



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
MAGÍSTER EN ÁREAS SILVESTRES Y CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

EVALUACIÓN DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE
BOSQUES DE *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser DEGRADADOS POR INCENDIOS
HISTÓRICOS EN LA RESERVA NACIONAL LAGO CARLOTA, REGIÓN DE AYSÉN

Tesis para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y
Conservación de la Naturaleza

ALEJANDRO HUERTAS HERRERA

Ecólogo

Santiago, Chile

2014

Coordinador del Programa

Profesor Nombre: Juan Caldentey Pont

Firma: _____

Profesor guía Nombre: Álvaro Promis Baeza

Firma _____

Comité de Proyecto de Grado

Profesor guía Nombre: Álvaro Promis Baeza

Nota: 6,7

Firma: _____

Profesor consejero Nombre: Juan Caldentey Pont

Nota: 6,3

Firma: _____

Profesor consejero Nombre: Horacio Eduardo Bown Intveen

Nota: 6,8

Firma: _____



*Al mágico bosque patagónico,
prueba irrefutable de que el edén sí existe.*

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi agradecimiento al profesor Álvaro Promis por supervisar este trabajo. Gracias por alentar mi investigación y porque de manera ininterrumpida me brindó todo su apoyo. Su orientación e inestimable crítica constructiva me ha permitido crecer como científico.

Agradezco también al profesor Horacio Bown por su enseñanza en el campo de la estadística y seguir de cerca la evolución de la investigación, y al profesor Juan Caldentey por su dedicación en cada paso dado durante el proceso de formación en el Magíster.

Gracias a todo el equipo de Patagonia Sur (SNP) por el financiamiento de esta investigación y el apoyo brindado en terreno.

Mi más sincero agradecimiento a Carla Jara y Fernando Soto por su apoyo en terreno. A mi hermano Hugo Huertas por la elaboración de los fotomontajes. Y a mi novia Mónica Toro por su aporte desde el campo de la Ing. Forestal, comprensión y amor.

Muchas gracias a todos los profesores que contribuyeron en mi formación como Magíster, en especial al profesor Cristian Estades, Jaime Hernández, Gustavo Cruz y Claudia Cerda de quienes me llevo recuerdos positivos de sus clases.

A Haroldo Silva, Claudio Sánchez y Matías Castillo, no tengo palabras para expresar mi gratitud por su amistad. Gracias a Verónica Ovalle, Lina Troncoso y Wladimir Chávez por apoyarme de manera personal a lo largo de este trabajo.

Nada de esto habría sido posible sin mi familia. Hermanita, gracias por tu apoyo y mejores deseos. Mamá y Papá, esta tesis se erige como un testimonio de su amor incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	6
2.1 OBJETIVO GENERAL	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. MATERIAL Y MÉTODO	7
3.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	7
3.1.1 Sector de estudio	8
3.1.2 Diseño experimental.....	9
3.2 METODOLOGÍA.....	12
3.2.1 Evaluación del daño de <i>Lepus capensis</i>	12
3.2.2 Eficacia de las acciones de conservación.....	13
3.2.3 Estrategia para la rehabilitación propuesta para el bosque degradado de <i>Nothofagus pumilio</i>	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1 EVALUACIÓN DE DAÑO DE <i>LEPUS CAPENSIS</i> Y EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS.....	16
4.2 INCREMENTO EN ALTURA DE LAS PLANTAS.....	19
4.3 MODIFICACIÓN DE LA FORMA DE CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS	20
4.4 ESTRATEGIA PARA LA REHABILITACIÓN DEL BOSQUE DE <i>NOTHOFAGUS PUMILIO</i>	21
4.4.1 Diagnóstico del estado actual del ambiente.....	21
4.4.2 Consideraciones del paisaje	24
4.4.3 Estrategia de rehabilitación propuesta para el bosque de <i>Nothofagus pumilio</i>	25
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
6. BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Chile- Región de Aysén y localización geográfica de la Reserva Nacional Lago Carlota.	7
Figura 2. Diagrama de plantación implementado por Patagonia Sur.	9
Figura 3. (a) Plantadores en faena de establecimiento durante octubre (SNP 2012). (b) Vista de los cercos de protección establecidos.....	10
Figura 4. Mapa de ubicación espacial de las plantaciones de <i>N. pumilio</i> en la Reserva Nacional Lago Carlota.	11
Figura 5. Modelo hipotético de degradación de ecosistemas naturales.	14
Figura 6. Escala del paisaje: subcuenca del Río Cisnes. 15	
Figura 7. Porcentaje promedio y error estándar de plantas de <i>N. pumilio</i> sin y con daño por herbivoría de <i>L. capensis</i>	16
Figura 8. Porcentaje promedio del incremento anual (cm) de las plántulas <i>N. pumilio</i> con y sin ramoneo por tratamiento.	20
Figura 9. Porcentaje promedio del tipo de sustrato del suelo en las plantaciones de <i>N. pumilio</i> en la Reserva Nacional Lago Carlota.....	23
Figura 10. (a) Ejemplo del estado de degradación del ambiente nivel 3. (b) Especies representativas de los sectores degradados: <i>R. acetosella</i> y <i>B. magellanica</i>	24
Figura 11. (a) Desarrollo de núcleos. (b) Diseño de nido.	28
Figura 12. Etapas de desarrollo esperadas con el establecimiento de núcleos.....	30

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Lista de tratamientos aplicados a plántulas de <i>N. pumilio</i>	10
Cuadro 2. Porcentajes del daño ocasionado por <i>L. capensis</i> en las distintas estructuras de las plántula de <i>N. pumilio</i> para cada tratamiento.	17
Cuadro 3. ANDEVA de dos vías y valor de porcentaje promedio de plantas para los factores Repelente (SR = sin repelente y CR = con repelente), Cerco (SC = sin cerco y CC= con cerco) y Período (Mayo y Octubre) sobre la variable respuesta “nivel de daño”.	18
Cuadro 4. Porcentaje promedio de plantas vivas de <i>N. pumilio</i> respecto a la categoría de vigor por tratamientos.....	19
Cuadro 5. Porcentaje promedio del número de vástagos secundarios para cada tratamiento..	21
Cuadro 6. Formas de vida de la flora nativa e introducida a lo largo de la plantación de <i>N. pumilio</i> en la Reserva Nacional Lago Carlota. Se presenta el número de especies y entre paréntesis el porcentaje con respecto al total registrado (40 especies).	23
Cuadro 7. Número de parches, tamaño y proporción en el paisaje de la subcuenca del Río Cisnes.	25
Cuadro 8. Estrategia de rehabilitación propuesta a aplicar en áreas degradadas en la Reserva Nacional Lago Carlota.	31

RESUMEN

En bosques afectados por incendios y pastoreo, la especie *Nothofagus pumilio* (lenga) no logra recuperarse de forma natural. Agentes que impiden la recuperación de estos bosques y/o el desarrollo de plantaciones con especies nativas son: la presión herbívora de *Lepus capensis* (liebre) y la degradación del ambiente posterior a dichas perturbaciones.

El objetivo de este estudio es evaluar acciones de conservación que permitan la recuperación de bosques de *N. pumilio* degradados por incendios históricos en la Región de Aysén, específicamente en la Reserva Nacional Lago Carlota. Estas acciones correspondieron: (1) uso de repelente (Pomarsol Forte) y (2) cerco perimetral, en una plantación de 100 hectáreas con *N. pumilio*, establecida en dos períodos: mayo (60 ha) y octubre (40 ha) de 2012. Mediante un ANDEVA de dos vías se evaluó la eficacia de dichas acciones. A partir de esquemas hipotéticos de degradación de ecosistemas naturales, se evaluó el estado del ambiente. Los resultados indican que los cercos y repelentes no son eficaces para impedir el ataque y daño de *L. capensis* sobre las plántulas de *N. pumilio*, y que las plantaciones de mayo son más susceptibles al daño que las de octubre. Además, se identificaron procesos de alteración abióticos (erosión eólica) y bióticos (formas de vida de la vegetación) que no sólo evidencian el estado avanzado de degradación del área, sino además impiden la regeneración natural y el desarrollo de plantas de *N. pumilio*.

Estos antecedentes ponen de manifiesto la necesidad de implementar acciones alternativas para la recuperación de los bosques de *N. pumilio*. Se propone una estrategia de rehabilitación basada en plantaciones en núcleos, en las que establecen individuos de *N. pumilio* junto a *Embothrium coccineum* (notro), esta última como planta nodriza. Con esta propuesta se busca acelerar el desarrollo y la recuperación autogénica de los individuos de *N. pumilio* a través de mecanismos de facilitación, como el mejoramiento de condiciones microclimáticas, y la protección de posibles daños de *L. capensis* de las plantas del interior de cada núcleo.

En el campo de la conservación, esta propuesta puede utilizarse en trabajos de rehabilitación de los bosques templados de *N. pumilio* en Áreas Silvestres Protegidas de Aysén, así como en los paisajes fragmentados por los incendios históricos ocurridos en la Patagonia chilena, con el propósito de restituir servicios ecosistémicos de interés para el bienestar humano.

Palabras claves: Rehabilitación, repelente y cercos perimetrales, plántulas, *Lepus capensis*, plantación en núcleos.

ABSTRACT

In forest affected by fire and grazing, the specie *Nothofagus pumilio* (lenga) cannot recover naturally. Agents that hinder the recovery of these forests and/or development of plantations of native species are: herbivorous pressure by *Lepus capensis* (hare) and degradation of the environment after such disturbances.

The objective of this work is to evaluate conservation actions for the recovery of *N. pumilio* forests degraded by historical fires in the Aysén Region, in the Lago Carlota National Reserve. These actions were: (1) use of repellent (Pomarsol Forte) and (2) fenced enclosure, in a plantation of 100 hectares of *N. pumilio*, established in two periods: May 2012 (60 ha) and October 2012 (40 ha). Using a two-way ANOVA effectiveness of those actions was evaluated. Based on hypothetical degradation schemes of natural ecosystems, the condition of the environment was evaluated. The results indicate that the fences and repellents were not effective to stop the attack and damage caused by *L. capensis* on seedlings of *N. pumilio*, and May plantations were more susceptible to damage than those of October. Furthermore, were identified abiotic alteration processes (wind erosion) and biotic alteration processes (plant life-form) that not only showed the advanced state of degradation of the area, but also prevents the natural recovery and the development of plants of *N. pumilio*.

These facts underscore the need to implement alternative actions for the recovery of *N. pumilio* forests. A rehabilitation strategy based on stands established by cluster planting is proposed, in which individuals establish *N. pumilio* beside *Embothrium coccineum* (notro), the latter as a nurse plant. This proposal seeks to accelerate the development and autogenic recovery of individuals of *N. pumilio* through facilitation mechanisms, such as improving microclimate, and protection of the possible damage caused by *L. capensis* on the plants of each cluster.

In the field of conservation, this proposal can be used for rehabilitation projects of temperate forests of *N. pumilio* in Protected Wildlife Areas of Aysén, as well as landscapes fragmented by historical fires in the Chilean Patagonia, in order to restoring ecosystem services of interest to human welfare.

Keywords: Rehabilitation, repellent and fenced enclosure, seedlings, *Lepus capensis*, cluster plantings.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el impacto de los seres humanos sobre el medio ambiente se produce en una variedad de escalas temporales y espaciales (Dobson *et al.* 1997). Accidentes industriales, deforestación y la conversión de los hábitats naturales en tierras agrícolas e industriales (Dobson *et al.* 1997), junto con la introducción de especies exóticas, han dado lugar a grandes cambios ambientales (Atkinson 2001), siendo la conversión del hábitat (Dobson *et al.* 1997), las invasiones biológicas, el cambio climático y la fragmentación de los ecosistemas las principales amenazas para la biodiversidad (Vitousek *et al.* 1996).

