lejanos con este fin genera inconsistencias entre los valores de algunas variables en los estados de mayor degradación, sobre todo en las variables de suelo.

7. RECOMENDACIONES

Horacio Bown y Jorge Pérez Quezada





7.1 LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS

La Sociedad de Restauración Ecológica define la restauración ecológica como el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER 2004). La restauración en un ecosistema busca, en la medida de lo posible, retornar el ecosistema a la trayectoria histórica, la cual constituye el punto de partida ideal para diseñar su restauración.

Durante este proyecto se identificaron y caracterizaron distintos niveles de degradación, en cuanto a su flora y vegetación, los suelos y algunos procesos ecosistémicos. Esta caracterización se llevó a cabo para los cuatro pisos altitudinales de vegetación que se encuentran en la cordillera de la Región Metropolitana i.e. esclerófilo, esclerófilo andino, andino inferior y andino superior. Esta caracterización nos permitió establecer una trayectoria aproximada, al combinar los conocimientos sobre la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema, condiciones ambientales de la región y análisis de otras informaciones ecológicas, culturales e históricas relevantes. Además, la caracterización de los estados menos degradados dentro de cada piso constituye una referencia aproximada, o ecosistema de referencia, con el cual

se pueden contrastar los esfuerzos de restauración en ecosistemas de montaña degradados de Santiago. La caracterización consideró tres niveles a través de los distintos pisos, lo que facilita la clasificación de nuevos sitios en las categorías de baja, media y alta degradación.

En la mayor parte de los casos, la restauración de estos ecosistemas no podrá ser lograda por medios pasivos. Es decir, la exclusión del uso o medidas parciales de protección no garantizará que las comunidades no sean degradadas a través del tiempo. Por lo anterior, se requiere adicionalmente a los esfuerzos pasivos de una restauración activa, que identifique los principales agentes causales de daño y sea capaz de reducir sus efectos.

Chile ha tenido un sostenido crecimiento económico desde el año 1985. Sin embargo, sólo a partir de la promulgación de la Ley de Bases del Medio Ambiente (1994) y su Reglamento (1997), es que se ha incluido verdaderamente la dimensión ambiental en los proyectos de desarrollo económico. En esta perspectiva, cabe señalar que los estudios de impacto ambiental que se han realizado han empleado una

gran cantidad de recursos y energías en la realización de las líneas bases y en la identificación y evaluación de los impactos, pero han sido deficientes en la estructuración de medidas de recuperación ambiental. Esta situación se ha producido parcialmente, debido al desconocimiento de cómo funcionan y como se pueden recuperar ecosistemas de montaña degradados, siendo éste uno de los objetivos de este proyecto de investigación. Con lo anterior, no se debe entender que no hemos avanzado en estos 20 años, por el contrario el avance ha sido muy significativo, pero en una nueva etapa de desarrollo económico, social y ambiental, la restauración de ecosistemas debiera jugar un rol central.

La restauración de los ecosistemas andinos de Santiago requerirá de un esfuerzo coherente, deliberado y sostenido en el tiempo. Este esfuerzo demandará comprometer potenciales usos, comprometer recursos financieros y cambiar nuestra percepción que reforestación es equivalente a restauración, ésta última siendo un proceso que podrá llevar varias décadas. La restauración de estos ecosistemas, para su éxito, deberá comprometer además a la comunidad. La Sociedad de Restauración Ecológica plantea que las decisiones colectivas tienen mayor probabilidad de ser acatadas y ejecutadas que aquellas tomadas unilateralmente; por lo cual, es

necesario convocar e involucrar a todos los actores para consensuar la decisión de iniciar un proyecto de restauración. Una vez que la decisión de restaurar ha sido consensuada, el proyecto requerirá una planificación cuidadosa y sistemática de las acciones a seguir y un plan de seguimiento y control asociado a dichas actividades.

Whisenant (1999) argumenta que la restauración de ecosistemas debe considerar tres aspectos fundamentales:

- a. un enfoque orientado a procesos,
- b. buscar iniciar la reparación autogénica (i.e. por las plantas)
- c. considerar interacciones con el paisaje.

La mayor parte de los proyectos de restauración difieren de este enfoque, en que enfatizan el retorno a la estructura (e.g., nutrientes y especies) previa a la perturbación, en vez de reparar los procesos. Además, tienden a focalizarse en sitios específicos, sin considerar el contexto del paisaje y consideran el proyecto de restauración como completo, una vez que se han establecido las especies propuestas, más que como una primera etapa en la recuperación del ecosistema que tardará probablemente varias decenas de años. Estos tres aspectos debieran guiar la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago.

El enfoque orientado a procesos será requerido porque instaurar las mismas especies removidas -aún cuando sean acompañadas de subsidios como fertilización, riego y enmiendas-, no serán suficientes para recuperar estos ecosistemas. Esto se debe a que en muchos casos existirán limitaciones físicas que recuperar, antes de intentar repoblar con el ensamble original de especies vegetales. Un ejemplo de ello son los frecuentes casos de reforestaciones de alto estándar que han fracasado en sitios fuertemente degradados (e.g., taludes, obras lineales como gasoductos, oleoductos, tendidos eléctricos), donde se ha removido parcial o totalmente los primeros 30 cm del suelo; que contienen la mayor parte de la materia orgánica y nutrientes requeridos para el desarrollo de las plantas. Adicionalmente en estos sitios fuertemente degradados usualmente también se ha removido completamente la cubierta vegetal y por lo tanto no existirán plantas nodrizas que puedan proteger la plantación o la regeneración natural de la demanda evaporativa, la alta radiación solar y temperaturas extremas que se dan en ecosistemas de montaña. Por lo anterior, entender los procesos y el funcionamiento del ecosistema será clave para recuperar adecuadamente estos ecosistemas.

El segundo lineamiento de Whisenant (1999) plantea que el inicio de la reparación debe ser a través de las

plantas en la forma más natural posible (reparación autogénica). El modelo agrícola y forestal de cultivos intensivos genera sin lugar a dudas grandes beneficios económicos, sociales y ambientales. Sin embargo este modelo se aplica cuando existe abundancia y disponibilidad de recursos, en condiciones de suelo y clima favorables, y con la convicción de que al final de un cierto periodo se obtendrá una renta que más que compensará los costos incurridos. Claramente este modelo no corresponde a los ecosistemas de andinos de Santiago. En general son suelos pobres y delgados, con déficit hídrico marcado de Octubre a Abril, con temperaturas extremas aún dentro de un mismo día, nieve y hielo, problemas de accesibilidad, agricultura y pastoreo de supervivencia, tala de leña de subsistencia, incendios, derrumbes, etc. Por lo anterior no resulta razonable esperar poder utilizar subsidios permanentes en la forma de riego y fertilización en la restauración de estos ecosistemas. Whisenant (1999) entiende que este enfoque es impracticable en restauración, y propone que estos subsidios deben ser minimizados.

Los procesos autogénicos hacen referencia al cambio sucesional, debido a la modificación del ambiente por la vegetación (e.g., producir humus, dar protección contra el viento o proveer de sombra). En muchos casos se requerirá

de tratamientos en la superficie del suelo que permitan cambiar las condiciones alogénicas (abiótico), lo suficiente para facilitar desarrollo autogénico (biótico). Usar procesos naturales como una herramienta para reparar ecosistemas degradados es útil ya que se autosustentarán, se operarán a bajo costo y serán efectivos a gran escala.

Asimismo, Whisenant (1999), plantea que en muchos casos los esfuerzos de restauración se focalizan en sitios específicos sin considerar el contexto del paisaje. Sin embargo, los flujos de recursos, como agua, nutrientes, materia orgánica y propágulos, son controlados por las formas del paisaje y la microtopografía. Por lo tanto, se requiere comprender, anticipar, manipular y dirigir estos flujos, basados en la comprensión de los atributos del paisaje, para facilitar la recuperación en los procesos ecosistémicos.

7.2 MODELO HIPOTÉTICO DE DEGRADACIÓN DE WHISENANT

En este proyecto hemos utilizado un esquema hipotético de degradación de ecosistemas que fuera propuesto por Whisenant (1999) (**Figura 2**). Proponemos que este esquema es una buena forma de aproximarse al nivel de degradación de un sitio en particular y a los componentes del ecosistema donde debe focalizarse la reparación. Puede ser aplicado a los cuatro pisos altitudinales estudiados o a otros ecosistemas. La ventaja que tiene es su simplicidad y el hecho que el nivel de degradación puede ser juzgado con una herramienta común independiente del sitio y del piso altitudinal donde nos encontremos.

La abscisa muestra la disminución de izquierda a derecha en la eficiencia en la captura y uso de recursos como agua, energía y nutrientes. De esta forma, el estado cero representa ecosistemas bien conservados, mientras que el estado 4 ecosistemas fuertemente degradados. La ordenada muestra el aumento en la funcionalidad de los procesos primarios como son la captura de carbono, energía, agua y nutrientes. En esta figura además, se ilustran dos umbrales que separan los cinco estados en tres grupos. En este proyecto no fue posible encontrar sitios sin intervención

(estado 0) y parece poco probable que puedan ser encontrados debido a la data de uso de la tierra desde la época de la Conquista. En el otro extremo, el estado 4, se encuentra frecuentemente asociado a la construcción de obras civiles y mineras como es el caso de taludes, derrames, relaves, oleoductos, etc. Este estado no fue muestreado en este proyecto por corresponder más al enfoque de rehabilitación y reclamación de terrenos. Por lo anterior, los estados 1, 2 y 3 corresponden aproximadamente a nuestra descripción de los niveles de degradación **baja, media y alta**.

El modelo de degradación de Whisenant (1999) también considera la existencia de dos umbrales. Un primer umbral controlado por factores bióticos, más allá del cual se requiere un esfuerzo deliberado de manipulación de la vegetación para recuperar el ecosistema; y un segundo umbral, controlado por factores abióticos, que requiere de la manipulación física del ambiente previo o en conjunto con la manipulación de la vegetación. Por ejemplo, en sitios fuertemente degradados, resulta prioritario aumentar la infiltración, reducir la erosión, capturar materiales orgánicos y regular extremos microambientales,

Cuadro 10. Descripción, síntomas, estrategia inicial y foco de las actividades de reparación en ecosistemas de montaña.

Etapa	Descripción	Síntomas	Estrategia Inicial	Foco de las actividades iniciales de reparación
0	Biomasa y composición varía con ciclos climáticos y eventos estocásticos	Los Procesos Primarios se encuentran intactos.	Manejo adaptativo de herbivoría, cosecha de fibra y forraje.	Productores secundarios
1	Consumo selectivo reduce regeneración deseada, favorece especies menos deseadas	Más plantas añosas. Regeneración natural escasa o nula. Procesos Primarios no están dañados.	Control estricto de herbivoría, cosecha de fibra, forraje, consumo selectivo de plantas	Productores secundarios
2	Especies vegetales que no reclutan son perdidas, también predadores y simbiontes	Pérdida vegetal y animal con productividad secundaria reducida. Los Procesos Primarios están dañados pero aún funcionando.	Manejo de la vegetación (e.g. agregar, remover o modificar) mediante plantación, medidas biológicas o culturales	Productores Primarios
3	Biomasa y productividad de la vegetación fluctúa con plantas efímeras que se benefician con la pérdida de cubierta perenne	Biomasa perenne se ve reducida (plantas de corta vida e inestabilidad aumenta). Procesos Primarios son funcionales parcialmente.	Manipular la cobertura del suelo y controlar la erosión. Usar y seleccionar cuidadosamente vegetación leñosa para modificar las condiciones microambientales.	Ambiente Físico
4	Pérdida de la cubierta vegetal genera cambios en la función de los suelos y actividad microbiana	Suelo desnudo, erosión y aridificación. Procesos Primarios no son funcionales.	Manipular la cobertura del suelo y controlar la erosión. La estabilización del sitio es la prioridad. Usar y seleccionar cuidadosamente vegetación leñosa para modificar las condiciones microambientales	Ambiente Físico

Fuente: Modificado de Whisenant (1999).

entre otros, antes de establecer una cubierta vegetal permanente.