En Suramérica, estos impactos han cambiado los bosques en la región sur andina a través de la tala y la conversión de tierras forestales a uso agrícola, y en formas más sutiles a través de los efectos de la introducción de los animales e incendios (Veblen 2007). En Chile, se han ocasionado considerables impactos ambientales, como la pérdida y fragmentación de hábitat, aparición de especies exóticas y sobreexplotación de los recursos naturales (CONAMA 2009).

Entre los años 1936 y 1956, a lo largo de la Patagonia chilena, como respuesta del proceso de habilitación de terrenos fiscales para uso agropecuario incentivado por el Estado, se quemaron cerca de 3.500.000 de hectáreas de bosques patagónicos en la Región de Aysén (CONAF 2006, Quintanilla 2008).

Los bosques patagónicos se caracterizan por la presencia de especies del género *Nothofagus* (Donoso 1993, Gajardo 1994). Este género es el más importante en composición y estructura de los bosques templados de Chile (Donoso 1981). Estos bosques se caracterizan por la presencia de las especies lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser), coigüe común (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.), ñirre (*Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst.) y coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oerst.) (Quintanilla 2008, CONAF 2011).

La especie *N. pumilio* se extiende desde los 35° 35'S hasta los 56°S en la Región de Magallanes (Donoso 1993, Gajardo 1994, CONAF 2011), presenta un rango altitudinal desde el nivel del mar hasta los 2.000 m.s.n.m., el que tiende a disminuir de norte a sur (Hildebrand-Vogel *et al.* 1990, Premoli 2004), y cuyo sotobosque se caracteriza por albergar pocas especies arbustivas, pero abundantes plantas herbáceas, helechos, musgos, hepáticas y hongos (Hildebrand-Vogel *et al.* 1990). A pesar de su plasticidad genotípica y fenotípica que le permiten

distribuirse ampliamente en latitud y altitud (Premoli 2004), *N. pumilio* carece de estrategias regenerativas para sobrellevar el efecto adverso de los incendios, como cortezas gruesas o regeneración por rebrote (Kitzberger *et al.* 2005). Así, se ha observado que debido a las desfavorables condiciones posteriores a los incendios en la Región de Aysén, la especie no ha logrado recuperarse en forma natural (González *et al.* 2006).

Con los recurrentes incendios y la intensiva habilitación de praderas ocurridos en Aysén, se crearon vastas áreas con suelo desnudo o cubiertos con pastizales, predominando especies del tipo ruderales¹ y arvenses² destinadas a la ganadería bovina y ovina (Quintanilla 2008, CONAMA 2009). Lo anterior produjo un desequilibrio ambiental por la deforestación, facilitando el establecimiento de especies exóticas como mamíferos lagomorfos (Ovalle *et al.* 2002), que imposibilitan la recuperación de la vegetación nativa a causa de la presión herbívora en zonas que han sido afectadas por incendios forestales (Iriarte 2002).

El impacto de los herbívoros es importante durante las etapas iniciales de la ontogenia de las plantas (Bricker *et al.* 2010), porque usualmente repercute en el daño y mortalidad de éstas (Calderón 1993). De ahí que resulta imprescindible la protección de individuos durante los primeros años de plantación (Latorre *et al.* 2013), dado que la presencia de factores exógenos traumáticos pueden interferir con la expresión endógena o comprometer su supervivencia (Puntieri *et al.* 2006, Padilla 2008).

Los lugares con abundante presencia de herbívoros requieren de acciones y medidas de control que prevengan o mitiguen la depredación y ofrezcan protección de las plántulas durante las primeras etapas de vida (Latorre *et al.* 2013). Para contrarrestar eventuales daños se acuden a métodos de control directo o indirecto. Los de carácter directo buscan eliminar individuos con cebos tóxicos, caza y trampeo, mientras que los indirectos se basan en la protección de la plantación con alambrados perimetrales, alambrados eléctricos, protectores individuales de plantas y repelentes (Ojeda 1998, Bonino 2012). Algunas de las directrices para implementar estrategias de control son controversiales; por ejemplo, en Tasmania uno de los principales métodos para reducir el daño de herbívoros es el control de poblaciones a través de envenenamiento letal, medida efectiva pero polémica para la opinión pública (McArthur *et al.*

¹ Ruderales: plantas que colonizan los sitios alterados (SER 2004).

² Arvenses: plantas que típicamente crecen entre plantas de cultivo (SER 2004).

2000). En Chile, en un contexto de investigación se han evaluado métodos físicos para proteger la regeneración artificial de plantas nativas utilizando cercos, cilindros de mallas plásticas y cerco eléctrico (González 1997, Ovalle *et al.* 2002), al igual que la aplicación de repelentes (Gajardo 1985, Ovalle *et al.* 2002). No obstante, cualquiera que sea el método, la solución ha sido parcial, poco efectiva o de alto costo.

Un mamífero introducido en Chile que requiere de acciones de control es la liebre europea (*Lepus capensis*), especie que se caracteriza por no cavar madrigueras, preferir lugares abiertos (Lincoln 1974, Grigera y Rapoport 1983, Bonino 2012), y en general por mantener grandes poblaciones, debido que no tiene grandes predadores naturales (Jaksic y Soriguer 1981, Jaksic 1998, Iriarte 2002).

Esta especie es ejemplo de la problemática que existe en el proceso de regeneración natural de bosques nativos y plantaciones con especies arbóreas (Bonino 1995, Iriarte 2002, Novillo y Ojeda 2008, Bonino 2012). En Argentina y en Chile se ha considerado como una plaga (Grigera y Rapoport 1983, Jaksic 1998). Su principal perjuicio es el daño de individuos de plantas arbóreas y otras durante la fase de plántula, atacando con preferencia la yema apical y, en menor medida, la corteza del tronco en su base, siendo además la principal causa de mortalidad de las plantas (Bonino 1995, Bonino 2012).

Como se ha expuesto, luego de un incendio la presencia de herbívoros es un factor limitante que incide en la recuperación natural de los bosques templados y en el desarrollo de plantaciones. En este sentido, la mejora de los hábitats degradados y el control y prevención de especies invasivas problemáticas son consideradas acciones que contribuyen en la conservación de los ecosistemas (Salafsky *et al.* 2008). Dichas acciones se refieren a intervenciones llevadas a cabo para alcanzar objetivos de proyectos de conservación (Salafsky *et al.* 2008), y son espacialmente explícitas para mitigar los efectos de los procesos de amenaza sobre la diversidad biológica (Pressey *et al.* 2013).

Estas intervenciones son particularmente significativas, puesto que en la actualidad es trascendental no sólo conservar sino también rehabilitar³ o restaurar⁴ los ecosistemas forestales (Lambin y Meyfroidt 2011, Suding 2011). Su importancia radica en que las plantaciones con especies nativas ofrecen una amplia gama de beneficios que incluyen: la disminución de la probabilidad de nuevos eventos de incendios (Veblen 2007, Veblen 2011), creación de hábitats para la fauna nativa y la atracción de ésta (insectos, anfibios, reptiles y aves), estabilización de suelos y mejora de la calidad del agua y del paisaje (MacNamara *et al.* 2006).

A pesar de los beneficios que estos sistemas forestales ofrecen, alcanzar la meta de rehabilitación demanda intensas intervenciones y un profundo conocimiento del ecosistema (Atkinson 2001). De tal modo, la rehabilitación de lugares que en el pasado sufrieron el efecto destructivo del hombre requiere de ensayos, estudios y monitoreo que permitan reconocer y retroalimentar qué métodos y directrices son más efectivas para lograr mayor grado de éxito en las plantaciones con especies nativas (Suding 2011). Así, al cuantificar el impacto de los principales herbívoros se pueden presentar orientaciones adecuadas para la conservación de las poblaciones de especies existentes y el diseño de los futuros intentos de reintroducción de plantas (Latorre *et al.* 2013).

De acuerdo a Schleguel *et al.* (1979), en Aysén los primeros ensayos de plantaciones con *N. pumilio* se realizaron en la ciudad de Coyhaique entre los años 1979 y 1981. De éstos, el primer ensayo consideró distintas técnicas de establecimiento (plantación a raíz desnuda y siembra directa en casilla, etc.), aunque lamentablemente no fue monitoreado durante el periodo de duración del proyecto. Mientras que el segundo ensayo reportó gran mortalidad de plantas, asociado al intenso ramoneo de *L. capensis* y fuertes vientos. Otra experiencia fue realizada por CONAF en la Reserva Nacional Tamango en el año 1986, en donde la supervivencia de las plantas al cabo de 10 años, fue del 54%, dónde el daño por ramoneo de huemul (*Hippocamelus bisulcus*) y *L. capensis* alcanzó el 42% y el 2%, respectivamente (Quijada 1999). Otro ejemplo, citado por Quijada (1999), es un ensayo en la Reserva Nacional Coyhaique, en donde el daño

³ Rehabilitación: reparar los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema; enfoque fundamental en los ecosistemas históricos o preexistentes como modelos o referencias (SER 2004).

⁴ Restauración ecológica: ayudar en el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruidos; a partir de un ecosistema de referencia. Las metas de la restauración incluyen la reparación de los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema, así como el restablecimiento de la integridad biótica preexistente en términos de composición de especies y estructura de la comunidad (SER 2004).

por liebres alcanzó el 52%. Recientemente, para *N. betuloides* y *N. antarctica*, Jara (2013) reportó daños por lagomorfos cercanos al 40%, casi todos ellos ocasionados por *L. capensis* después de dos años de monitoreo.

Este panorama alentó a la Sociedad Agrícola y Forestal SNP Ltda., en adelante Patagonia Sur, a desarrollar un proyecto de conservación de los bosques templados de la Patagonia chilena. Este proyecto se focaliza en desarrollar acciones de conservación del ecosistema forestal del bosque templado de *N. antarctica*, *N. dombeyi* y *N. pumilio* en áreas silvestres protegidas. Para lograr este objetivo, se proyecta a través de un extenso programa de reforestación revertir la tendencia histórica de degradación, rehabilitar los ecosistemas forestales templados en las regiones de Aysén y Magallanes estableciendo plantas nativas del género *Nothofagus* en áreas silvestres protegidas, e implementar intervenciones dirigidas a controlar el daño ocasionado por herbívoros. Para cumplir con los esfuerzos señalados, la primera etapa de este plan se efectuó durante los meses de mayo y octubre del año 2012 en la Reserva Nacional Lago Carlota, con la finalidad de prevenir daños a las plantas por ramoneo, principalmente de *L. capensis*, a través del uso de métodos de control indirecto como son los cercados perimetrales y/o el uso de repelentes.

Dado los grandes esfuerzos puestos en este tipo de proyectos, las expectativas y la cantidad de recursos que se invierten, es imperativo determinar cuáles son las técnicas de manejo que pueden contribuir con el control de las amenazas directas, y proponer acciones que permitan recuperar y conservar los bosques templados degradados del sur del país, como son los de *N. pumilio* o semejantes, representantes de la flora de las áreas silvestres protegidas de la Patagonia chilena.

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar acciones de conservación para la recuperación de bosques de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser, degradados por incendios históricos en la Región de Aysén, con un foco en las actividades de establecimiento.

2.2 Objetivos específicos

- a) Evaluar el daño de *L. capensis* en la rehabilitación de bosques degradados de *N. pumilio*.
- b) Analizar la eficacia de la implementación de cercos perimetrales y uso de repelentes como intervenciones espaciales explícitas para el control de herbívoros problemáticos.
- c) Proponer una estrategia de rehabilitación de bosques de *N. pumilio* degradados en la Reserva Nacional Lago Carlota.