Este modelo se acompaña de una tabla que describe cada estado, identificando los síntomas de degradación, presentando algunas orientaciones de manejo e identificando el foco principal de las actividades de reparación (**Cuadro 10**). Esta tabla es general y por tanto puede ser aplicada a cualquiera de los cuatro pisos altitudinales. Así por ejemplo, sitios con baja degradación (estado 1) podrán ser reparados por medios pasivos mediante la exclusión o control estricto de la herbivoría. Los sitios con degradación media (estado 2) con biomasa y productividad vegetal reducida, se encuentran con sus procesos primarios dañados pero aún funcionando. Requerirán manejo de la vegetación, ya sea agregando, removiendo o modificándola, mediante plantación, medidas biológicas o culturales, no bastando con medidas pasivas. Los sitios de alta degradación (estado 3) ya han sobrepasado el umbral abiótico y requerirán medidas físicas para el control de la erosión, la estabilización de materiales inestables, incorporación de materia orgánica al suelo, uso de mulch como cubierta protectora del suelo, etc. Una vez que el medio físico se encuentre estable y con la capacidad de recuperar la actividad biológica, entonces se debe iniciar el replantamiento vegetal.

7.3 OBJETIVOS DE LA RESTAURACIÓN

Existen varios objetivos generales que a nuestro juicio deben guiar los esfuerzos de restauración de los ecosistemas andinos de Santiago, aún cuando no todos ellos pueden ser abordados por los proyectos individualmente. El primer objetivo consiste en reducir las presiones antrópicas actuales sobre el sitio a recuperar. Esto es, reducir los riesgos de incendios, controlar la extracción de leña y sobrepastoreo. Lo anterior se requiere para garantizar que los esfuerzos directos de manipulación de la vegetación y del ambiente físico, que son intensivos en capital, no se pierdan y se mantengan en el tiempo. El logro de este objetivo será suficiente para recuperar los sitios con bajo nivel de degradación en los cuatro pisos altitudinales.

Un segundo objetivo consiste en establecer sitios de referencia contra los cuales se puedan evaluar los avances de la restauración en los distintos sitios. Lo anterior requerirá identificar sitios con bajo nivel de degradación, protegerlos y excluirlos de uso, y caracterizarlos en cuanto a composición, estructura y funcionamiento. En el escenario ideal estos sitios deben ser próximos al sitio a restaurar (locales). Acá nos referimos a parches de 1-10 ha que

sean permanentemente monitoreados. Alternativamente, teniendo en cuenta las posibles diferencias de vegetación y suelo, podría tener ventajas el seleccionar estos sitios de referencia dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) o de parques o santuarios privados. En la primera categoría, la Reserva Nacional Río Clarillo podría constituir una buena referencia global para los pisos de bosque esclerófilo y esclerófilo andino, mientras que el Monumento Natural El Morado podría serlo para los pisos de matorral andino Inferior y andino Superior. El Santuario El Arrayán o Yerba Loca podrían constituir referencias globales en los parques privados. El Estado de Chile podría considerar apropiado mantener y monitorear referencias globales con propósitos de restauración, registrando por ejemplo cambios de origen climático y no como producto de perturbaciones antrópicas.

El tercer objetivo es aplicar medidas físicas o vegetacionales cuando éstas sean requeridas. De lo presentado anteriormente, los sitios en categoría de baja degradación podrán ser recuperados con sólo aplicar medidas pasivas. Los sitios en categoría de

degradación media podrán ser recuperados combinando medidas de manejo de la vegetación y medidas pasivas de exclusión o control estricto de uso. Los sitios en categoría de degradación alta deberán utilizar medidas físicas de control de erosión, medidas vegetacionales y medidas pasivas de exclusión o control estricto de uso.

El cuarto objetivo general consiste en establecer un banco de germoplasma y plantas que oferte el ensamble de especies requeridos en cada piso altitudinal. Esta labor podría recaer fundamentalmente en la Corporación Nacional Forestal u otro organismo público. Eso sería mucho más eficiente que lo que ocurre hoy en día, donde cada proyecto de restauración establece una línea de producción de plantas, o peor aún, donde el ensamble de especies se ve dictado por la oferta de plantas por fuentes privadas o públicas. Una oferta diversa y común de plantas con fines de restauración, en forma centralizada, parece ser la mejor opción a nivel país.

El quinto objetivo general consiste en mejorar la conectividad biológica entre parches aislados mediante la restauración de sitios degradados intermedios. Lo anterior se requiere para que las comunidades vegetales actuales se mantengan en una condición de viabilidad y para permitir el intercambio genético entre

poblaciones. Para ello se requerirá establecer corredores biológicos que permitan flujos de materia, energía y germoplasma entre las comunidades actuales con bajo nivel de degradación. El establecimiento de plantaciones en grupos (clusters) con individuos provenientes de germoplasma local, permitirían que gradualmente se vayan expandiendo las comunidades, hasta lograr la conectividad completa del corredor. Finalmente, estas actividades requerirán del monitoreo permanente para evaluar el avance de los esfuerzos de restauración.

Independiente de estos objetivos generales comunes de restauración de los ecosistemas de montaña, debieran existir objetivos específicos a cada proyecto particular. Estos objetivos deberán ser definidos tempranamente en la elaboración del plan de restauración. Considerar que el objetivo es “Restaurar un ecosistema a su condición original” no es una buena elección puesto que será difícil su evaluación. Ejemplos de objetivos más fácilmente medibles son: (i) controlar estrictamente la herbivoría, (ii) excluir la contaminación de cursos de aguas por la liberación de residuos industriales, (iii) establecer un ensamble de especies en zonas riparianas, (iv) controlar la erosión mediante medidas físicas en sectores fuertemente degradados, (v) conectar mediante plantación en clusters comunidades aisladas, entre

otras. Estos objetivos son medibles porque se pueden seleccionar criterios o índices que den cuenta de su avance. Por ejemplo el indicador cobertura vegetal perenne puede dar cuenta del avance del objetivo específico “Aumentar la cobertura vegetal con un ensamble de especies perennes en sitios con nivel de degradación media”.

7.4 SISTEMA DE RESTAURACIÓN

El punto de partida para identificar un sistema adecuado de restauración en ecosistemas de montaña, comienza con la identificación del piso altitudinal (esclerófilo, esclerófilo andino, andino inferior, andino superior) y nivel de degradación (baja, media, alta) a la cual puede adscribirse el sitio a restaurar. Para identificar el piso altitudinal se requiere conocer la altitud y la composición de especies, particularmente aquellas que describen el piso. Esto es, especies esclerófilas y el espino para el bosque esclerófilo, *K. angustifolia* y *Guindilia trinervis* para el bosque esclerófilo andino, *Chuquiraga oppositifolia* y *Guindilia trinervis* para el matorral andino inferior y *Laretia acaulis* en el matorral andino superior. Para identificar el nivel de degradación proponemos usar el Modelo Hipotético de Degradación de Whisenant (1999) y toda la información que se entrega en esta publicación sobre variables de vegetación, suelo y procesos.

Se entiende por sistema de restauración al conjunto de intervenciones o medidas que ocurren a lo largo del desarrollo del proyecto. Estas intervenciones o medidas pueden ser pasivas, cuando pretenden excluir las causas de degradación, o activas,

cuando existe un aporte directo de trabajo, materiales, plantas y obras en el sitio a restaurar. La construcción de cercos para la exclusión de ganado es una medida pasiva que pretende excluir las causas de degradación por ramoneo del ganado. Otras medidas pasivas son la caza o uso de cebos para el control de roedores exóticos y lagomorfos, la prevención y el control de incendios, entre otras.

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

En los ecosistemas andinos de Santiago en general se requerirá establecer restauración pasiva independiente del nivel de degradación. Básicamente esto implicará la construcción de cercos, vigilancia y la prevención y control de incendios. Estas serán las únicas medidas requeridas en los sitios con bajo nivel de degradación independiente del piso altitudinal. En los sitios con nivel medio de degradación se requerirán medidas biológicas adicionalmente a las medidas pasivas de restauración. En los sitios con alto nivel de degradación se requerirán medidas físicas adicionalmente a las medidas biológicas y pasivas de restauración (Figura 12).

Las medidas biológicas involucran la plantación de un ensamble de especies, el cultivo del terreno, subsidios iniciales

de riego, aportes de materia orgánica y mulching, entre otras. Por ensamble de especies nos referimos al conjunto de especies vegetales a ser restauradas. En este caso el ensamble de especies se ve dictado por la caracterización de composición, estructura y procesos de los distintos estados de degradación y pisos altitudinales. Los ensambles iniciales corresponden a una simplificación de la composición donde se han seleccionado no más de 6 especies perennes (Cuadro 11).

El sistema de restauración propuesto no corresponde a lo que se esperaría de una plantación forestal tradicional en varios aspectos. Primero el sistema de restauración contempla una secuencia de actividades en el tiempo y no sólo la actividad inicial de plantación. Segundo,

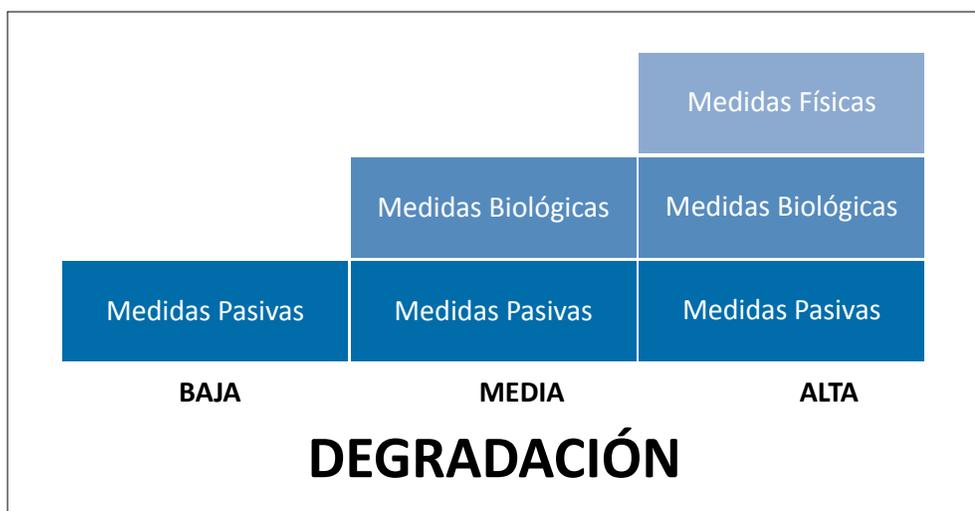


Figura 12. Niveles de degradación y tipo de medidas requeridas.