Este trabajo de grado se enmarca bajo el concepto de Actividad Formativa Equivalente, y se realiza bajo la modalidad de Estudio Profesional Orientado a la Conservación.

3.MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Área de estudio

El estudio se efectuó en la Reserva Nacional Lago Carlota (Región de Aysén), ubicada entre los 44° 27' y 44° 36' de latitud Sur y entre los 71° 25' y los 71°44' de longitud Oeste (Figura 1), a 35 kilómetros de la localidad de Villa La Tapera y a 230 km de la ciudad de Coyhaique. La reserva se caracteriza por presentar un gradiente altitudinal entre los 700 y los 1.680 msnm. (CONAF 1998). Desde el punto de vista climático, en la reserva se presenta un clima boreal húmedo (SAG 1999), con una temperatura promedio anual del aire de 5,9 °C, con medias en invierno que se acercan a los 0 °C y que en verano aumentan hasta 11,8 °C, presentando una humedad relativa promedio anual del aire de 71% (CONAMA 1994), y precipitaciones medias que alcanzan a los 500 mm anuales (SAG 2001). Se presenta nubosidad aproximadamente en 215 días del año y vientos que circulan predominantemente desde el sur (DGA-MOP 2007).

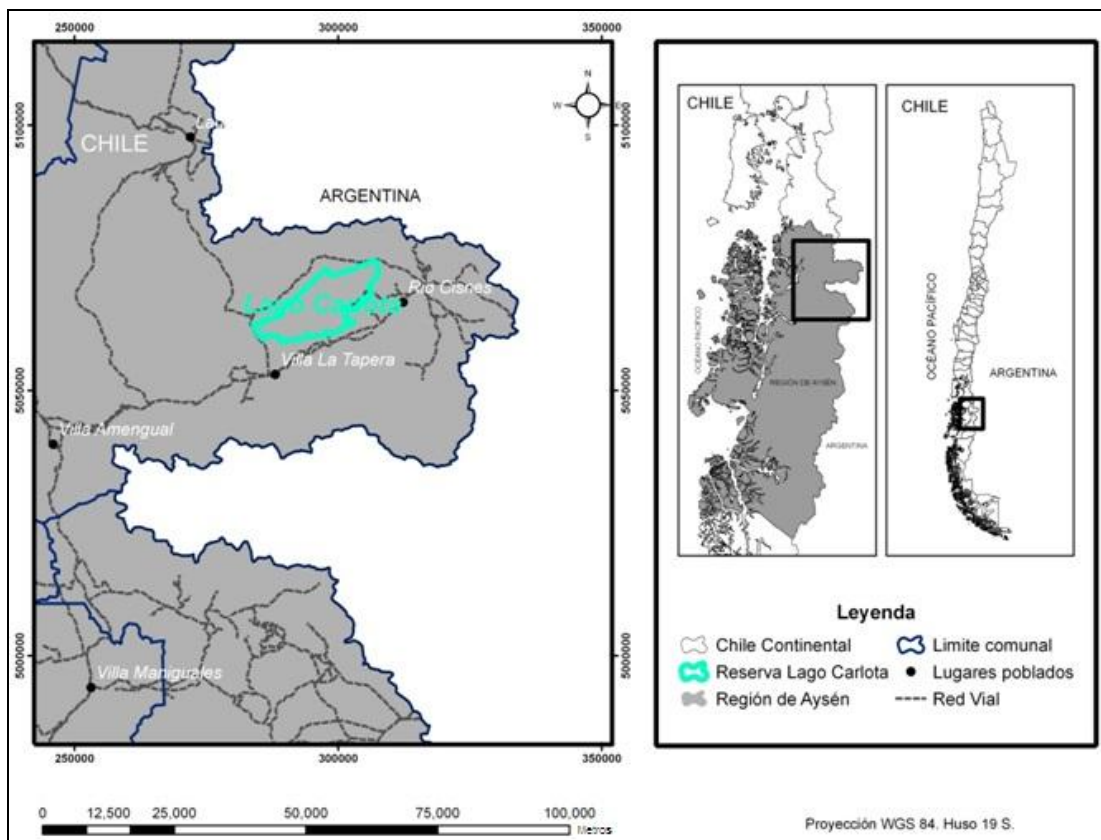


Figura 1. Mapa de Chile- Región de Aysén y localización geográfica de la Reserva Nacional Lago Carlota.

Según (Gajardo 1994), la vegetación natural potencial corresponde a la formación vegetal de Bosque Caducifolio de Aysén, caracterizados por la dominancia de *N. pumilio* y/o *N. antarctica*. Hacia la distribución oriental, estos bosques se encuentran rodeados por la formación de estepa (CONAF 1998). El bosque de *N. pumilio* en la reserva es relativamente homogéneo (CONAF 1998). Al interior de la reserva se encuentran varios sectores de estos bosques en proceso de degradación debido al mencionado historial de incendios acontecidos en Aysén, por lo que es necesaria su rehabilitación (CONAF 1998).

3.1.1 Sector de estudio

Al interior de la reserva se llevó a cabo un ensayo de rehabilitación de los bosques degradados de *N. pumilio* en los cuales se evaluó el daño ocasionado por *L. capensis* sobre las plántulas establecidas y se analizó la eficacia de las acciones de conservación implementadas para el control de la herbivoría.

Este experimento se estableció en un área con insuficiente vegetación leñosa (<30% de cobertura vegetal), en donde el *N. pumilio* se encuentra en parches que crecen en sectores de topografía plana a suavemente ondulada, y que de acuerdo a reportes de Patagonia Sur, existe una alta presencia de *L. capensis*. Según Bonino (2012) en estos ambientes abiertos con pastizales son de preferencia para *L. capensis* porque: (1) hay oferta de alimento y (2) les permite tener mayor visibilidad para poder huir de los depredadores. Bajo este escenario se plantaron de forma homogénea 100 hectáreas con *N. pumilio*, en rectángulos que disponen de un total de 20 plantas en 100 m² (Figura 2), lo que se traduce en una densidad de 2.000 plantas/ha.

La plantación tuvo lugar durante dos períodos, el primero en el mes de mayo de 2012 cuando se plantaron 60 ha, y el segundo en octubre de 2012 cuando se plantaron 40 ha (Figura 3a). En ambos períodos las plantas presentan un diámetro a la altura del cuello (DAC) con medias que varían de 3,8 a 4,5 cm. En cuanto a la longitud, las plantas presentan unas alturas que van de 15 a 20 cm.

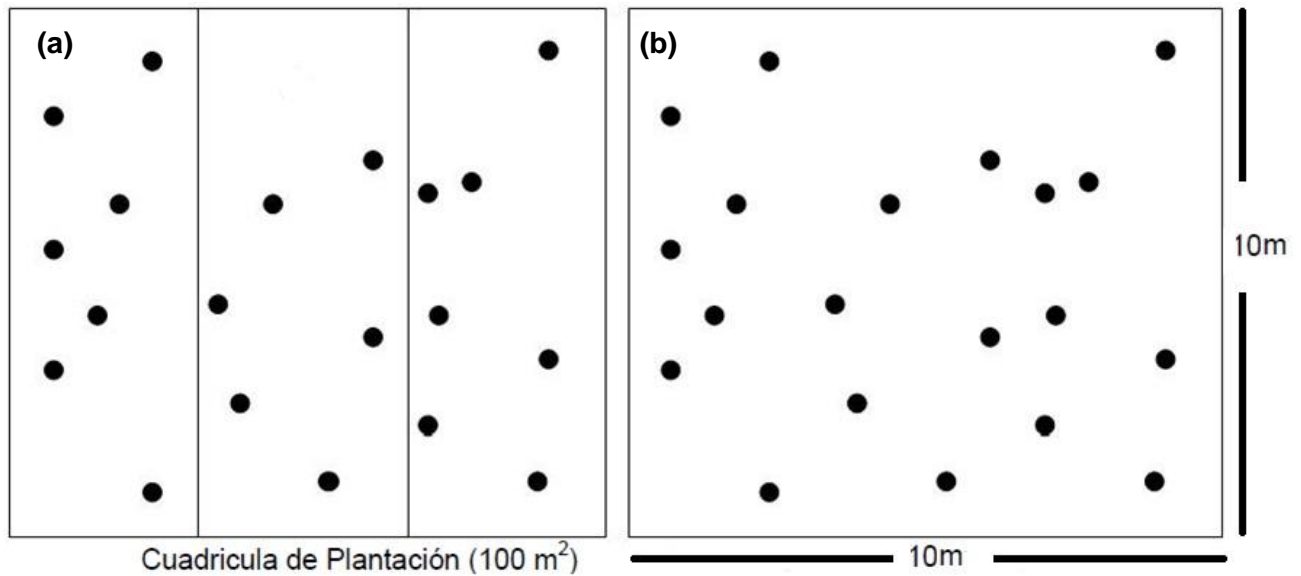


Figura 2. Diagrama de plantación implementado por Patagonia Sur. Los puntos negros representan individuos de *N. pumilio*. **(a)** Las líneas verticales que dividen superficie de 100 m² entre segmentos. Cada rectángulo lateral dispuso de siete plantas, el rectángulo central de seis. **(b)** Representación lineal del esquema de distribución de plantas en el momento de llevar a cabo la plantación.

3.1.2 Diseño experimental

Se implementaron los siguientes tratamientos contra el ataque de herbívoros: (1) se utilizó baño a las plantas con repelente *Pomarsol Forte* (200 litros para unas 52.000 plantas) tan pronto fueron plantadas y (2) se instalaron cercos de malla (Figura 3b). En la plantación del mes de mayo las plantas de 30 hectáreas fueron bañadas con *Pomarsol* previo a la plantación y las otras plantas no. En la plantación de octubre todas las plantas fueron tratadas con *Pomarsol*. Respecto a los cercos, las plantaciones de mayo y octubre tuvieron sectores con y sin cerco de protección (6 cercos para mayo y 7 para octubre). La selección de los sectores al interior de la reserva donde se establecieron los cercos se efectuó por parte de Patagonia Sur. Los cercados fueron implementados durante el mes de octubre de 2012. La superficie que abarca cada cerco es de una hectárea, están diseñados de forma circular y construidos con malla de tramado hexagonal de un 1 metro de alto y 355 metros de perímetro.



Figura 3. (a) Plantadores en faena de establecimiento durante octubre (SNP 2012). **(b)** Vista de los cercos de protección establecidos (cada uno de estos cercos tiene un metro de alto y abarca una superficie de 1 hectárea).

En el Cuadro 1 se presenta un resumen explicativo de los tratamientos ensayados para el control de daño provocado por *L. capensis* y en la Figura 4 su ubicación espacial.

Cuadro 1. Lista de tratamientos aplicados a plántulas de *N. pumilio*.