Cuadro 11. Ensamble simplificado de especies vegetales para ecosistemas andinos de Santiago.

Esclerófilo	Esclerófilo Andino	Andino Inferior	Andino Superior
<i>Quillaja saponaria</i>	<i>Kageneckia angustifolia</i>	<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Adesmia gracilis</i>
<i>Lithraea caustica</i>	<i>Guindilia trinervis</i>	<i>Mulinum spinosum</i>	<i>Senecio davilae</i>
<i>Kageneckia oblonga</i>	<i>Colliguaja integerrima</i>	<i>Tetraglochin alatum</i>	<i>Phacelia secunda</i>
<i>Colliguaja odorifera</i>	<i>Senecio eruciformis</i>	<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	<i>Senecio bustillosianus</i>
<i>Podanthus mitiqui</i>	<i>Azara serrata</i>		<i>Berberis empetrifolia</i>
<i>Acacia caven</i>			<i>Laretia acaulis</i>
			<i>Senecio francisci</i>

se utiliza el concepto de ensamble de especies, algunas de las cuales son arbóreas y otras arbustivas. Tercero, una plantación forestal tradicional se basa en espaciamientos regulares lo que facilita el control y los subsidios (fertilización y riego), pero que difiere de la forma como se establecen las plantas en un proyecto de restauración. En un proyecto de restauración los espaciamientos regulares son evitados porque atentan contra la naturalidad y la facilitación que algunas especies generan para el desarrollo de otras. De esta forma se aprovechan los árboles, arbustos y herbáceas perennes para proteger las plantas durante su establecimiento. Esto comúnmente se

denomina efecto nodriza. Además se aprovechan los micrositios formados por depresiones, acumulaciones de materia orgánica, y rocas, entre otras, para mejorar las chances de sobrevivencia de las plantas establecidas. Además, el movimiento de esquejes y plantas desde sectores de mayor abundancia dentro de la misma unidad a restaurar es permitido en la medida que los beneficios superen considerablemente a los daños provocados.

El sistema de restauración debe considerar el subsidio fundamentalmente en riego a un nivel mínimo. Lo anterior tiene varias implicancias, algunas de las cuales no son

tan obvias. Primero la plantación debe realizarse inmediatamente posterior a las primeras lluvias sustanciales del año (Mayo-Junio) en los pisos esclerófilo y esclerófilo andino, e inmediatamente posterior al deshielo en los pisos andino inferior y andino superior (Septiembre-Octubre). Plantaciones a fines de primavera y principios de verano tendrán un consumo y costo de riego excesivo e ineficiente por la demanda evaporativa, con resultados inciertos de sobrevivencia. Durante el verano las diferencias en temperatura del suelo y del aire en sectores con y sin cobertura son extremas. No fue poco común en este proyecto medir más de 50°C en suelo descubierta, comparado con 15-20°C bajo cobertura densa en días de verano. Lo anterior sustenta la necesidad de usar los micrositios con cobertura como primera prioridad de establecimiento y expansión de la cubierta vegetal.

Otro aspecto que sugiere el uso de nodrizas es el evento no poco común de encontrar clusters o grupos donde la regeneración emerge desde el interior. Por ejemplo, *Q. saponaria* emergiendo y sobrepasando un matorral maduro de *A. caven*. En general se requerirán plantas producidas en bolsas grandes de a lo menos 2 litros de volumen. Además, estas plantas debieran tener una mayor proporción de raíces que de hojas. En este sentido la fertilización de las plantas en vivero podría tener

un efecto negativo en la calidad de las plantas para efectos de la restauración al favorecer el desarrollo aéreo de las mismas.

El cultivo de casillas es una práctica común en el establecimiento de plantaciones esclerófilas en Chile Central. Los resultados en general han sido muy buenos, lo que sumado al uso de compost y riego ha mejorado sustancialmente la sobrevivencia y desarrollo de estas plantaciones. Sin embargo, en el caso de proyectos de restauración tales prácticas podrían ser prohibitivamente costosas o técnicamente imposibles.

Por todo lo anterior, se propone la técnica de plantación en grupos (clusters) para llevar a cabo la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago. Esta técnica permite aprovechar de mejor manera los micrositios favorables generados por la heterogeneidad de la topografía del sector, incrementando las posibilidades de sobrevivencia de la plantación. La cantidad de micrositios favorables se pueden incrementar mediante pequeñas terrazas y labores en el suelo, para favorecer la captura de agua.

La **Figura 13** muestra la secuencia hipotética de A a D del establecimiento de grupos de regeneración que progresivamente van avanzando en la ocupación del paisaje. El horizonte

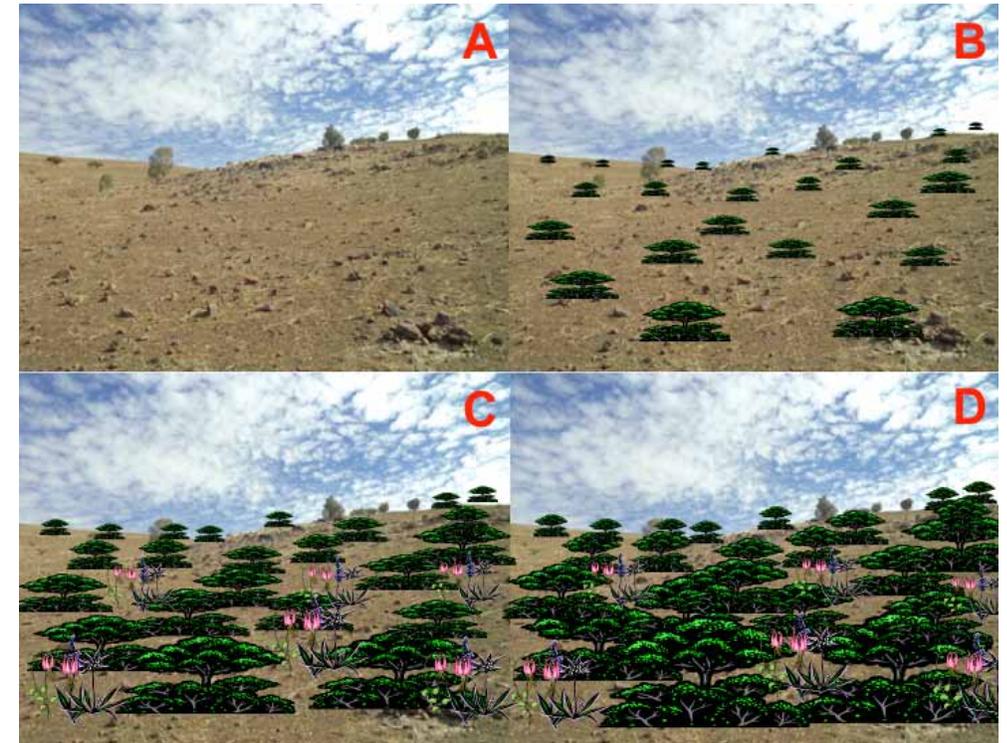


Figura 13. Esquema del establecimiento de clusters de plantación.

de tiempo para lograr D seguramente está en el orden de 50-100 años en los sectores fuertemente degradados en todos los pisos. Mediante esta técnica se pueden establecer grupos de 10 a 50 plantas considerando todo el ensamble de especies perennes en círculos de 20 a 100 m². En algunos casos, las áreas recuperadas debieran ser cercadas para evitar la influencia del ganado doméstico. Además, las plantas dependiendo de los riesgos deberán ser protegidas individualmente (ejemplo con tubos protectores o repelentes),

para evitar los posibles daños causados por lagomorfos y extremos en temperatura.

Resulta tremendamente importante considerar protocolos de monitoreo en todas las acciones de restauración. Esto es establecer algunos indicadores de desempeño que sean monitoreados permanentemente, con lo cual se permitiría -utilizando un enfoque de manejo adaptativo-, reestudiar, por ejemplo, el tipo de plantas a utilizar para lograr una mayor sobrevivencia

y crecimiento. Igualmente, es recomendable establecer algunas parcelas permanentes, debidamente marcadas y monitorearlas periódicamente, particularmente en el período seco, siendo los factores críticos a evaluar la sobrevivencia de las plantas y el efecto de agentes de daño.

7.5 PLAN DE RESTAURACIÓN

Un plan de restauración es un documento que describe la situación actual del sitio a restaurar, la visión de cómo será el sitio restaurado, los objetivos y metas que se pretenden ir logrando para materializar la visión, y los protocolos de monitoreo y evaluación que permitirán seguir avanzando hacia la visión objetivo del sitio a restaurar. Los planes serán requeridos, porque son el respaldo técnico y económico a la propuesta de restauración. Además este documento permite que el proyecto sea independiente de las personas. Nuevos directores podrán saber qué se ha hecho y qué es lo que se debe hacer en el futuro mediano. Dado que un proyecto de restauración en ecosistemas de montaña llevará varias décadas, se debiera actualizar el plan cada 5 años de manera de incorporar el nuevo conocimiento adquirido, redirigir aquellas actividades que hayan fracasado y potenciar aquellas experiencias exitosas. El lenguaje del plan debe ser sencillo y directo y hacer uso extensivo de elementos visuales (e.g., figuras, cuadros, mapas, diagramas de flujo, etc.) que permitan su mejor comprensión.

Un plan de restauración debiera contemplar cuatro grandes etapas (**Figura 14**). Por simplicidad

identificamos estas cuatro etapas con la sigla ASPE: (A) Análisis, (S) Síntesis, (P) Programa de Actividades y (E) Evaluación Económica. En general, análisis se define como el procedimiento de separar un todo o sistema en partes o componentes; mientras que la síntesis corresponde al procedimiento opuesto que es combinar elementos separados de manera de formar un todo coherente (Ritchey 1991). Así la etapa de análisis (A) contempla una descripción del contexto legal e institucional, una descripción del contexto ecológico y una descripción del contexto socioeconómico del sitio a restaurar. La etapa de síntesis (S) integra estos componentes y establece la estrategia a utilizar para restaurar el sitio de estudio. Por estrategia nos referimos a los grandes lineamientos que deben guiar la restauración, a la visión del sitio restaurado, al ecosistema de referencia, a los objetivos y a las metas que se persiguen. El horizonte de planificación de dicha estrategia involucrará varias décadas y no debiera (aunque podría) cambiar sustancialmente durante este tiempo.