Tratamiento	Periodo de Plantación	Método de Control			
		Con Repelente (CR)	Sin Repelente (SR)	Con Cerco (CC)	Sin Cerco (SC)
T1 (testigo)	Mayo		X		X
T2	Mayo	X			X
T3	Mayo		X	X	
T4	Mayo	X		X	
T5	Octubre	X		X	
T6	Octubre	X			X

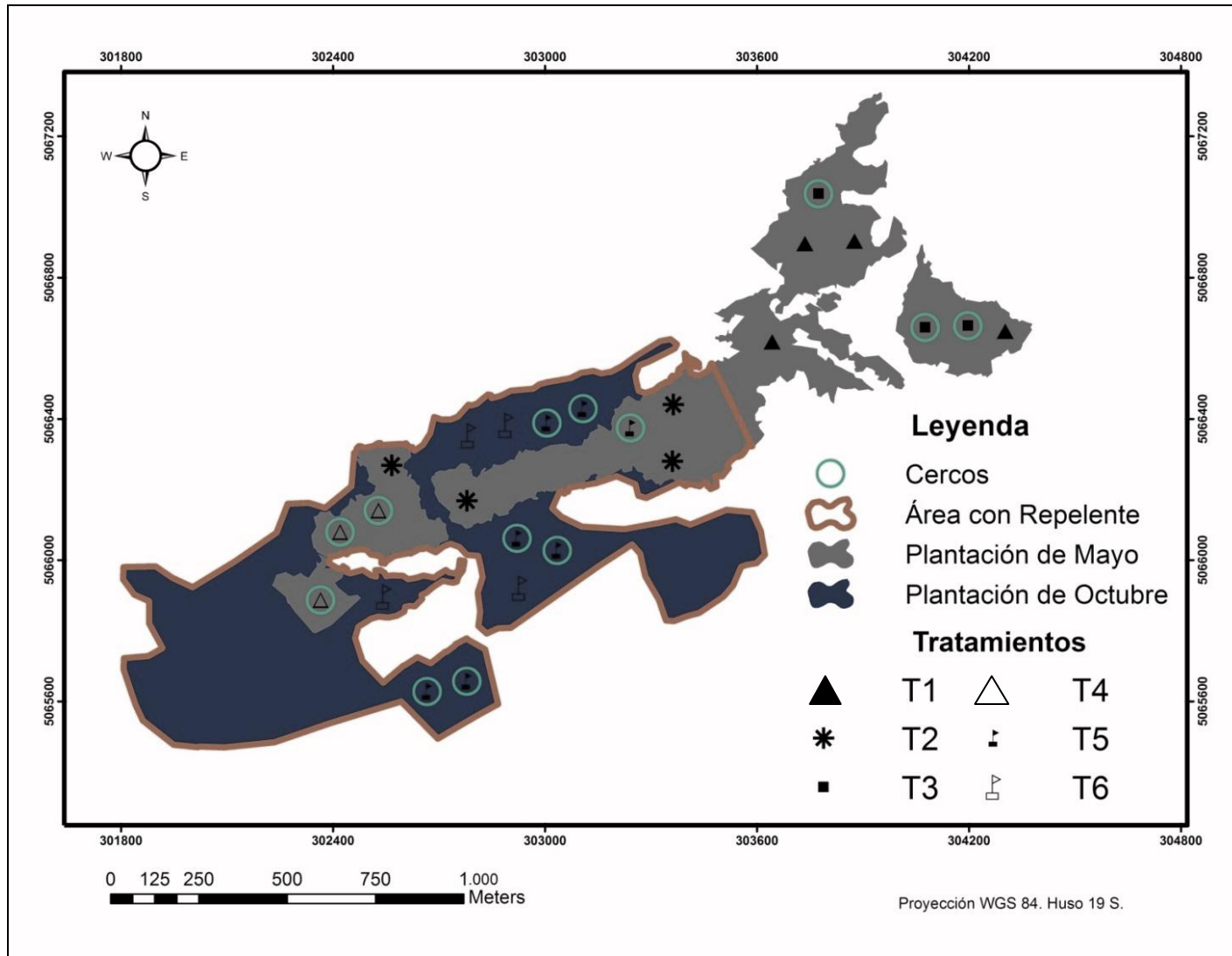


Figura 4. Mapa de ubicación espacial de las plantaciones de *N. pumilio* en la Reserva Nacional Lago Carlotá. En color gris se diferencian las plantaciones del mes de mayo y en color azul las plantaciones de octubre. Los símbolos representan el tipo y la ubicación de los tratamientos (mayor detalle ver cuadro 1).

3.2 Metodología

3.2.1 Evaluación del daño de *Lepus capensis*

Durante los meses estivales de 2013 se realizó un muestreo con 25 parcelas de inventario. Cada una de las parcelas tuvo una superficie de 400 m² (20 m x 20 m). Las parcelas se distribuyeron aleatoriamente al interior de cada tratamiento con el siguiente número de repeticiones: T1 (4), T2 (4), T3 (3), T4 (3), T5 (7) y T6 (4).

En la evaluación de las plantas atacadas y la severidad del daño ocasionado por herbívoros en los distintos tratamientos se consideraron las siguientes variables cualitativas: (1) la identificación de los agentes del daño, como *L. capensis*, y (2) estructura de la planta afectada, como las ramas laterales, la corteza, las hojas, el ápice o si existe un daño total. Para esto, se emplearon apreciaciones descriptivas de las plantas en cuanto a la expresión fisiológica y magnitud del daño. Según Ramírez (1999), la cuantificación apreciativa es de uso común en estudios fenológicos de la vegetación y se utiliza observando distintas plantas y abstrayendo cada característica de estudio a uno de los siguientes porcentajes: >75 -100 (muy alto), > 50 – 75 (alto), >25 – 50 (medio), > 1 – 25 (leve), 0 (inexistente). En este orden de ideas, la implicancia del ramoneo o ataque por parte de libres se evaluó asignando valores equivalente a la dimensión del daño teniendo en cuenta el índice BRI (Browse Rating Index) propuesto por Veblen *et al.* (1989), con valores entre un rango de 0 - 5 conforme al nivel de daño visualizado. Así pues, los equivalentes en este trabajo fueron: con 0 = sin daño; 1 = daño leve (> 1 – 25% de la planta afectada); 2 = daño moderado (>25 – 50% de la planta afectada); 3 = daño grave (> 50 – 75% de la planta afectada), 4 = daño muy grave (>75 - 99% de la planta afectada) y 5 = planta muerta (100% de la planta afectada).

Para evaluar las condiciones favorables o perjudiciales que presentaban las plantas ante factores ambientales o ataques de *L. capensis* se tuvo en cuenta principalmente el vigor de los individuos expresado según la apariencia física del tallo y los componentes foliares. El vigor de las plantas se clasificó en cinco categorías equivalentes a: (1) Planta Seca (planta con coloración café, sin signos de vitalidad y tallo frágil al tacto), (2) Planta Recuperándose (planta de coloración café con algún signo de vitalidad, como rebrotes recientes), (3) Planta Débil (planta de coloración verde a café, carente de hojas y brotes), (4) Planta Fuerte (planta con hojas de coloración verde, preferiblemente con presencia de brotes activos) y (5) Planta Vigorosa (plantas con hojas de coloración verde, evidente crecimiento desde su plantación y

abundante follaje; a su vez, se considerará la supervivencia de las plántulas (planta viva ó muerta). Cabe mencionar que, a través de tablas, gráficos y/o medidas de resumen, la información obtenida de las indicadas variables cualitativas y cuantitativas fue analizada mediante el uso de estadísticas descriptivas en cada tratamiento.

3.2.2 Eficacia de las acciones de conservación

La variable respuesta de la evaluación del daño de *L. capensis* “nivel de daño” fue comparada mediante análisis de varianza, donde los efectos fijos fueron la implementación de cercos perimetrales y el uso de repelentes, además del periodo de plantación. Se verificaron los supuestos de normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas mediante las prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente.

Mediante un ANDEVA de dos vías se compararon interacciones entre factores y sus niveles sobre las variables que representan el daño de herbívoros. Los factores corresponden a repelente, con dos niveles: sin repelente (SR) y con repelente (CR); y cerco, con dos niveles: sin cerco (SC) y con cerco (CC). Las combinaciones entre los factores conforman los tratamientos.

Para la plantación de mayo se evaluaron los factores repelentes y cerco con sus respectivos niveles. En tanto, para la plantación de octubre se consideró sólo el factor cerco junto a los tratamientos de la plantación de mayo que tuvieran repelente, con cerco (CC) y sin cerco (SC); lo anterior constituye el factor período, con dos niveles: mayo y octubre. Esta comparación se hizo debido a que toda la plantación de octubre tuvo repelente y no contó con un escenario sin repelente (SR). Este análisis permitió explicar las correlaciones entre los factores expuestos y determinar si existieran diferencias significativas entre estos tratamientos en función de las variables examinadas. Con el propósito de comprender las interacciones entre los factores y sus niveles de forma independiente, los gráficos y tablas no presentan los seis tratamientos sino las combinaciones de los niveles de cada factor.

3.2.3 Estrategia para la rehabilitación propuesta para el bosque degradado de *Nothofagus pumilio*

Se formularon medidas de rehabilitación para las áreas degradadas de la reserva con metas a largo plazo, trabajadas a una escala local. La propuesta de un modelo conceptual se basó en la revisión de literatura y connotaciones de la planificación en procesos de rehabilitación conforme a esquemas hipotéticos de degradación de ecosistemas naturales (Figura 5), de autores como Whisenant (1999) y Lindenmayer & Franklin (2002), cuyo enfoque se centra tanto en las áreas silvestres protegidas, como en los sectores no protegidos que circundan la zona de estudio.

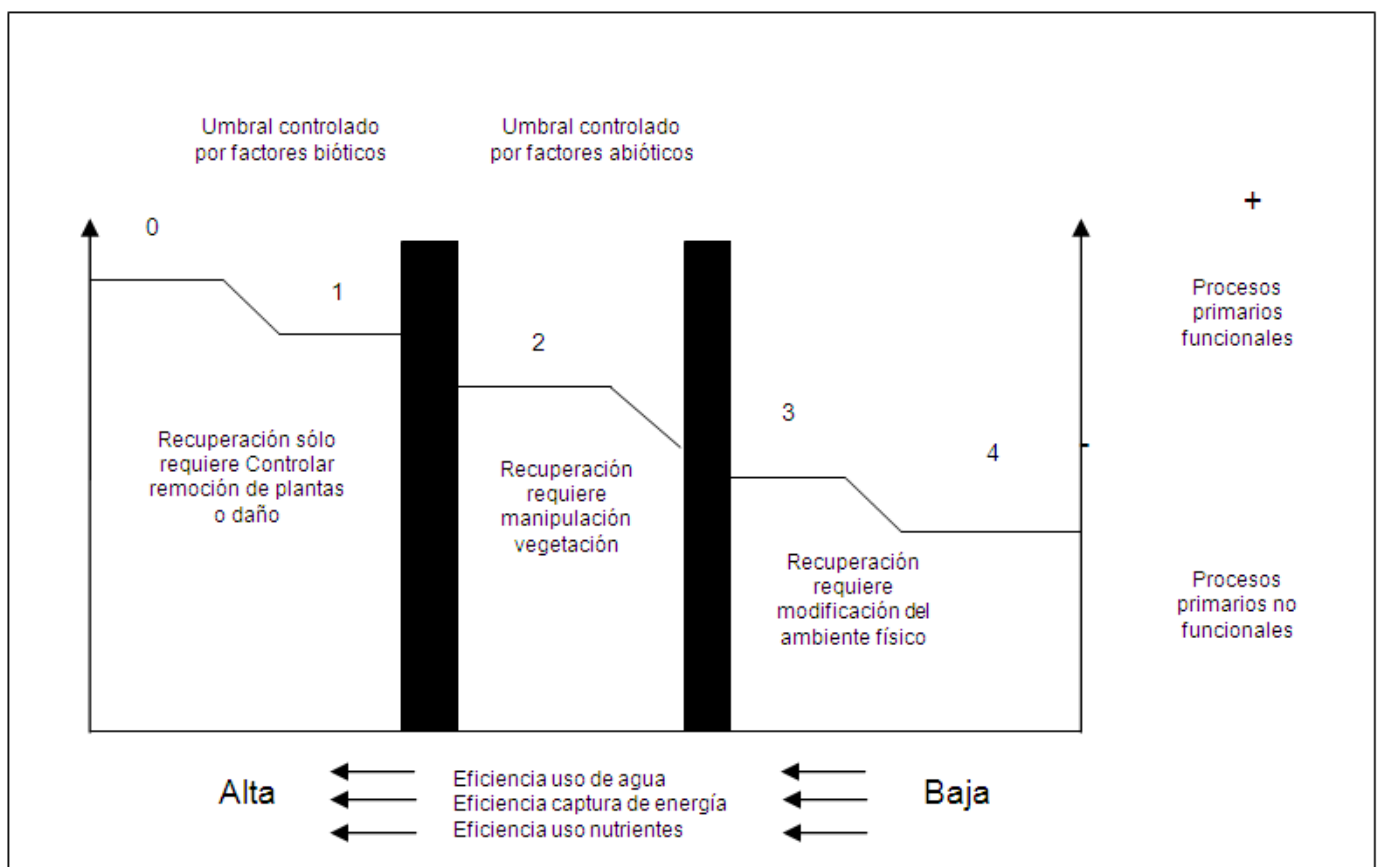


Figura 5. Modelo hipotético de degradación de ecosistemas naturales. Adaptado de Whisenant (1999).

Conforme a los principios de recuperación de Whisenant (1999) se destacó: (1) la recuperación orientada a procesos y (2) la promoción de la recuperación autogénica, considerándose las interacciones con el paisaje. Mientras que en el caso de Lindenmayer & Franklin (2002) se rescató el enfoque amplio y a multiescala que incluye tanto las zonas de reserva, como las que

no la constituyen, considerándose como escala del paisaje desde un punto de vista operativo al área correspondiente a una subcuenca hídrica del Río Cisnes en la que se encuentra inmersa la reserva, como se aprecia en la Figura 6; la subcuenca del Río Cisnes abarca una extensión aproximada de 120.000 hectáreas en la que se encuentran áreas representativas del Bosque Caducifolio de Aysén, la Estepa Patagónica de Aysén y la transición entre estos.

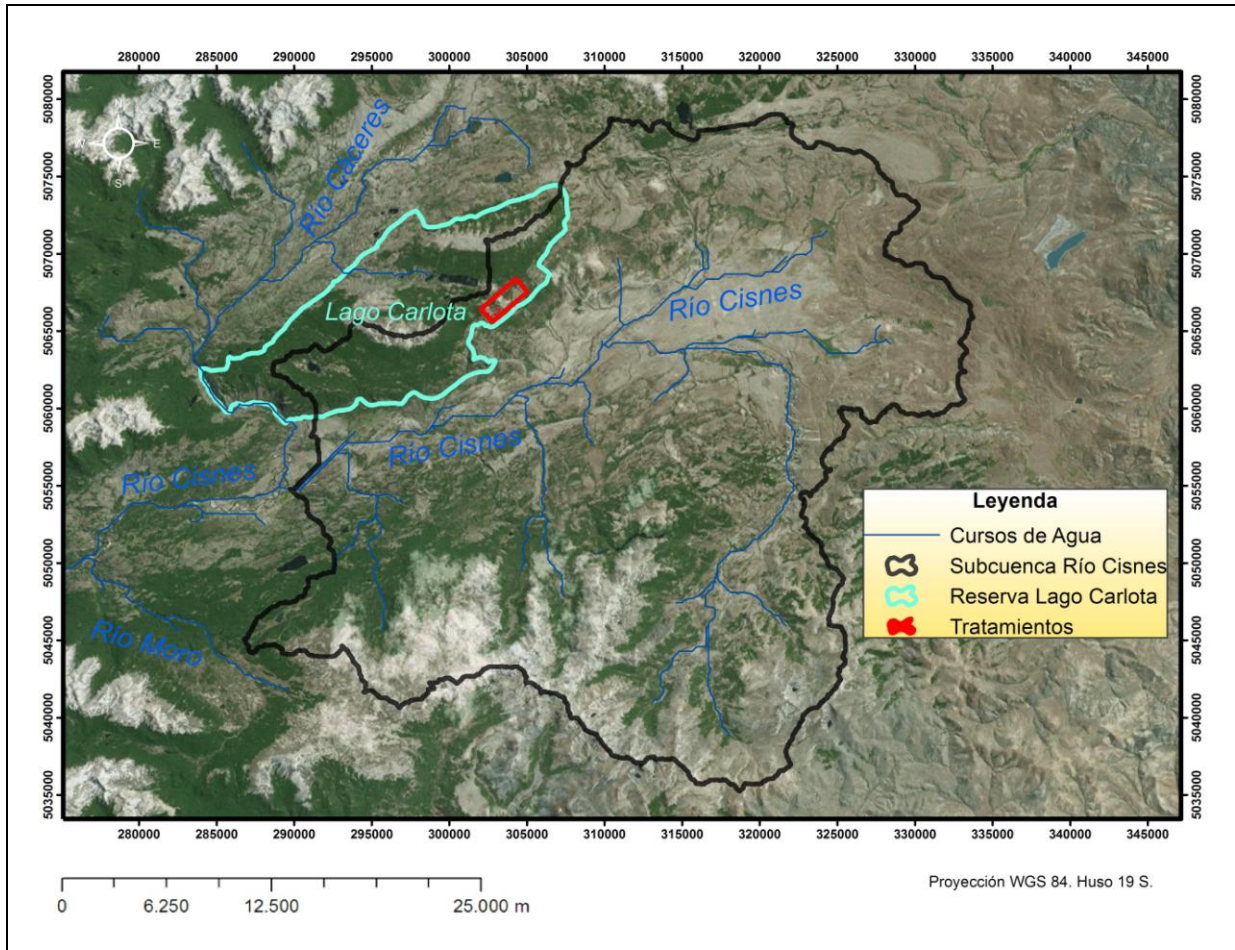


Figura 6. Escala del paisaje: subcuenca del Río Cisnes. En celeste límite de la subcuenca, en azul causas de agua, en negro perímetro de la Reserva y en rojo localización del área a rehabilitar.

De acuerdo a lo anterior, para describir y comprender el estado actual de degradación, así como los procesos de alteración y sucesión del ecosistema, se registró la cobertura vegetal, el grado de erosión, el tipo de erosión, el tipo de sustrato, la pendiente y pedregosidad superficial. Además, se caracterizó la composición florística (riqueza, abundancia e importancia de especies) de cada una de las parcelas de inventario, utilizando la escala de abundancia-dominancia de Braun-Blanquet (1979). También, se identificaron y cuantificaron los elementos que constituyen el paisaje.

4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de daño de *Lepus capensis* y eficacia de los tratamientos

Desde la instalación de la plantación (mayo y octubre de 2012), entre el 24 y 55% de las plantas, en promedio, han sido ramoneadas por *L. capensis*. El porcentaje de plantas dañadas y no dañadas no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p < 0,05$) (Figura 7). El promedio de plantas dañadas en este trabajo no se alejan de los encontrados en otros ensayos de Patagonia Sur, en los que Jara (2013) reporta después de dos años de monitoreo, para *N. betuloides* y *N. antarctica*, daños por *L. capensis* cercanos al 40%.

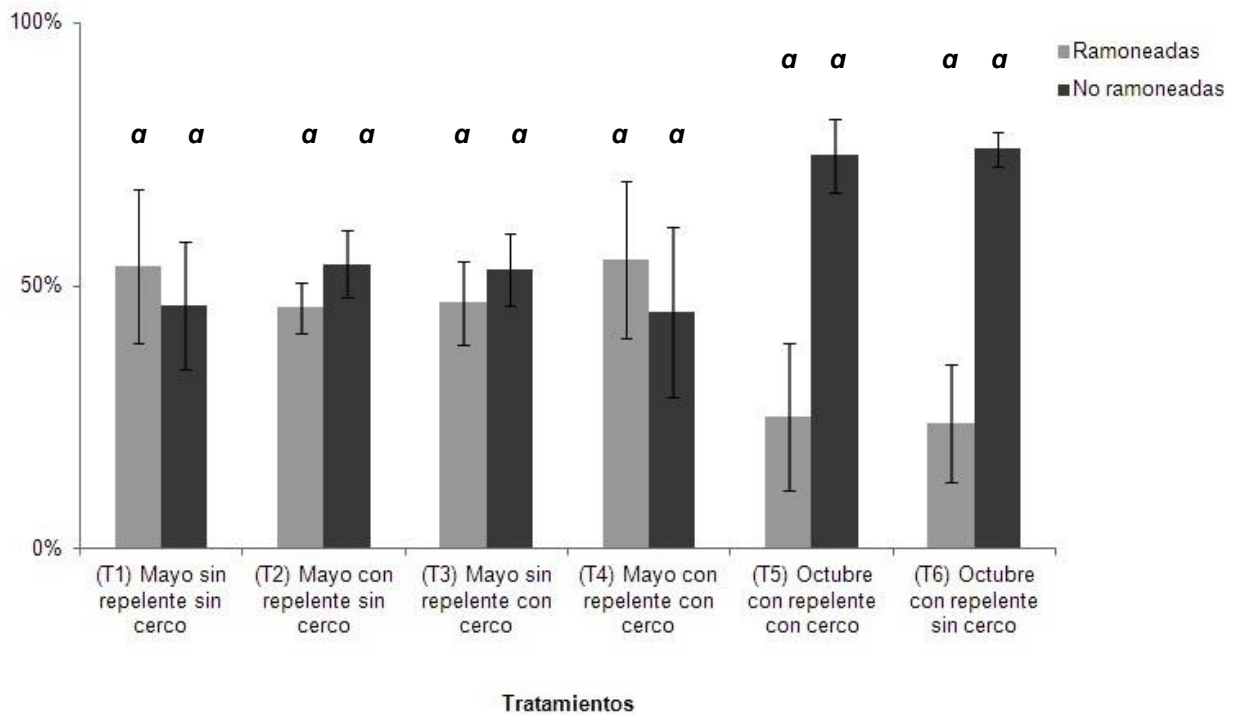


Figura 7. Porcentaje promedio y error estándar de plantas de *N. pumilio* sin y con daño por herbivoría de *L. capensis*. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas en los porcentajes de daño entre los tratamientos (ANOVA de una vía, $p > 0,05$): Aunque no significativo las plantas fueron sustancialmente menos ramoneadas en octubre.

La estructura de las plantas que ha concentrado el mayor daño por herbívoros es el brote apical, con más del 88% de las plantas dañadas con esta estructura afectada. En cambio, las ramas principales y laterales presentan menor cantidad de plantas con este daño (Cuadro 2). Según Bonino (2012) el daño del brote apical no significa la muerte de la planta, pero casi siempre produce ramificaciones, además de la pérdida de la biomasa aérea.

Cuadro 2. Porcentajes del daño ocasionado por *L. capensis* en las distintas estructuras de las plántula de *N. pumilio* para cada tratamiento.