La siguiente etapa corresponde al programa (P) de actividades (**Figura 14**). El programa de actividades corresponde a la secuencia de actividades o

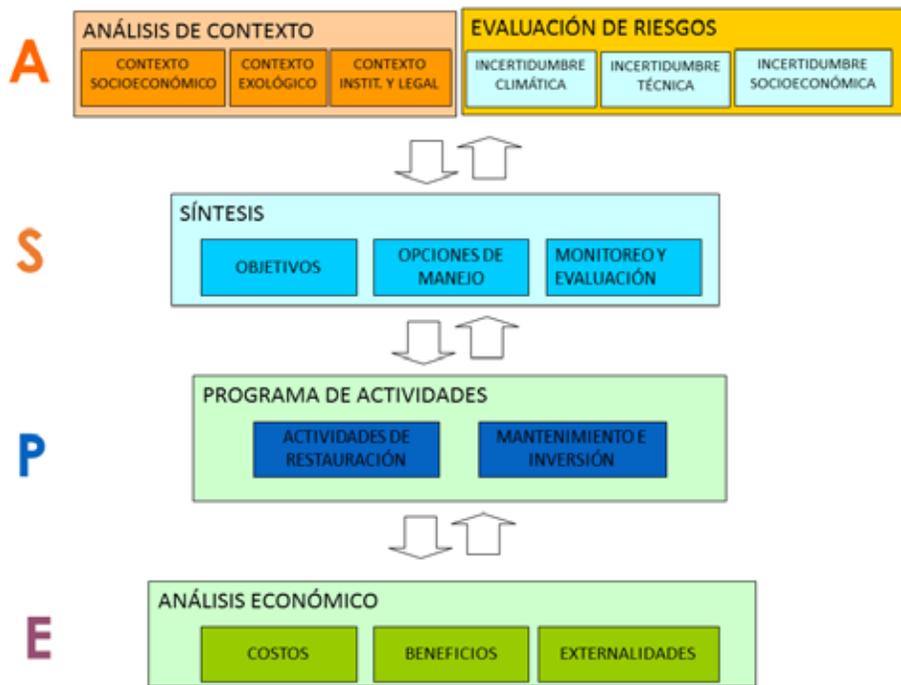


Figura 14. Esquema propuesto para la elaboración de planes de restauración en ecosistemas de montaña. Diagrama basado en esquema de ordenación de bosques de la Oficina Nacional de Bosques de Francia y diagramas de Whisenant (1999).

intervenciones que ocurren espacial y temporalmente pero para un periodo relativamente pequeño (e.g., 5 años) comparado con el horizonte total de tiempo que requerirá el proceso de restauración (50-100 años). La idea es elaborar planes de restauración que tengan horizontes móviles de planificación. Esto es, por ejemplo, considerar que se actualizarán los planes de restauración cada 5 años, revisando la estrategia, y programando las actividades para el siguiente periodo. Así un proyecto de restauración de 50 años podría dividirse en 10 etapas

consecutivas de 5 años, cada una de las cuales posee un plan que se actualiza en forma secuencial. El conocimiento adquirido en cada etapa se utiliza para retroalimentar la elaboración del siguiente plan, los aspectos positivos se refuerzan, mientras que los aspectos negativos se minimizan. La planificación secuencial permite llevar a cabo manejo adaptativo. Manejo adaptativo es una estrategia que permite lidiar con la incertidumbre de los resultados que producirán las actividades de restauración. En cierta forma consiste en reconocer que no sabemos

exactamente cómo funcionan ni cómo se pueden recuperar los ecosistemas de montaña. Así el conocimiento adquirido retroalimenta los planes futuros.

El programa (P) de actividades (**Figura 14**), pretende responder el cómo, el cuándo y el dónde ocurren las intervenciones. La visión más sencilla de dicho programa se representa mediante mapas que indican dónde, con qué extensión y cuándo ocurren las intervenciones. La representación del programa de actividades mediante mapas es probablemente la mejor forma de visualizar las intervenciones en el tiempo y en el espacio. Además de las actividades directas de restauración (e.g., plantación, construcción de obras físicas, laboreo del suelo, mulching) se consideran actividades de mantenimiento de la obra física como diques, empalizadas, zanjas de infiltración, de las plantaciones como también de los caminos que acceden al sitio de restauración. Además pueden existir actividades de inversión como por ejemplo en caminos, estaciones meteorológicas, guarderías, entre otras, que también deben ser consideradas en el programa de actividades.

La etapa de evaluación económica (E) corresponde a la última etapa del plan de restauración (**Figura 14**). Considera los costos, los beneficios y las externalidades del plan de restauración para el periodo aplicado al programa de actividades de restauración (e.g.,

5 años). Los costos son el resultado directo en materiales, mano de obra, maquinaria, plantas e insumos, entre otros. Los beneficios serán aquellos que el proyecto genera al compararlo con el escenario base (i.e. no hacer nada). Costanza et al. (1987) clasifica funciones y servicios ecosistémicos de distintos biomas, los cuales son fácilmente aplicables a los ecosistemas andinos de Santiago (**Cuadro 12**). Costanza et al. (1987) identifica 17 servicios ecosistémicos: regulación de gases, regulación del clima, regulación de perturbaciones, regulación de caudales, oferta de agua, control de la erosión y retención de sedimentos, formación de suelos, ciclaje de nutrientes, tratamiento de residuos, polinización, control biológico, hábitat, producción de alimentos, producción de materias primas, mantenimiento de recursos genéticos, recreación y aspectos culturales. Todos estos servicios pueden y deben ser relevados como beneficios de restaurar ecosistemas de montaña. Las externalidades se refieren a resultados positivos o negativos que genera un proyecto de restauración sobre terceros. Por ejemplo cuando se disminuye la cantidad de sedimentos aguas abajo aumentando la vida útil de tranques de riego. En general queremos destacar las externalidades positivas que pueden tener los proyectos de restauración, aunque podrían existir algunas externalidades negativas como la prohibición de la entrada de visitantes al área a restaurar.

Cuadro 12. Funciones y servicios ecosistémicos generados en proyectos de restauración.

#	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	FUNCIONES ECOSISTÉMICAS	EJEMPLOS
1	regulación de gases	Regulación de la composición química atmosférica	Balance CO ₂ /O ₂ , O ₃ para protección UV, y control de niveles de SOx
2	regulación del clima	Regulación de la temperatura global, precipitación y otros procesos climáticos mediados por aspectos biológicos al nivel local o global	Regulación de gases de efecto invernadero
3	regulación de perturbaciones	Capacitancia, damping e integridad de la respuesta ecosistémica a fluctuaciones ambientales	Protección contra tormentas, control de flujos, recuperación posterior a sequías
4	regulación de caudales	Regulación de flujos hidrológicos	Cambio en la proporción de infiltración versus escurrimiento superficial
5	oferta de agua	Almacenamiento y retención de agua	Provisión de agua con fines agrícolas o industriales
6	control de la erosión y retención de sedimentos	Retención de los suelos en el ecosistema	Prevención de pérdida de suelo por viento, escorrentía, o otros procesos de remoción, prevención de la sedimentación de lagos, tranques y humedales
7	formación de suelos	Procesos de formación suelos	Acumulación de materia orgánica y disgregación de material parental
8	ciclaje de nutrientes	Almacenamiento, ciclaje interno, transformación y adquisición de nutrientes	Fijación de Nitrógeno, ciclos de nutrientes fundamentalmente N and P

#	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	FUNCIONES ECOSISTÉMICAS	EJEMPLOS
9	tratamiento de residuos	Recuperación de nutrientes móviles y remoción o transformación de compuestos dañinos	Tratamiento de residuos, control de polución, detoxificación
10	polinización	Movimiento de gametos florales	Provisión de polinizadores para la reproducción de poblaciones de plantas
11	control biológico	Regulación trófica de poblaciones	Control biológico de especies exóticas
12	hábitat	Hábitat para poblaciones residentes o transientes	Hábitat para especies migratorias, hábitat para especies en peligro de conservación
13	producción de alimentos	Aquella porción de la productividad primaria bruta que se extrae como alimentos	Pesca, caza, cultivos, frutos
14	producción de materias primas	Aquella porción de la productividad primaria bruta que se extrae como materias primas	madera, leña o forraje
15	mantención de recursos genéticos	Fuentes de materiales y productos biológicos únicos	Plantas medicinales, productos para la ciencia de materiales, genes para la resistencia a plagas y enfermedades, especies ornamentales
16	recreación	Proveyendo oportunidades para actividades recreacionales	Eco-turismo, pesca deportiva, y otras actividades al aire libre
17	aspectos Culturales	Proveyendo oportunidades para usos no-comerciales	Valores estéticos, artísticos, educacionales, espirituales y científicos de los ecosistemas

Fuente: Costanza et al. (1987).

7.6 COSTOS POTENCIALES

De acuerdo al esquema general presentado en la **Figura 15**, es posible identificar tres grandes componentes de costos: maquinaria, mano de obra y materiales e insumos. La maquinaria se utiliza en forma rutinaria en labores de restauración, por ejemplo en la preparación de suelos haciendo hoyos de plantación, surcos, subsolados y repersfilamiento del terreno, entre otros. La maquinaria también se utiliza en el transporte de personal, herramientas, plantas, materiales e insumos.

Las necesidades de mano de obra se materializan en la producción de plantas y en el establecimiento de las plantas en terreno. También en la construcción de obra física e.g. diques de contención, empalizadas y zanjas de infiltración, entre otras. Este componente puede influir fuertemente la estructura de costos de la recuperación, especialmente en aquellos casos en que las condiciones del terreno disminuyen fuertemente los rendimientos de la faena de plantación. Los costos de los materiales e insumos tienen una fuerte influencia sobre los costos de restauración, especialmente por los requerimientos de establecer rápidamente cobertura vegetal en el terreno, lo que se traduce en la utilización de una gran cantidad de

plantas por unidad de superficie. Entre los materiales e insumos requeridos para llevar a cabo la restauración se encuentran las plantas, el compost, los contenedores, los fertilizantes y las herramientas.

Una vez conocidos los costos unitarios de maquinaria, mano de obra y materiales e insumos, se deben conocer los rendimientos de las actividades de restauración para inferir los costos totales del proyecto. Los rendimientos corresponden al grado de avance de la maquinaria y/o mano de obra por unidad de tiempo. Por ejemplo, los rendimientos operacionales obtenidos en la plantación de árboles y arbustos pueden oscilar entre 100-300 plantas por jornada-persona.

La agregación de los costos de maquinaria, mano de obra y materiales permite obtener el costo total de las actividades de restauración. Estos costos pueden ser expresados en forma global o por unidad de obra. Las unidades de obra corresponden a todos aquellos trabajos susceptibles de medición y valoración, como por ejemplo una hectárea de terreno nivelado o una hectárea de terreno cercado.