Categoría Estructura	(T1) Mayo sin repelente sin cerco	(T2) Mayo con repelente sin cerco	(T3) Mayo sin repelente con cerco	(T4) Mayo con repelente con cerco	(T5) Octubre con repelente con cerco	(T6) Octubre con repelente sin cerco
Brote apical (BA)	42	69	63	74	77	70
<i>BA y Rama lateral</i>	25	8	19	9	9	4
<i>BA y Corteza</i>	1	0	0	1	0	0
<i>BA y Hojas</i>	1	0	2	2	0	0
Rama Principal	25	20	8	7	2	15
Rama lateral	5	1	6	4	3	2
Corteza	0	2	1	1	7	5
Hojas	1	0	1	2	2	4

La eficacia de los factores cerco y repelente no mostraron diferencias significativas en la mayoría de las categorías del nivel de daño, sólo el repelente obtuvo un efecto significativo en la disminución de la mortalidad de plántulas (Cuadro 4). En cuanto la interacción, en ninguna categoría del nivel de daño hubo interacción entre los factores cerco y repelente. Los factores período y cerco tampoco provocaron un efecto conjunto y no existió interacción en ningún caso. No obstante, el factor período presentó significancia estadística en las categorías sin daño, daño moderado y planta muerta. De modo que en las plantaciones de mayo la presión herbívora fue mayor que en las de octubre y ocasionó niveles de daño que a menudo implica la muerte de la planta, o resulta en un agotamiento de la cubierta vegetal. Lo anterior se explica por el requerimiento biológico de *L. capensis* en épocas invernales ya que la disponibilidad de alimento es menor, como la oferta de gramíneas (Bonino y Cortés 2003). De este modo, la plantación de mayo benefició a *L. capensis* al tener una oferta de alimento.

Cuadro 3. ANDEVA de dos vías y valor de porcentaje promedio de plantas para los factores Repelente (SR = sin repelente y CR = con repelente), Cerco (SC = sin cerco y CC= con cerco) y Período (Mayo y Octubre) sobre la variable respuesta “nivel de daño”.

Factor		Daño Leve	Daño Moderado	Daño Grave	Daño Muy Grave	Planta Muerta
Influencia de cercos y repelente en el nivel de daño						
Repelente	SR	9	12	11	9	13
	CR	13	17	6	8	3
	<i>F (p)</i>	2,21(0,16)	1,06 (0,32)	0,68 (0,42)	0,57 (0,46)	52,7(0,04)
Cerco	SC	8	17	14	8	2
	CC	11	15	9	3	2
	<i>F (p)</i>	0,07 (0,78)	0,06 (0,80)	0,33 (0,57)	0,63 (0,44)	35,1(0,09)
Interacción						
Repelente x Cerco	<i>F (p)</i>	0,06 (0,80)	1,86 (0,20)	0,46 (0,51)	0,30 (0,59)	34,7(0,09)
Influencia cercos y el periodo en el nivel de daño						
Periodo	Mayo	13	17	6	8	3
	Octubre	19	4	4	<1	2
	<i>F (p)</i>	20,8 (0,17)	144,7(< 0,001)	30,5 (0,10)	0,13 (0,72)	49,7 (0,04)
Cerco	SC	11	15	9	3	2
	CC	17	7	3	3	<1
	<i>F (p)</i>	0,65 (0,43)	0,37 (0,54)	0,32 (0,57)	2,91 (0,10)	0,32 (0,57)
Interacción						
Periodo x Cerco	<i>F (p)</i>	0,15 (0,70)	0,86 (0,36)	0,19 (0,66)	2,92 (0,10)	24,1 (0,14)

F = Fisher test; (*p*) = probabilidad. En Anexos se presentan las pruebas de normalidad y homogeneidad para la variable “nivel de daño”. Para cumplir con ambos supuestos los valores presentados en esta tabla se transformaron empleando la raíz de arcoseno.

En cuanto el vigor de las plantas vivas, la mayoría de ellas presentó una condición de planta firme (entre el 44 y 72% de las plantas vivas por tratamiento). Solamente en las plantaciones realizadas en el mes de octubre hubo mayor porcentaje de plantas vigorosas (entre 20 a 25%) que en tratamientos del mes de mayo (entre 3 a 11%) (Cuadro 5).

Cuadro 4. Porcentaje promedio de plantas vivas de *N. pumilio* respecto a la categoría de vigor por tratamientos.

Categoría vigor	(T1) Mayo sin repelente sin cerco	(T2) Mayo con repelente sin cerco	(T3) Mayo sin repelente con cerco	(T4) Mayo con repelente con cerco	(T5) Octubre con repelente con cerco	(T6) Octubre con repelente sin cerco
Seca	20	8	7	8	16	9
Recuperándose	15	25	8	12	5	6
Débil	18	7	10	5	5	11
Firme	44	49	69	72	54	49
Vigorosa	3	11	6	3	20	25

4.2 Incremento en altura de las plantas

El incremento en altura de las plantas sin ramoneo en promedio varió de 3,3 y 5,6 cm/año (Figura 8). En cambio las plantas ramoneadas presentan una disminución en sus tasas de crecimiento, y dependiendo del tratamiento estos van entre 1,7 y 4,3 cm/año. En los tratamientos T1, T2, T5 y T6 se produjeron diferencias estadísticas en el crecimiento de las plantas, siendo estadísticamente mayor en las plantas sin ramoneo, respecto a aquellas plantas ramoneadas ($p < 0,05$).

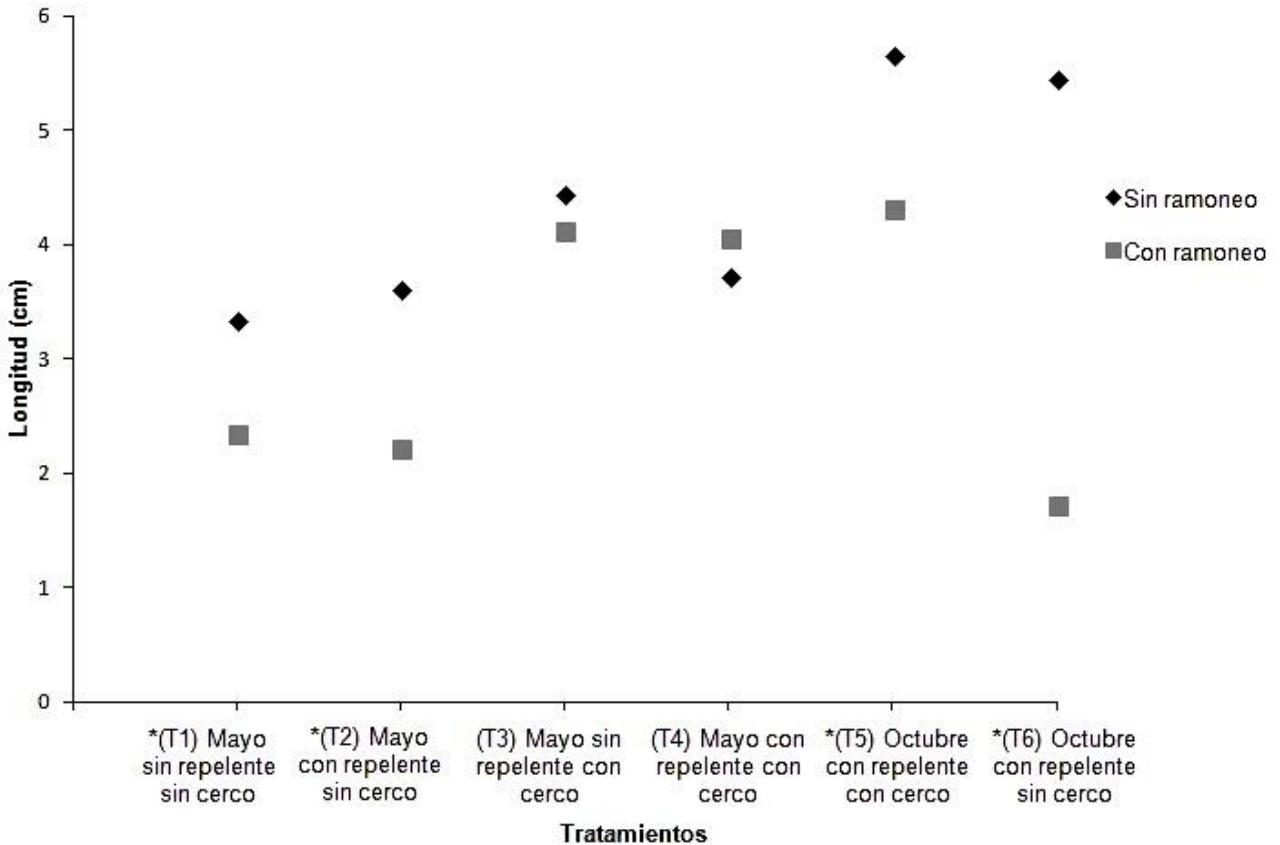


Figura 8. Porcentaje promedio del incremento anual (cm) de las plántulas *N. pumilio* con y sin ramoneo por tratamiento. Prueba T para igualdad de medias ($p < 0,05$)*.

4.3 Modificación de la forma de crecimiento de las plantas

Todas las plantas atacadas (560 individuos) por *L. capensis* modificaron su forma de crecimiento. Estas plantas presentaban solamente un fuste o tallo de vivero y plantadas (SNP 2012). Luego del ataque de *L. capensis* las plantas presentaban entre uno y tres vástagos (tallos secundarios) nuevos, desarrollados posteriormente al ataque. Estos vástagos son ramas laterales que comienzan a competir por dominancia apical. En promedio, en todos los tratamientos, entre 74 y 92% de las plantas atacadas presentaban un vástago (Cuadro 6) y entre 6 y 26% de las plantas dos vástagos secundarios. La presencia de tres vástagos se presentó en algunos tratamientos (2-6% promedio de las plantas).

Cuadro 5. Porcentaje promedio del número de vástagos secundarios para cada tratamiento.

Número de vástagos	(T1) Mayo sin repelente sin cerco	(T2) Mayo con repelente sin cerco	(T3) Mayo sin repelente con cerco	(T4) Mayo con repelente con cerco	(T5) Octubre con repelente con cerco	(T6) Octubre con repelente sin cerco
1	74	87	91	80	88	92
2	26	10	7	20	6	6
3	0	3	2	0	6	2

Así pues, el uso de cercos perimetrales y repelentes, implementados como acciones de conservación en este ensayo, no fueron efectivos para impedir el daño de plántulas de *N. pumilio* ocasionados por el ataque de *L. capensis* en la Reserva Lago Carlota. De modo que la herbivoría aún representa un peligro en el proceso de regeneración de estos bosques.

En síntesis, los resultados expuestos en los objetivos 1 y 2 ponen de manifiesto la necesidad de implementar otras alternativas para la protección de plántulas que permitan la rehabilitación de los bosques de *N. pumilio*. Es imperativo que los individuos de *N. pumilio* superen rápidamente la fase de plántula para evitar que mueran por ataques de *L. capensis*, o que se deformen. Asimismo, de acuerdo a Alberdi (1987), las características microclimáticas ejercen una fuerte presión selectiva sobre las fases iniciales del desarrollo de las especies del género *Nothofagus*, además de otras propiedades fisiológicas relacionadas con el balance hídrico y resistencia a los factores ambientales. De modo que, junto a la herbivoría por parte de *L. capensis*, resultaría pertinente evaluar agentes bióticos y/o abióticos producto del estado degradación del ambiente que podrían incidir en el desarrollo de las plantas, ayudando a reducir el riesgo de fracaso de la plantación.

4.4 Estrategia para la rehabilitación del bosque de *N. pumilio*

4.4.1 Diagnóstico del estado actual del ambiente

Junto a la herbivoría de *L. capensis*, en el área de la plantación con *N. pumilio* se detectaron procesos de alteración abióticos y bióticos que evidencian el estado actual de degradación del ambiente. Entre los procesos abióticos se encuentra la erosión del suelo producto del viento, observándose *in-situ*: (1) disgregación de las partículas del suelo, (2) montículos de arena y

grava superficial y (3) sectores con pequeñas dunas, prevaleciendo suelos expuestos donde 20% presenta erosión ligera y el 80% moderada por la acción eólica. De estos suelos el 70% tiene un sustrato arenoso, el 28% pedregoso y sólo el 2% orgánico (hojarasca) (Figura 9). En el área de la plantación, que se halla en un sitio plano, no se observó erosión del tipo laminar, surcos, cárcavas o zanjas que dieran muestra de un proceso erosivo de carácter hídrico. Según CONAF (1998), el viento en la reserva Lago Carlota es un agente importante causante de la erosión del suelo en los sectores que históricamente fueron sometidos a fuego y pastoreo.