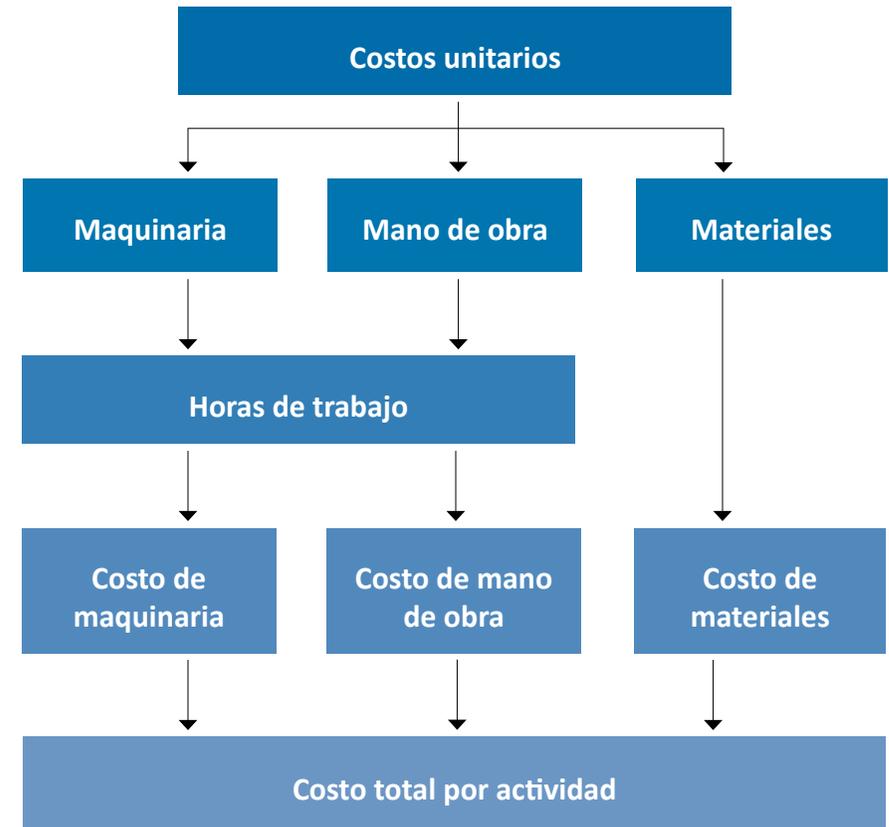


Figura 15. Componentes de costos de las actividades de restauración ambiental.

Para efectos de valorar los costos potenciales de restauración para distintos pisos altitudinales y niveles de degradación para ecosistemas de montaña de Santiago se asumieron valores razonables basados en distintas fuentes, i.e. Convenio CONAF-CODELCO durante el año 2008 y valores informales provenientes de empresas mineras y forestales. Si bien estos valores son hipotéticos, dado que no existe en la práctica el sistema propuesto,

creemos pueden ser considerados una referencia del valor real que involucrará un proyecto de restauración. En general estos valores serán muy superiores a los normalmente considerados como costos de forestación publicados por CONAF, y que en la Región Metropolitana de Santiago alcanzan un máximo valor de alrededor de 25 UF por hectárea. Las razones para ello son principalmente que se requiere un ensamble de especies no necesariamente arbóreas

arbóreas, considerando por ejemplo 5000 plantas por hectárea, un horizonte para el programa de actividades de 5 años, actividades de construcción de cercos, patrullaje, control de incendios, monitoreo y evaluación y construcción de obra física en aquellos casos en que se requiera, i.e. niveles de degradación 3 y 4.

Los costos potenciales de restauración oscilan entre 27 y 892 UF por ha. Los costos crecen exponencialmente en la medida que aumenta el nivel de degradación en el sitio a restaurar. Además los costos aumentan a medida que aumenta la altitud debido a los menores rendimientos y mayores costos operacionales (**Figura 16**).

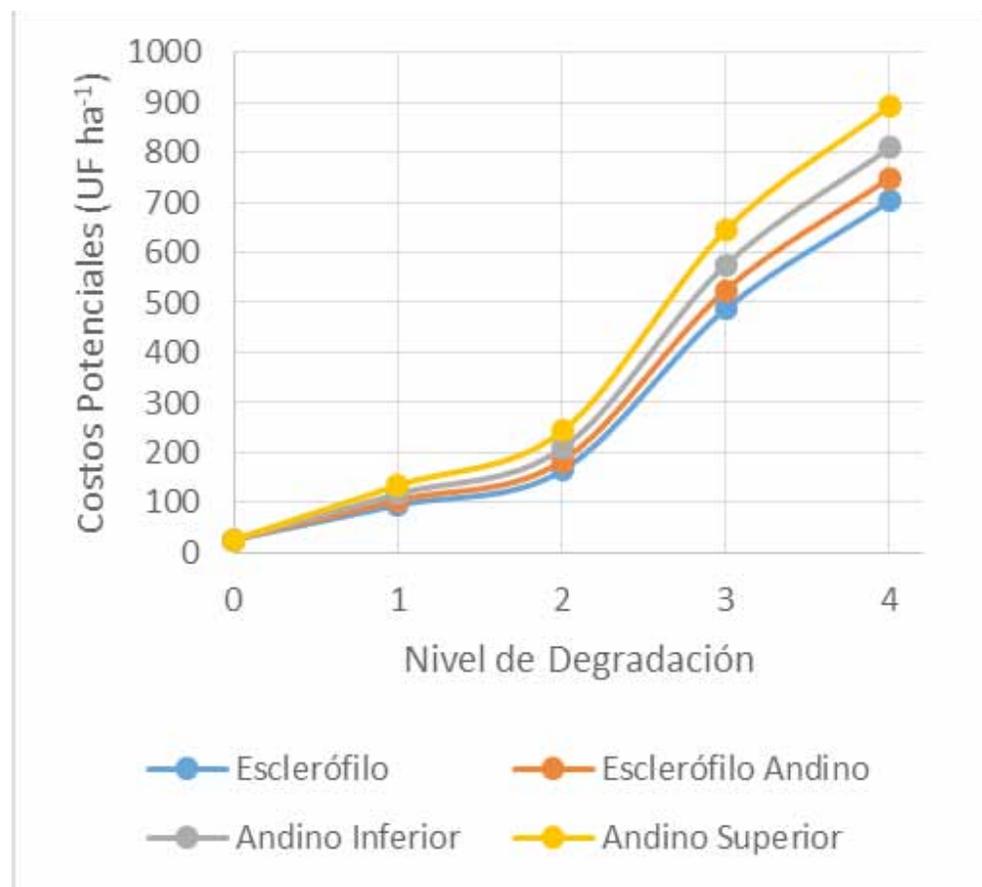


Figura 16. Costos de restauración en distintos pisos altitudinales y niveles de degradación en ecosistemas de montaña en Santiago.

En el **Cuadro 13** se entregan los costos potenciales proyectados a nivel operacional para el modelo de restauración propuesto. Tanto los costos como rendimientos se establecen a un nivel típico, bajo y alto. El nivel bajo corresponde a situaciones en que los costos se pueden reducir, como por

ejemplo en sectores muy cercanos a caminos (<200 m) y con pendientes bajas (<20%), mientras que costos altos serían situaciones de mayor distancia a caminos (>500 m) y pendientes altas (>40°). Se asumió que los costos altos serían un 25% superior a los típicos y los bajos un 25% inferior a los típicos.

Cuadro 13. Costos totales (UF/ha) de las medidas requeridas en un proyecto de restauración en distintos pisos altitudinales y niveles de degradación en sectores cordilleranos de Santiago.

ESCLERÓFILO - ESTADO DE DEGRADACIÓN						
	0	1	2	3	4	
MEDIDAS PASIVAS						
1. Cercos	4	4	4	4	4	
2. Seguridad	6	6	6	6	6	
3. Control de Incendio	2	2	2	2	2	
MEDIDAS ACTIVAS						
<i>Biológicas</i>						
4. Preparación del sitio	0	1.25	2.5	5	6	
5. Plantación año 1	0	18.75	37.5	75	90	
6. Plantación año 2	0	11.25	22.5	45	54	
7. Plantación año 3	0	7.5	15	30	36	
8. Riego	0	30	60	120	120	
<i>Físicas</i>						
9. Reperfilamiento	0	0	0	10	20	
10. Empalizadas	0	0	0	100	200	
11. Diques de contención	0	0	0	75	150	
Monitoreo y Control	15	15	15	15	15	
Costos (UF/ha)	27	96	165	487	703	Típico
	20	72	123	365	527	Bajo
	34	120	206	609	879	Alto

ESCLERÓFILO ANDINO - ESTADO DE DEGRADACIÓN						
	0	1	2	3	4	
MEDIDAS PASIVAS						
1. Cercos	4	4	4	4	4	
2. Seguridad	6	6	6	6	6	
3. Control de Incendio	2	2	2	2	2	
MEDIDAS ACTIVAS						
Biológicas						
4. Preparación de sitio	0	1.9	3.8	7.5	9.0	
5. Plantación año 1	0	23.2	46.4	92.9	111.4	
6. Plantación año 2	0	13.9	27.9	55.7	66.9	
7. Plantación año 3	0	9.3	18.6	37.1	44.6	
8. Riego	0	30	60	120	120	
Físicas						
9. Reperfilamiento	0	0	0	10	20	
10. Empalizadas	0	0	0	100	200	
11. Diques de contención	0	0	0	75	150	
Monitoreo y Control	15	15	15	15	15	
Costos (UF/ha)	27	105	184	525	749	Típico
	20	79	138	394	562	Bajo
	34	132	230	657	936	Alto

ANDINO INFERIOR - ESTADO DE DEGRADACIÓN						
	0	1	2	3	4	
MEDIDAS PASIVAS						
1. Cercos	4	4	4	4	4	
2. Seguridad	6	6	6	6	6	
3. Control de Incendio	2	2	2	2	2	
MEDIDAS ACTIVAS						
Biológicas						
4. Preparación del sitio	0	2.5	5.0	10.0	12.0	
5. Plantación año 1	0	29.2	58.3	116.7	140.0	
6. Plantación año 2	0	17.5	35.0	70.0	84.0	
7. Plantación año 3	0	11.7	23.3	46.7	56.0	
8. Riego	0	30	60	120	120	
Físicas						
9. Reperfilamiento	0	0	0	10	20	
10. Empalizadas	0	0	0	100	200	
11. Diques de contención	0	0	0	75	150	
Monitoreo y Control	15	15	15	15	15	
Costos (UF/ha)	27	118	209	575	809	Típico
	20	88	157	432	607	Bajo
	34	147	261	719	1011	Alto

ANDINO SUPERIOR - ESTADO DE DEGRADACIÓN						
	0	1	2	3	4	
MEDIDAS PASIVAS						
1. Cercos	4	4	4	4	4	
2. Seguridad	6	6	6	6	6	
3. Control de Incendio	2	2	2	2	2	
MEDIDAS ACTIVAS						
Biológicas						
4. Preparación de sitio	0	3.1	6.3	12.5	15.0	
5. Plantación año 1	0	37.5	75.0	150.0	180.0	
6. Plantación año 2	0	22.5	45.0	90.0	108.0	
7. Plantación año 3	0	15.0	30.0	60.0	72.0	
8. Riego	0	30	60	120	120	
Físicas						
9. Reperfilamiento	0	0	0	10	20	
10. Empalizadas	0	0	0	100	200	
11. Dique de contención	0	0	0	75	150	
Monitoreo y Control	15	15	15	15	15	
Costos (UF/ha)	27	135	243	645	892	Típico
	20	101	182	483	669	Bajo
	34	169	304	806	1115	Alto

De lo anterior se desprende que los costos potenciales de proyectos de restauración, al menos durante los primeros 5 años (**Cuadro 13**), son altos y difieren fuertemente de los costos de forestación tradicionales. Por otro lado, los sectores con degradación leve pueden ser fácilmente recuperados mediante medidas pasivas a un bajo costo (27 UF/ha) mientras que el costo de restaurar sectores fuertemente degradados puede ser 30 veces superior (892 UF/ha), dado que se requiere implementar medidas pasivas, medidas biológicas y construcción de obra física. Es interesante destacar también que los costos aumentarían con la altitud. Esto puede parecer contrario a la lógica dado que la cobertura y altura de la vegetación disminuye con la altitud. Sin embargo claramente a mayor altitud existen mayores complicaciones operacionales, menos accesibilidad, condiciones de mayor peligro, menores rendimientos, y mayores dificultades para el establecimiento de la vegetación.

7.7 MEMORIA DE CÁLCULO

A. Medidas pasivas

1. Construcción de cercos:

Se asume que el sitio a restaurar posee una superficie de 100 ha, con un perímetro de 4 km. El costo unitario de construcción de cercos se estima en 100 UF km⁻¹. En este caso el costo de construcción de cercos es de 4 UF ha⁻¹.

2. Seguridad:

Se asume un patrullaje mensual con control de ganado, visita a vecinos y reporte de anomalías. El costo unitario por visita es de 10 UF. Considerando un periodo de 5 años que abarca el primer plan de restauración, implicaría 60 visitas y 600 UF para las 100 hectáreas, o 6 UF ha⁻¹.

3. Control de Incendios:

Se asume el control de un evento de incendios a lo largo de 5 años con un costo de 200 UF, o 2 UF ha⁻¹.

B. Medidas activas

1. Preparación del sitio:

Esto se refiere a la preparación mecánica del sitio a plantar utilizando retroexcavadora y en algunos casos buldócer. La cantidad de horas requeridas depende del piso altitudinal y del nivel de degradación (**Cuadro 14**). Se requerirá un mayor número de horas en la medida que aumenta la altitud y en la medida que los sitios se encuentran más degradados. La cantidad de horas aumenta con la altitud debido a una menor accesibilidad y condiciones más difíciles de terreno. La cantidad

Cuadro 14. Horas requeridas para la preparación mecánica del sitio a restaurar.

HORAS por ha	ESTADO DE DEGRADACIÓN				
	0	1	2	3	4
Esclerófilo	0	0,5	1	2	2,4
Esclerófilo Andino	0	0,75	1,5	3	3,6
Andino Inferior	0	1	2	4	4,8
Andino Superior	0	1,25	2,5	5	6

de horas aumenta con el nivel de degradación, debido a que se debe preparar una mayor proporción de superficie descubierta y generalmente presentarán mayor pedregosidad y mayor densidad aparente lo que dificulta el trabajo de la maquinaria. En los niveles de degradación con muy baja cobertura (niveles 3 y 4) la maquinaria debiera preparar 100 clusters de plantación por hectárea. Cada cluster de plantación debiera tener un radio de 4 m, lo que equivale a 50 m² o 1 m² por planta. El costo unitario de la retroexcavadora es de 2.5 UF hora⁻¹.

2. Plantación:

Se asume que todas las plantaciones independiente del piso altitudinal se realizan en clusters sin arreglo espacial regular. La densidad considerando el ensamble de especies es de 5000 plantas por hectárea. De estas, 1000 plantas corresponden a especies arbóreas en los pisos esclerófilo y esclerófilo andino. Lo anterior corresponde a 100

clusters de 50 plantas. El espaciamiento de referencia entre clusters es de 10x10 m, entendiéndose que no se usarán espaciamentos regulares. Se asume que el costo de producción de plantas en vivero es de 0,02 UF planta⁻¹, o 100 UF por hectárea. La plantación se realiza en 3 años consecutivos en cuotas de 2500, 1500 y 1000 plantas ha⁻¹. Los costos de plantación aumentan con la altitud debido a la mayor dificultad y nivel de degradación debido a la mayor proporción de suelo descubierta (**Cuadro 15**). También los costos operacionales son mayores a mayor altitud, i.e. mayor inversión en implementos de seguridad, campamentos, transporte, comida, etc.

3. Riego:

Se considera la aplicación de riego 6 meses por año, de Octubre a Marzo por dos años. Lo anterior corresponde a 12 aplicaciones valoradas a 10 UF o 120 UF por hectárea para regar los 100 clusters de 50 plantas cada uno.

Cuadro 15. Costos potenciales totales de plantación por piso vegetacional.

HORAS por ha	ESTADO DE DEGRADACIÓN				
	0	1	2	3	4
Esclerófilo	0	37,5	75,0	150,0	180,0
Esclerófilo Andino	0	46,4	92,9	185,7	222,9
Andino Inferior	0	58,3	116,7	233,3	280,0
Andino Superior	0	75,0	150,0	300,0	360,0

4. Construcción de obra física:

Estas actividades solo se consideran para los niveles de degradación 3 y 4. Para los efectos de los cálculos de costos potenciales hemos considerado tres actividades: reperfilamiento del terreno, construcción de empalizadas y diques de contención. En estos casos asumimos el uso de buldócer o retroexcavadora para construir microterrazas, surcos, camellones y zanjas de infiltración y reperfilamos aquellos sectores que se consideren críticos. Hemos considerado 4 y 8 horas de maquinaria por hectárea para los niveles de degradación 3 y 4, valorados a 2,5 UF por hora para efectos del reperfilamiento del terreno. También hemos considerado la construcción de empalizadas de 40 cm de altura, valoradas a 0,4 UF por metro lineal, considerando 250 y 500 m lineales para los estados de degradación 3 y 4, respectivamente. Finalmente hemos considerado la construcción de 30 y 60 diques de contención por hectárea valorados a 2,5 UF cada uno, para los estados de degradación 3 y 4.

5. Monitoreo y Control:

Se consideró un costo de monitoreo y control de 3 UF por hectárea y por año, lo cual acumulado por un periodo de duración del primer plan de restauración (5 años), contabiliza 15 UF ha-1.

BIBLIOGRAFÍA



6. BIBLIOGRAFÍA

Blackburn TM, Pyšek P, Bacher S, Carlton JT, Duncan RP, Jarošík V, Wilson JRU, Richardson DM. 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & the Environment* 26: 333-339.

Cavieres LA, Peñaloza A, Arroyo MK. 2000. Altitudinal vegetation belts in the high-Andes of central Chile (33°S). *Revista Chilena de Historia Natural* 73:331-344.

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

Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin R, Sutton P y van den Belt M. 1987. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

Fredericksen N, Pérez J y Contreras X (Eds.). 2011. Manual de buenas prácticas para uso sustentable de ecosistemas de montaña. Universidad de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero y Chilesustentable. Santiago, Chile. 122 p.

Hoffmann A, Kalin M, Liberona F, Muñoz M y Watson J. 1998. Plantas altoandinas en la flora silvestre de Chile, Ediciones Fundación Claudio Gay, Santiago, Chile.

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

Kottak P. 2002. Antropología Cultural, novena edición. McGraw Hill. Madrid, España. 418 p.

Ritchey T. 1991. Analysis and synthesis. *Systems Research* 8: 21-41.

Rodrigo P, Pérez J, Contreras X, de la Fuente A y Villaroel C (Eds.). 2010. Santiago Andino. La mayor reserva natural de agua de la Región Metropolitana. Universidad de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero y Chilesustentable. Santiago, Chile. 67 p.

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

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Teillier S, Estades E, Fredericksen N, Romero F, Uribe S, Contreras A y Thomson R. Comuna de San José de Maipo: territorio de montañas. pp. 18-36. In: Fredericksen N, Pérez J y Contreras X (Eds.). 2011. Manual de buenas prácticas para uso sustentable de ecosistemas de montaña. Universidad de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero y Chilesustentable. Santiago, Chile. 122 p.

Universidad de Chile, Gobierno Regional Metropolitano de Santiago de Chile, GTZ (Cooperación Técnica Alemana). 2005. Proyecto OTAS. Bases para el ordenamiento territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana de Santiago. Informe Final. 127 p.

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

ANEXOS



1. ANEXO: LISTADO FLORÍSTICO DE LOS SITIOS DE ESTUDIOS MUESTREADOS.

A continuación se entregan los listados florísticos con las especies que se encontraron dentro de las parcelas de muestreo. Se indica su presencia en los dos valles estudiados. Baja, media y alta se refiere a los tres estados de degradación

PISO ESCLERÓFILO				Maipo			Mapocho		
Especie	Forma de vida	Origen	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	
<i>Acacia caven</i>	arbóreo	nativa		x	x			x	
<i>Adesmia arborea</i>	arbustivo	endémica	x						
<i>Adiantum sulphureum</i>	herbáceo perenne	endémica	x						
<i>Aira sp.</i>	herbáceo anual	exótica				x		x	
<i>Anthemis cotula</i>	herbáceo anual	exótica			x				
<i>Astragalus germainii</i>	herbáceo perenne	endémica	x						
<i>Azara dentada</i>	arbóreo	endémica			x			x	
<i>Baccharis paniculata</i>	arbustivo	endémica		x	x				
<i>Blechnum hastatum</i>	herbáceo perenne	nativa	x						
<i>Brassica campestris</i>	herbáceo anual	exótica			x				
<i>Bromus berteroi</i>	herbáceo anual	nativa		x	x				
<i>Calandrinia graminifolia</i>	herbáceo perenne	endémica		x	x				
<i>Centaurea solstitialis</i>	herbáceo anual	exótica	x	x	x				
<i>Cestrum parqui</i>	arbustivo	nativa			x				
<i>Chenopodium murale</i>	herbáceo anual	exótica			x				
<i>Cistanthe picta</i>	herbáceo perenne	endémica			x				
<i>Colletia hystrix</i>	arbustivo	endémica	x						
<i>Colliguaja odorifera</i>	arbustivo	endémica	x	x	x	x	x	x	
<i>Cristaria dissecta</i>	herbáceo anual	endémica	x	x	x				
<i>Cryptantha glomerata</i>	herbáceo anual	endémica			x				
<i>Dioscorea humifusa</i>	herbáceo anual	endémica	x	x	x				
<i>Echinopsis chiloensis</i>	arbustivo	endémica				x			

PISO ESCLERÓFILO				Maipo			Mapocho		
Especie	Forma de vida	Origen	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	
<i>Erodium cicutarium</i>	herbáceo	exótica	x	x	x				
<i>Euphorbia klotzschii</i>	herbáceo perenne	exótica			x				
<i>Galium aparine</i>	herbáceo anual	exótica	x						
<i>Gamochaeta villarroelii</i>	herbáceo perenne	endémica	x	x					
<i>Helenium aromaticum</i>	herbáceo anual	nativa	x	x	x			x	
<i>Homalocarpus dichotomus</i>	herbáceo anual	endémica			x				
<i>Hordeum murinum</i>	herbáceo anual	exótica	x	x	x				
<i>Hypochoeris berterii</i>	herbáceo perenne	endémica			x				
<i>Kageneckia oblonga</i>	arbóreo	endémica	x	x		x		x	
<i>Lactuca virosa</i>	herbáceo anual	exótica	x	x	x				
<i>Lithraea caustica</i>	arbóreo	endémica	x	x	x			x	
<i>Loasa triloba</i>	herbáceo anual	endémica	x						
<i>Lycium chilense</i>	arbustivo	endémica			x				
<i>Madia chilensis</i>	herbáceo anual	endémica			x				
<i>Madia sativa</i>	herbáceo anual	nativa	x	x					
<i>Malesherbia humilis</i>	herbáceo anual	nativa	x	x	x				
<i>Melica violacea</i>	herbáceo perenne	endémica	x						
<i>Nassella chilensis</i>	herbáceo perenne	endémica	x	x	x				
<i>Oxalis micrantha</i>	herbáceo anual	nativa			x				
<i>Parietaria debilis</i>	herbáceo anual	cosmopolita	x	x	x				
<i>Pectocarya linearis</i>	herbáceo anual	exótica			x				
<i>Phacelia brachyantha</i>	herbáceo perenne	nativa	x	x					