Por otro lado, entre los procesos bióticos se encuentra las formas de vida de la flora nativa e introducida a lo largo de la plantación (Cuadro 7), la cual se caracteriza por la presencia de hierbas perennes y árboles remanentes de *N. pumilio* (Figura 10a). El promedio de árboles de *N. pumilio* (media \pm desviación estándar) por tratamientos están agrupados (60 ± 55 individuos por hectárea), con alturas que alcanzan 8 metros ($5,6\pm 2,3$) junto a hierbas perennes y arbustos (Figura 10b). De estas hierbas y arbustos se registró una riqueza de 40 especies. Las más abundantes son: (1) *Rumex acetosella* L., (2) *Senecio patagonicus* Hook. & Arn., (3) *Baccharis magellanica* (Lam.) Pers., (4) *Anemone multifida* Poir. y (5) *Rytidosperma virescens* (E. Desv.) Nicora, las que alcanzan el 7% de abundancia relativa, y *Mulinum spinosum* (Cav.) Pers., *Acaena pinnatifida* Ruiz & Pav. y *Sisyrinchium patagonicum* Phil. Ex Baker, que alcanza el 5% de abundancia relativa medida como el número de observaciones por especie encontradas en el total de la muestra (toda la plantación). El índice de valor de importancia (IVI) muestra que las especies dominantes con relación al total del número de especies registradas son: (1) *B. magellanica*; (2) *R. virescens*; (3) *A. multifida*; (4) *R. acetosella*; (5) *M. spinosum*. Estas especies no superan 50 cm de altura; el 80 % varía de 5 a 25 cm de longitud y el 20% entre 25 a 50 cm de longitud, ejemplo de esto es *B. magellanica*. Estos resultados son particularmente importantes porque las especies *R. acetosella*, *A. multifida*, y *R. virescens* son típicas de ambientes muy deteriorados (SAG 1999) e indicadores de la condición pobre del suelo (Fuentes *et al.* 2014), lo que permite comprender el estado actual de degradación.

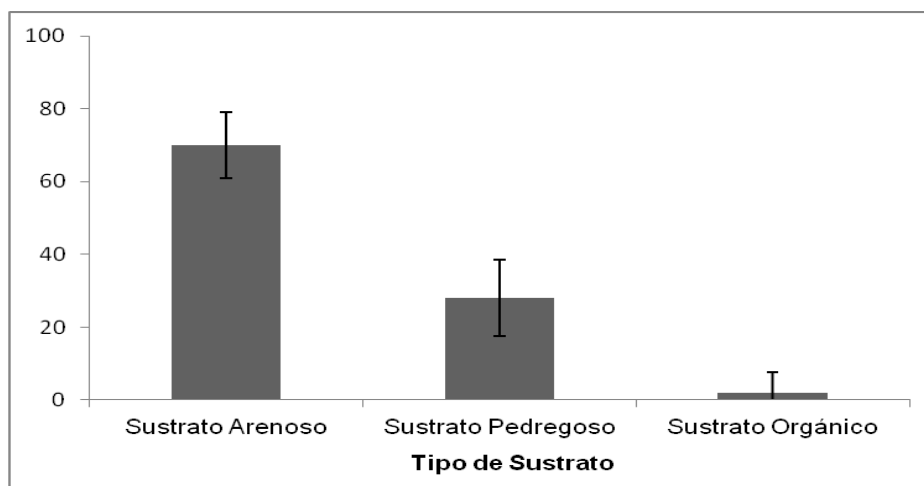


Figura 9. Porcentaje promedio del tipo de sustrato del suelo en las plantaciones de *N. pumilio* en la Reserva Nacional Lago Carlota.

Cuadro 6. Formas de vida de la flora nativa e introducida a lo largo de la plantación de *N. pumilio* en la Reserva Nacional Lago Carlota. Se presenta el número de especies y entre paréntesis el porcentaje con respecto al total registrado (40 especies).

	Anual	Hierba perenne	Subarbusto	Arbusto	Árbol	Total
Nativas	1 (2,5 %)	30 (75,0%)	1 (2,5 %)	5 (12,5%)	1 (2,5 %)	38 (95,0%)
Introducidas	0 (0,0%)	2 (5,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (5,0%)
Flora Total	1 (2,5 %)	32 (80,0%)	1 (2,5 %)	5 (12,5%)	1 (2,5 %)	40

A partir del trabajo desarrollado por Whisenant (1999), los síntomas expuestos respecto al estado actual del ambiente y la presión herbívora por parte de lagomorfos, se desprende que en el área de la plantación de *N. pumilio* se han superado dos umbrales importantes de degradación: (1) un umbral controlado por factores bióticos, como la herbivoría por parte de *L. capensis* y la presencia de especies vegetales típicas de matorral o pradera que no deben encontrarse en bosques de *N. pumilio*, y (2) un umbral controlado por factores abióticos, como la erosión eólica. Conforme al modelo hipotético de degradación de Whisenant (1999), estas limitaciones físicas y bióticas son propias de un ambiente que se sitúa en un nivel 3 de degradación, lo que implica la alteración de procesos fundamentales como: (1) el ciclo de nutrientes, (2) el flujo de agua y (3) captura de energía o producción primaria neta. Lo anterior es consistente y se sustenta con las especies y formas de vida predominantes de la flora nativa del lugar, cuya estructura y composición revela el pasado y presente del sitio de la plantación.

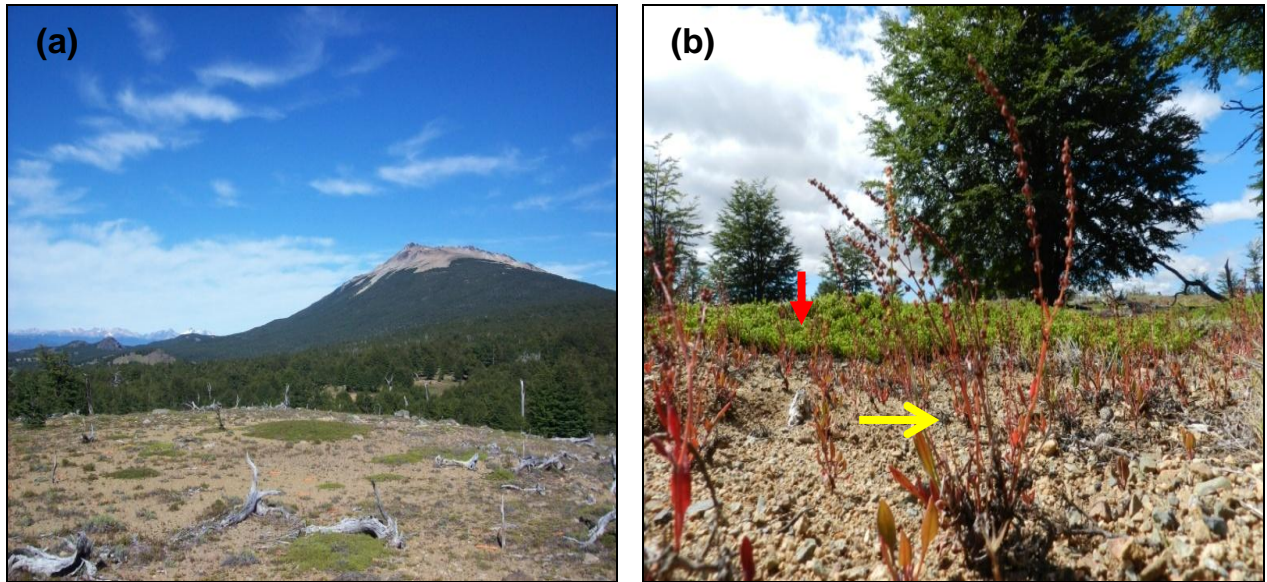


Figura 10. (a) Ejemplo del estado de degradación del ambiente nivel 3. **(b)** Especies representativas de los sectores degradados: *Rumex acetosella* (flecha amarilla) y *Baccharis magellanica* (flecha roja).

De acuerdo a Whisenant (1999), para recuperar el ecosistema de este nivel de degradación es imperativo subsanar los umbrales controlados por factores abióticos y bióticos, siendo necesarias modificaciones del ambiente como: (1) el control de erosión, (2) la protección de la superficie del suelo, (3) el mejoramiento de las condiciones microambientales, (4) el aumento de la capacidad de retención de agua y nutrientes, y (5) el control estricto de la herbivoría.

4.4.2 Consideraciones del paisaje

Los parches del bosque nativo adulto, en la subcuenca del Río Cisnes que se ha considerado como escala del paisaje, representan más del 11% del total de parches cuantificados, casi todos estos corresponden a bosques de *N. pumilio* (Cuadro 8). Existe conectividad entre los parches de las áreas abiertas desde y al interior de la Reserva, principalmente por bosques abiertos, praderas degradadas y pastizales naturales. Las áreas abiertas sin bosque más representativas son: matorral pradera (14,0%), y praderas (21,2%). Teniendo en cuenta el comportamiento de *L. capensis*, estos ambientes son lugares que favorecerían su movilidad (Grigera y Rapoport 1983, Bonino 2012).

Cuadro 7. Número de parches, tamaño y proporción en el paisaje de la subcuenca del Río Cisnes.

USOS TIERRA	Ha	Número de parches	%
Áreas sin vegetación	7.177	20	1,1
Áreas urbanas e industriales	27	2	0,1
Bosques			
<i>Bosque Nativo Adulto (N. pumilio)</i>	18.708	209	11,8
<i>Bosque Nativo Adulto-Renoval</i>	9.000	42	2,4
<i>Bosque Nativo-Exóticas Asilvestradas</i>	27	5	0,3
<i>Bosques Achaparrados</i>	25.527	509	28,7
<i>Renoval</i>	2.473	80	4,5
Praderas y Matorrales			
<i>Matorral</i>	4.300	145	8,2
<i>Matorral Arborescente</i>	2.109	66	3,7
<i>Matorral-Pradera</i>	13.873	249	14,0
<i>Praderas</i>	37.576	376	21,2
Plantaciones	88	7	0,4
Cuerpos de agua	780	44	2,5
Humedales	353	18	1,0
Nieves y glaciares	7	1	0,1

4.4.3 Estrategia de rehabilitación propuesta para el bosque de *N. pumilio*

Para *N. pumilio* se ha propuesto que en sectores abiertos, tales como los que pueden encontrarse en los bosques degradados de la Reserva Lago Carlota, la supervivencia de la especie es mayor cuando ésta es plantada en grupos (Fajardo y McIntire 2011). Esto se debería a que en los bordes de bosques de *N. pumilio* se ha encontrado un patrón de individuos en que se presentan con multi-fuste (Fajardo y McIntire 2010, Till-Bottraund *et al.* 2012). Antecedentes en Tierra del Fuego del estudio de los patrones de distribución de *N. pumilio* dan muestra que la atracción de los individuos predomina entre los árboles de los bosques de esta especie, independiente de la calidad de sitio (Lencinas *et al.* 1998). Basado en Szwagrzyk (1990), es probable que tal distribución agrupada se deba a la existencia de cooperación a través de las raíces entre los individuos vecinos. Esto es consistente con el estudio de Till-Bottraund *et al.* (2012), que sugiere que tales agrupaciones pueden estar relacionadas para una mejor adquisición de recursos o una mejor estabilidad estructural contra el viento. También da soporte a lo reportado por Fajardo y McIntire (2010), quienes han demostrado que los grupos (o

núcleos) funcionan como un mecanismo de facilitación de plantas a través de la fusión de los individuos.