PISO ESCLERÓFILO				Maipo			Mapocho		
Especie	Forma de vida	Origen	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	
<i>Plantago firma</i>	herbáceo anual	endémica			x				
<i>Podanthus mitiqui</i>	arbustivo	endémica	x						
<i>Porlieria chilensis</i>	arbustivo	endémica	x					x	
<i>Proustia cuneifolia</i>	arbustivo	nativa	x			x		x	
<i>Proustia ilicifolia</i>	arbustivo	endémica	x						
<i>Puya berteroniana</i>	herbáceo perenne	endémica	x						
<i>Quillaja saponaria</i>	arbóreo	endémica			x	x			
<i>Sisyrinchium striatum</i>	herbáceo perenne	nativa	x						
<i>Torilis nodosa</i>	herbáceo anual	exótica	x	x	x				
<i>Trevoa quinquerivra</i>	arbustivo	endémica			x				
<i>Trichocereus chiloensis</i>	arbustivo	endémica	x	x	x				
<i>Vulpia myuros</i>	herbáceo anual	exótica	x	x	x				

PISO ESCLERÓFILO ANDINO			Maipo			Mapocho		
Especie	Forma de vida	Origen	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
<i>Acaena pinnatifida</i>	herbáceo perenne	endémica		X			X	X
<i>Adesmia capitellata</i>	herbáceo anual	endémica		X	X			
<i>Astroemeria angustifolia</i>	herbáceo perenne	endémica				X		
<i>Amsinckia calycina</i>	herbáceo anual	nativa	X					
<i>Avena barbata</i>	herbáceo anual	exótica					X	
<i>Azara serrata</i>	arbustivo	endémico				X		
<i>Bromus berteroaanus</i>	herbáceo anual	nativa			X			
<i>Carex setifolia</i>	herbáceo perenne	nativa			X			
<i>Centaurea melitensis</i>	herbáceo anual	exótica	X	X	X	X	X	X
<i>Chaetanthera microphylla</i>	herbáceo anual	endémica					X	
<i>Colliguaja intergerrima</i>	arbustivo	endémica	X					
<i>Conium maculatum</i>	herbáceo anual	exótica				X		
<i>Convolvulus arvensis</i>	herbáceo perenne	exótica		X	X			
<i>Echium vulgare</i>	herbáceo anual	exótica						X
<i>Ephedra chilensis</i>	arbustivo	endémica	X					
<i>Erodium cicutarium</i>	herbáceo	exótica	X	X				
<i>Eschscholtzia californica</i>	herbáceo perenne	exótica			X			X
<i>Galium suffruticosum</i>	arbustivo	endémica						X
<i>Galium trichocarpum</i>	herbáceo perenne	endémica	X					
<i>Gilia crassifolia</i>	herbáceo anual	nativa		X				
<i>Guindilia trinervis</i>	arbustivo	endémica	X	X		X	X	X
<i>Haplopappus chrysanthemifolius</i>	arbustivo	endémica		X				
<i>Helenium aromaticum</i>	herbáceo anual	nativa						X

PISO ESCLERÓFILO ANDINO			Maipo			Mapocho		
Especie	Forma de vida	Origen	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
<i>Hirschfeldia incana</i>	herbáceo anual	exótica				X		
<i>Kageneckia angustifolia</i>	arbóreo	endémica	X	X		X	X	X
<i>Lactuca virosa</i>	herbáceo anual	exótica	X					
<i>Leucocoryne violascens</i>	herbáceo perenne	endémica	X					
<i>Olsynium junceum</i>	herbáceo perenne	nativa	X		X			
<i>Pectocarya dimorpha</i>	herbáceo perenne	endémica		X	X			
<i>Plagiobothrys fulvus</i>	herbáceo anual	nativa	X	X	X			
<i>Plagiobothrys myosotoides</i>	herbáceo anual	nativa	X					
<i>Proustia cuneifolia</i>	arbustivo	nativa	X					X
<i>Quinchamalium chilense</i>	herbáceo perenne	nativa						X
<i>Schinus montanus</i>	arbustivo	endémica	X					
<i>Schinus polygamus</i>	arbustivo	nativa	X					
<i>Scyphanthus elegans</i>	herbáceo perenne	endémica	X					
<i>Senecio eruciformis</i>	arbustivo	endémica				X		
<i>Solanum crispum</i>	arbustivo	endémica		X		X	X	
<i>Sonchus asper</i>	herbáceo anual	exótica	X					
<i>Stachys philippiana</i>	herbáceo perenne	endémica	X					
<i>Torilis nodosa</i>	herbáceo anual	exótica	X	X				
<i>Trifolium glomeratum</i>	herbáceo anual	exótica	X	X				
<i>Tristerix corymbosus</i>	arbustivo	endémica						X
<i>Verbascum thapsus</i>	herbáceo anual	exótica	X					
<i>Viola subandina</i>	herbáceo anual	endémica	X					

PISO ANDINO INFERIOR				Maipo			Mapocho		
Especie	Forma de vida	Origen	Buena	Regular	Malo	Buena	Regular	Malo	
<i>Acaena alpina</i>	herbáceo perenne	endémica							
<i>Acaena splendens</i>	herbáceo perenne	nativa			X	X		X	
<i>Adesmia aspera</i>	herbáceo perenne	nativa		X					
<i>Adesmia gracilis</i>	arborescente	nativa	X						
<i>Anarthrophyllum gayanum</i>	subarborescente	nativa			X				
<i>Anarthrophyllum sp.</i>	arborescente	nativa					X		
<i>Bromus setifolius</i>	herbáceo perenne	nativa						X	
<i>Calanchinia umbellata</i>	herbáceo perenne	nativa						X	
<i>Chaetanthera euphrasioides</i>	herbáceo anual	nativa						X	
<i>Chenopodium album</i>	herbáceo	exótica			X				
<i>Chusqueira oppositifolia</i>	arborescente	nativa	X	X	X	X	X	X	
<i>Ephedra chilensis</i>	arborescente	endémica				X	X		
<i>Erodium cicutarium</i>	herbáceo	exótica			X				
<i>Euphorbia portulacoides</i>	herbáceo perenne	nativa				X		X	
<i>Festuca tunicata</i>	herbáceo perenne	endémica	X	X					
<i>Galium suffruticosum</i>	arborescente	endémica			X				
<i>Gilia crassifolia</i>	herbáceo anual	nativa	X	X					
<i>Guindilla trinervis</i>	arborescente	endémica	X	X					
<i>Haplopappus schumammii</i>	arborescente	endémica				X	X		
<i>Hordeum murinum</i>	herbáceo anual	exótica	X	X	X				
<i>Montopsis potentilloides</i>	herbáceo anual	nativa	X						
<i>Mulinum spinosum</i>	arborescente	nativa		X		X			

PISO ANDINO INFERIOR				Maipo			Mapocho		
Especie	Forma de vida	Origen	Buena	Regular	Malo	Buena	Regular	Malo	
<i>Mutisia sinuata</i>	arborescente	endémica						X	
<i>Mutisia subulata</i>	subarborescente	nativa	X	X					
<i>Nardophyllum lanatum</i>	arborescente	endémica			X				
<i>Perezia carthamooides</i>	herbáceo perenne	nativa				X			
<i>Phacelia secunda</i>	arborescente	nativa				X	X	X	
<i>Poa holciformis</i>	herbáceo perenne	endémica	X	X	X	X	X	X	
<i>Proustia cuneifolia</i>	arborescente	nativa	X						
<i>Quinchamalium chilense</i>	herbáceo perenne	nativa						X	
<i>Sisyrinchium striatum</i>	herbáceo perenne	nativa	X	X					
<i>Solenomelus segethii</i>	herbáceo anual	nativa	X	X					
<i>Stachys albicaulis</i>	herbáceo perenne	nativa	X						
<i>Tetraglochin alatum</i>	arborescente	nativa				X	X	X	
<i>Viviania marifolia</i>	arborescente	nativa			X				

PISO ANDINO SUPERIOR			Maipo			Mapocho		
Especie	Forma de vida	Origen	Buena	Regular	Mala	Buena	Regular	Mala
<i>Acaena pinnatifida</i>	herbáceo perenne	endémica				x	x	x
<i>Adesmia gracilis</i>	arbutivo	nativa	x	x				x
<i>Berberis empetrifolia</i>	arbutivo	nativa				x	x	x
<i>Bromus catharticus</i>	herbáceo anual	nativa				x		
<i>Chaetanthera euphrasiooides</i>	herbáceo anual	nativa					x	x
<i>Chenopodium album</i>	herbáceo	exótica				x		
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	arbutivo	nativa		x				
<i>Cistanthe picta</i>	herbáceo perenne	endémica		x	x			
<i>Hypochoeris acaulis</i>	herbáceo	endémica			x			
<i>Laretia acaulis</i>	semi-arbutivo	nativa				x	x	
<i>Oxalis squamata</i>	herbáceo perenne	nativa				x	x	
<i>Perezia carthamooides</i>	herbáceo perenne	nativa				x	x	x
<i>Phacelia secunda</i>	arbutivo	nativa		x		x	x	x
<i>Poa andina</i>	herbáceo anual	nativa					x	x
<i>Poa holciformis</i>	herbáceo perenne	endémica		x	x		x	x
<i>Pozoa coriacea</i>	herbáceo perenne	nativa					x	x
<i>Senecio bustillosianus</i>	arbutivo	endémica		x				x
<i>Senecio davilae</i>	subarbutivo	endémica		x				
<i>Senecio francisci</i>	herbáceo perenne	endémica						x
<i>Senecio pentaphyllus</i>	subarbutivo	endémica						x

2. ANEXO: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO ENCONTRADO EN LOS SITIOS DE MUESTREO DEL VALLE DEL MAIPO.

Se realizaron tres calicatas por piso vegetacional y se describen los suelos de los sitios de estudio ubicados en el valle del Maipo. Se presenta la descripción de la calicata realizada en los sitios de baja degradación y luego se mencionan los rangos

de variaciones encontrados en las condiciones de media y alta degradación. Se utilizaron las pautas para la descripción de suelos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).



A. BOSQUE ESCLERÓFILO

Descripción:

El suelo descrito tiene pendiente 31° y exposición norte, en la posición topográfica de media ladera y forma cóncava (-33.5671° N / -70.3257° E). La vegetación que

se presenta es la típica del piso vegetal bosque esclerófilo con dominancia de *Lithraea caustica* y *Kageneckia oblonga*. Se ubica aproximadamente a 1.000 msnm, en un relieve montañoso (serranías). El probable origen de estos suelos

Horizontes de suelo:

Profundidad	Descripción
0 - 7 cm	Horizonte A1. Color pardo oliva claro en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo. Textura franco arenosa. Estructura de bloques sub-angulares de grado moderado y tamaño mayormente fino. Raíces muy finas comunes. Poros muy finos comunes de forma dendrítica en su mayoría. Pedregosidad compuesta por grava fina (2 a 5 cm Ø), forma cúbica: 25%.
7 - 42 cm	Horizonte A2. Color pardo grisáceo oscuro en seco y pardo muy oscuro en húmedo. Límite con horizonte superior ondulado difuso. Textura franco limosa. Estructura granular de grado medio y tamaños gruesos a muy finos. Raíces grandes muy pocas; medias moderadamente pocas y finas comunes. Poros muy finos pocos, de forma intersticial. Pedregosidad compuesta por grava media (0,5 a 2 cm Ø), forma cúbica: 25%. Presencia de coprolitos.
42 - 70+ cm	Horizonte B. Color pardo en seco y pardo muy oscuro en húmedo. Límite con horizonte superior lineal claro. Textura franco arcillo arenosa. Estructura bloques angulares de grado moderado y tamaño medio a fino. Raíces grandes moderadamente pocas y medias muy pocas. Poros medios pocos. Pedregosidad compuesta por piedras (25 a 60 cm Ø), forma cúbica: 75%.

es coluvial, con algo de influencia de las precipitaciones, lo que forma coluvios en los cerros (conos de deyección).

Rango de características:

Se presentan suelos con una estructura débil, principalmente granular que se vuelve angular hacia los estados de mayor degradación. Su consistencia es muy suelta y tiende a ser algo más adhesivo en los mayores estados de degradación. Son usualmente "gravosos" y en algunas condiciones se acompañan de grandes fragmentos. Los límites entre horizontes, son de lineales a ondulados con cambio gradual por la degradación. La abundancia y tamaño de las raíces se reduce con la degradación.

En los horizontes superficiales, a pesar que se presentan situaciones con menor cantidad de fragmentos, éstos aumentan junto con la degradación. La textura tiende a ser más adhesiva y plástica con la degradación, sin embargo, son principalmente suelos arenosos. En los horizontes más profundos, hay casos donde se presentan guijarros aplanados o piedras en gran cantidad. Con menor degradación, los poros son más abundantes. En los estados menos degradados hay abundante materia orgánica, con distintos estados de descomposición, lo que forma un horizonte orgánico con alto contenido de lignina. Con mayor degradación, se observa compactación y alteración de la estructura superficial.



B. BOSQUE ESCLERÓFILO ANDINO

Descripción:

El suelo descrito se ubica en exposiciones principalmente sureste, con una pendiente

promedio de 12°, en las coordenadas -33.5124 / -70.2406. La vegetación que se presenta es la típica del piso vegetal

Horizontes de suelo:

Profundidad	Descripción
0 – 29 cm	Horizonte A1. Color pardo en seco y pardo oscuro en húmedo. Textura franco arcillosa. Estructura bloques angulares de grado moderado y tamaño grueso. Raíces muy finas y finas abundantes y medias comunes. Poros muy finos abundantes; finos comunes y medios pocos. Pedregosidad compuesta por guijarros (0,2 a 15 cm de largo), formas prismoidales: 15%. Presencia de coprolitos y cavernas de larvas.
29 – 57 cm	Horizonte B-t1. Color pardo oscuro en seco y pardo muy oscuro en húmedo. Límite con horizonte superior lineal claro. Textura franco arcillosa. Estructura de bloques angulares de grado moderado y tamaño grueso. Raíces muy finas pocas, finas comunes y gruesas pocas. Poros muy finos abundantes, finos comunes y gruesos pocos. Pedregosidad compuesta por gravas finas (0,2 a 0,5 cm Ø), forma esférica: 20%; guijarros (0,2 a 15 cm de largo), forma prismoidales: 5%. Presencia de coprolitos y cutanes.
57 – 70+ cm	Horizonte B-t2. Color pardo oscuro rojizo en seco y pardo oscuro rojizo en húmedo. Límite con horizonte superior lineal claro. Textura franco limosa. Estructura granular de grado no estructural y tamaño fino. Raíces muy finas, finas y gruesas, pocas. Pedregosidad compuesta por gravas finas (0,2 a 0,5 cm Ø), forma esférica: 35%; guijarros (0,2 a 15 cm de largo), formas prismoidales: 15%. Presencia de coprolitos y cutanes.

bosque esclerófilo andino con bajo estado de degradación, donde domina la especie arbórea *Kageneckia angustifolia*. Ubicado aproximadamente a 1.700 msnm., en un relieve montañoso (serranías).

El probable origen de estos suelos es Coluvial con algo de influencia de las precipitaciones, lo que forma coluvios en los cerros (Conos de deyección).

Rango de características:

Dichos suelos presentan agregados en bloques de grado moderado. Presentan nódulos de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio en los estados de menor degradación y de mayor humedad. Son usualmente arcillosos. Los límites

entre horizontes son difusos a mayor degradación y profundidad. Frecuentemente presentan cavernas y cutanes, los que disminuyen en los estados más degradados.

En los horizontes superficiales, los poros finos disminuyen con la degradación. Los horizontes sub-superficiales, tienen una estructura menos conformada y frecuentemente granular. Con la degradación, se vuelven más arcillosos. Es común encontrar cutanes, indicando lixiviación de arcillas por percolación. En los estados menos degradados hay presencia de abundante materia orgánica, con distintos estados de descomposición, lo que forma un horizonte orgánico con alto contenido de lignina.



C. MATORRAL ANDINO INFERIOR

Descripción:

El suelo donde se realizó el estudio se encuentra en las coordenadas -33.7028 Lat. / -70.1131 Long., tiene una pendiente de 15° de inclinación y exposición noroeste, en la posición topográfica de media ladera y forma cóncava.

La vegetación que se presenta es la típica del piso vegetal matorral andino inferior con un bajo estado de degradación, dominado por la especie *Guindilia trinervis*. Ubicado aproximadamente a 2.200 msnm, en un valle de relieve montañoso, cuya formación tuvo influencia glacio-fluvial. El origen probable de estos suelos es coluvial, de

Horizontes de suelo:

Profundidad	Descripción
0 – 20 cm	Horizonte A. Estructura de bloques sub-angulares de grado medio y tamaño muy fino. Raíces finas comunes y muy finas abundantes. Poros gruesos y finos abundantes. Pedregosidad compuesta principalmente por gravas finas (0,2 a 0,5 cm Ø), forma esférica: 10%; y grava gruesa (2 a 7,6 cm Ø), forma esférica: 10%. Presencia de cavernas.
20 – 46 cm	Horizonte B. Estructura de bloques sub-angulares de grado medio y tamaños muy finos. Raíces muy escasas y raicillas comunes. Poros medios abundantes, finos comunes y gruesos escasos. Pedregosidad compuesta por guijarros (7,5 a 25 cm Ø), de forma esférica: 10%; grava media (0,5 a 2 cm Ø), de forma esférica: 10%; y grava fina (0,2 a 0,5 cm Ø), de forma esférica: 10%. Se observan cavernas.
40 – 70+ cm	Horizonte C. Textura arenosa, de tipo gravosa. Sin estructura. No se observan raíces. Poros intersticiales abundantes. Pedregosidad compuesta por estratos de grava media (0,5 a 2 cm Ø), de forma esférica: >80%; y grava fina (0,2 a 0,5 cm Ø), forma esférica: >80%. Horizonte altamente estratificado.

material metamórfico transportado desde afloramientos rocosos sedimentarios, lo cual origina que las partículas se ordenan principalmente en estratos.

Rango de características:

Se presentan suelos poco profundos. En ocasiones, tienen una estructura de grado moderado, principalmente en las situaciones más degradadas, con alta tasa de compactación. A mayor profundidad se observan

estratos con un gran volumen de gravas, de diferentes tamaños y formas, y una textura arenosa.

En condiciones de menor degradación, concentrada en los manchones de vegetación, se pudo observar una mayor acumulación de materia orgánica, la cual hacía más plástica la textura. En estas situaciones se acumulan fragmentos rocosos de diferentes tamaños en la superficie.



D. MATORRAL ANDINO SUPERIOR

Descripción:

El suelo descrito se encuentra en las coordenadas -33.6282 Lat. / -69.9512 Long., tiene pendiente de 26° y exposición suroeste, en la posición topográfica de media ladera, de forma convexa.

La vegetación presente es la típica del piso vegetal matorral andino superior de baja degradación. Se ubica aproximadamente a 2850 msnm, en un valle de relieve montañoso, cuya formación estuvo dada por influencia glaciaria

Horizontes de suelo:

Profundidad	Descripción
5 – 27 cm	Horizonte A. Color pardo anaranjado oscuro en seco y negro en húmedo. Textura gravosa, franco limosa. Estructura amorfa, grado débil y tamaño pequeño. Raíces muy finas abundantes. Poros muy finos pocos. Pedregosidad compuesta por guijarro (0,2 a 15 cm de longitud), forma plana prismoidal: 75%; y grava media (0,5 a 2 cm Ø), forma cúbica: 10%. Se observa mayor presencia de fragmentos finos que gruesos y una mayor acumulación de arenas.
27 – 45 cm	Horizonte AB. Color Pardo anaranjado oscuro en seco y negro en húmedo. Textura gravosa, arenosa. Sin estructura, granular. Raíces muy fina abundantes y finas pocas. Poros muy finos abundantes. Pedregosidad compuesta por grava fina (0,2 a 0,5 cm Ø) forma angular cúbica: 25%; grava media (0,5 a 2 cm Ø) forma angular cúbica: <5%. Presencia de nódulos de materia orgánica en descomposición.
45 – 65+ cm	Horizonte B. Color pardo muy oscuro en seco y negro en húmedo. Textura franco limosa. Estructura amorfa, grado débil y tamaño medio. Raíces muy finas pocas; finas comunes; y medias pocas. Poros gruesos comunes y finos pocos. Pedregosidad compuesta por grava media (0,5 a 2 cm Ø) forma esférica: 5%; y grava fina (0,2 a 0,5 cm Ø), de forma esférica: <10%.

principalmente. El origen probable de estos suelos es coluvial, con alta influencia de las precipitaciones de tipo nival, lo que produce procesos de intemperización de rocas sedimentarias, presentes en el sitio.

En general, son suelos altamente estratificados, producto de los continuos deslizamientos de material. Suele encontrarse materia orgánica entre los estratos de grava y arena, a partir de la vegetación que queda atrapada entre los estratos.

Rango de características:

En condiciones de menor degradación, concentrada en los manchones de vegetación, se pudo observar una mayor acumulación

de materia orgánica, la cual hacia más plástica la textura. Material parental transportado, en forma de grava y gravilla, provenientes de roca meteorizada. Material intemperizado suele cubrir los suelos desprovistos de vegetación, dejando estratos ordenados de partículas de distintos tamaños, principalmente de forma prismoidal.

En los horizontes superficiales la textura suele ser más arenosa en los estados de mayor degradación, así como tiende a aumentar la presencia de raíces. En los horizontes sub-superficiales la textura tiende a ser más arcillosa, que se vuelve más plástica con la degradación. Además se presentan nódulos de materia orgánica en descomposición.