Algunos autores sugieren que las plantaciones en grupo son útiles en sistemas en los cuales el establecimiento y desarrollo de plántulas está limitada por condiciones de estrés ambiental (Corbin y Holl 2012). Para Shönenberger (2001), las plantaciones en grupo pueden llegar a tener varias ventajas, dentro de las cuales se encuentran: (1) la mortalidad de las plantas debería ser más baja que en plantaciones tradicionales, con plantas homogéneamente distribuidas, y que pueden llegar a establecerse los grupos de plantaciones en micrositos con condiciones favorables para las plantas, (2) los crecimientos de las plantas pueden llegar a ser mejores, debido a las condiciones microclimáticas que se pueden llegar a generar en cada uno de los grupos, (3) las plantas que están hacia fuera del grupo, tenderán a proteger a las plantas centrales del posible daño de herbivoría, y (4) las plantas se protegerían de posibles daños por el viento y desecamiento invernal. Asimismo, los núcleos atraen dispersores y facilitan el establecimiento de nuevas plantas (Yarranton y Morrison 1974).

De acuerdo a Saha *et al.* (2013), la técnica de plantación en núcleos complementada con la regeneración natural se consolida como un modo de reforestación que asegura el crecimiento de un número suficiente de árboles de la especie deseada, en la que se reducen costos de establecimiento y se mejoran las condiciones circundantes al núcleo, permitiendo la regeneración de individuos que probablemente morirían por malas condiciones de sitio. Además, en individuos de plantas que no tiene buen control epinástico, como los de *N. pumilio*, y con tendencia a bifurcarse tempranamente, las plantaciones densas podrían ser una alternativa para solventar este problema, en donde la competencia lateral entre las plantas podría ayudar a mejorar la forma de crecimiento en altura (Promis 2014)⁵.

Por otro lado, es ampliamente reconocido que las plantas nodrizas facilitan el establecimiento y el crecimiento de otras especies (Raffaele y Veblen 1998, Corbin y Holl 2012). El aumento de arbustos y árboles nodrizas como una estrategia para la recuperación de las comunidades de especies leñosas es clave (Gómez-Aparicio 2009). En este sentido, la estabilidad ecológica puede recuperarse más rápidamente mediante la plantación de especies nodrizas que cumplan con las funciones básicas de protección (OIMT 2002), favoreciendo la sucesión natural (Rovere, 2008). Tomando en consideración la teoría clásica de Clements (1936), estas plantas

⁵ Promis, A. 2014 . [Comunicación Personal]. Profesor asociado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza.

generarían un efecto sobre el ambiente físico que subsecuentemente se retroalimenta con la vegetación. Ejemplo de esto es que mejoran los sitios por sombra (reducción de las tasas de evaporación del agua en el suelo debido a la sombra), humedad, reducción de la fuerza del viento y temperatura del suelo (Whisenant 1999), la mejora de la disponibilidad de nutrientes debido a la fijación de nitrógeno y la producción de hojarasca (Maestre *et al.* 2003), y la protección contra herbívoros (Raffaele y Veblen 1998).

Además se debe considerar que, de acuerdo a Romanyà *et al.* (2005), *N. pumilio* crece mejor en suelos ricos en fósforo soluble. Según Veblen *et al.* (1996), la falta de materia orgánica y nutrientes puede ser uno de los factores limitantes para la regeneración de *N. pumilio*. Para superar este tipo de limitaciones autores han propuesto orientar procesos en torno a la sucesión natural (Whisenant 1999), siendo importante crear o aumentar micrositios que, como lo mencionan Harper *et al.* (1965), son aquellos lugares en donde las semillas pueden germinar sobre un conjunto de condiciones ambientales adecuadas para su posterior establecimiento y crecimiento.

Considerando los resultados obtenidos en este estudio, que dan muestra de la poca eficacia de la protección de la plantación en el Lago Carlota y que ponen de manifiesto la necesidad de subsanar umbrales controlados por factores abióticos y bióticos, se propone como plan de rehabilitación del bosque de *N. pumilio* seguir una estrategia silvícola basada en núcleos (Figura 11a), la que implica la plantación de pequeños parches de árboles como áreas focales para la recuperación del bosque (Corbin y Holl 2012). Se explora la posibilidad de plantar *N. pumilio* junto a *Embothrium coccineum* J. R. Forst. et G. Forst (notro) al interior de la Reserva como un mecanismo alternativo para incorporar nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas de *N. pumilio* y mejorar las condiciones microambientales. Según Mathiasen *et al.* (2007), *E. coccineum* posee raíces proteoideas que le permite aumentar la superficie de absorción, obteniendo mayor cantidad de agua y nutrientes del suelo, principalmente el fósforo. Conforme a Piper *et al.* (2013) esto lo logra secretando ácidos y enzimas que solubilizan el fósforo desde el sustrato inorgánico. Además, Piper *et al.* (2013) y Rovere (2010), señalan que tal conversión ocurre en la rizósfera, por lo que posiblemente esta especie permita el crecimiento de otras especies a su alrededor.

Si bien no se cuenta con antecedentes que indicaran una positiva interacción entre *E. coccineum* y *N. pumilio*, el proceso de facilitación en los grupos de plantas aumenta bajo condiciones de estrés abiótico (Maestre *et al.* 2003), mientras que la competencia es más importante en

ambientes con mayor oferta de recursos (Callaway 1997). Se sabe que la especie *E. coccineum* es pionera en terrenos abiertos (Quintanilla 2005), se asocia con *N. pumilio* (Donoso 1981) y es considerada como especie facilitadora⁶ (Rovere 2010), cuyas raíces proteoides le permiten captar nutrientes en suelos con bajo nivel disponibilidad de estos (Mathiasen *et al.* 2007). Esto concuerda con Piper *et al.* (2013), quienes han comprobado que las raíces de *E. coccineum* son capaces de capturar el fósforo, e incluso el nitrógeno, en ambientes inhóspitos (como los sometidos a incendios y ganadería de la Región de Aysén). Estos nutrientes son esenciales para la vida de las plantas, siendo el nitrógeno uno de los nutrientes más limitantes en comunidades de plantas silvestres (Vitousek *et al.* 2010).

Así pues, basado en el modelo de Szymanski (1986), se propone plantar *E. coccineum* en el perímetro del núcleo (primeras hileras), y en la zona centro las plantas de *N. pumilio* (Figura 11b). En el tiempo, se espera que la cubierta arbórea se expanda a través del crecimiento de los árboles y nuevas colonizaciones (Corbin y Holl 2012), recuperando lentamente las zonas desprovistas de vegetación a través del proceso de sucesión vegetal.

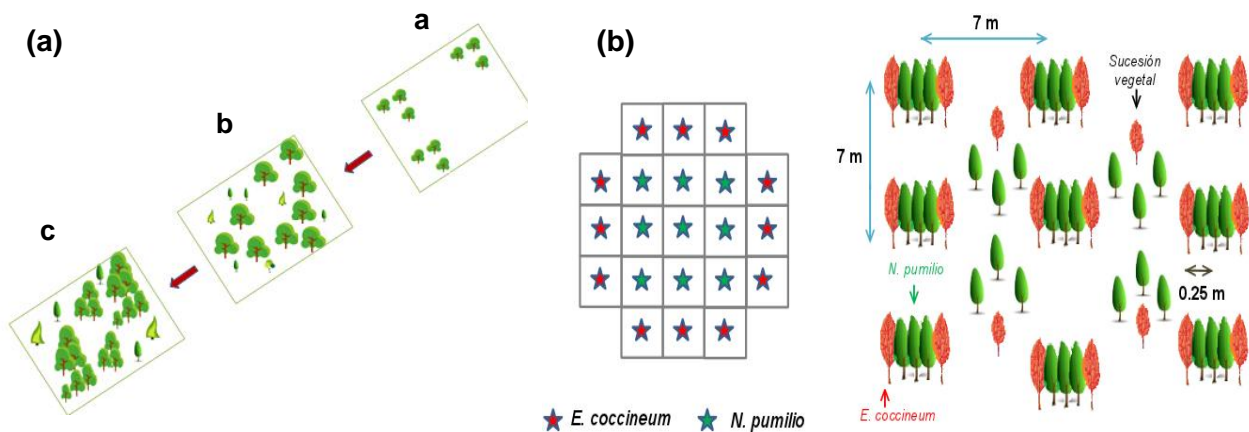


Figura 11. (a) Desarrollo de núcleos. Adaptado de (Corbin & Holl 2012). En la etapa inicial se establecen los núcleos (a), con el tiempo se favorece la dinámica de regeneración (b). Con el tiempo se conforman parches relativamente unidos. (b) Diseño de nido: 7 × 7 de espacio entre los nidos. Ejemplo de la dinámica de clúster de plántulas plantadas de manera agregada. Adaptado de Szymanski (1986).

Considerando a Schmidt *et al.* (2003) y Escobar *et al.* (2006), en la Figura 12 se proyectan las etapas de desarrollo que se espera la plantación de *N. pumilio* siga durante la fase de regeneración junto a *E. coccineum*. En esta proyección no se recrean todas las especies

⁶ Facilitación tiene lugar cuando una especie mejora la supervivencia o el crecimiento de otra (Callaway 1997).

vegetales originalmente presentes sino aquellas que actuaran en la recuperación del ambiente hasta superar la fase de desarrollo de *N. pumilio*, para que posteriormente no se necesiten de más intervenciones y los servicios ecosistémicos sean re-establecidos.

En este orden de ideas, dentro de la superficie a rehabilitar (100 ha) por cada hectárea se dispondrán entre 50 a 55 núcleos, formando una red de núcleos separados cada 7 m. Cada núcleo contendrá 8 plantas de *N. pumilio* en el centro de éste y el borde del núcleo con 12 plantas de *E. coccineum*. Cada planta debe establecerse dentro de una superficie de 1m², teniendo el núcleo un total 20 m² de superficie y cuyo propósito a futuro es lograr el éxito de que al menos una planta continúe fases de desarrollo mayores dentro de la superficie de 20 m². Así pues, para la fase de crecimiento óptimo se espera una densidad de al menos 50 árboles por hectáreas. Para el control de *L. capensis* se propone la protección con tubos shelters. El uso de estos tubos de protección ha mostrado resultados positivos para el control de la herbivoría, permitiendo además mejorar las condiciones microambientales alrededor de la planta a través de la reducción de la fuerza del viento y el aumento de la humedad relativa (Whisenant 1999).

Otras actividades que acompañan esta estrategia de rehabilitación propuesta para áreas degradadas en la Reserva Nacional Lago Carlota se presentan en el Cuadro 9.

Finalmente, con esta Actividad Formativa Equivalente se pretende generar propuestas y estrategias de rehabilitación aplicables para favorecer la recuperación de bosques degradados de *N. pumilio* a lo largo de la Patagonia chilena, siguiendo una línea de conservación de la naturaleza. Así pues, en el campo de la conservación este trabajo puede utilizarse en ensayos de rehabilitación y restauración ecológica de los bosques templados de *N. pumilio* en Áreas Silvestres Protegidas de Aysén, así como en los paisajes fragmentados por los incendios históricos ocurridos en la Patagonia chilena, con el propósito de incrementar la biodiversidad y restituir servicios ecosistémicos de interés para el bienestar humano, como la regulación hídrica, control de la erosión, secuestro de CO₂ y estética del paisaje.

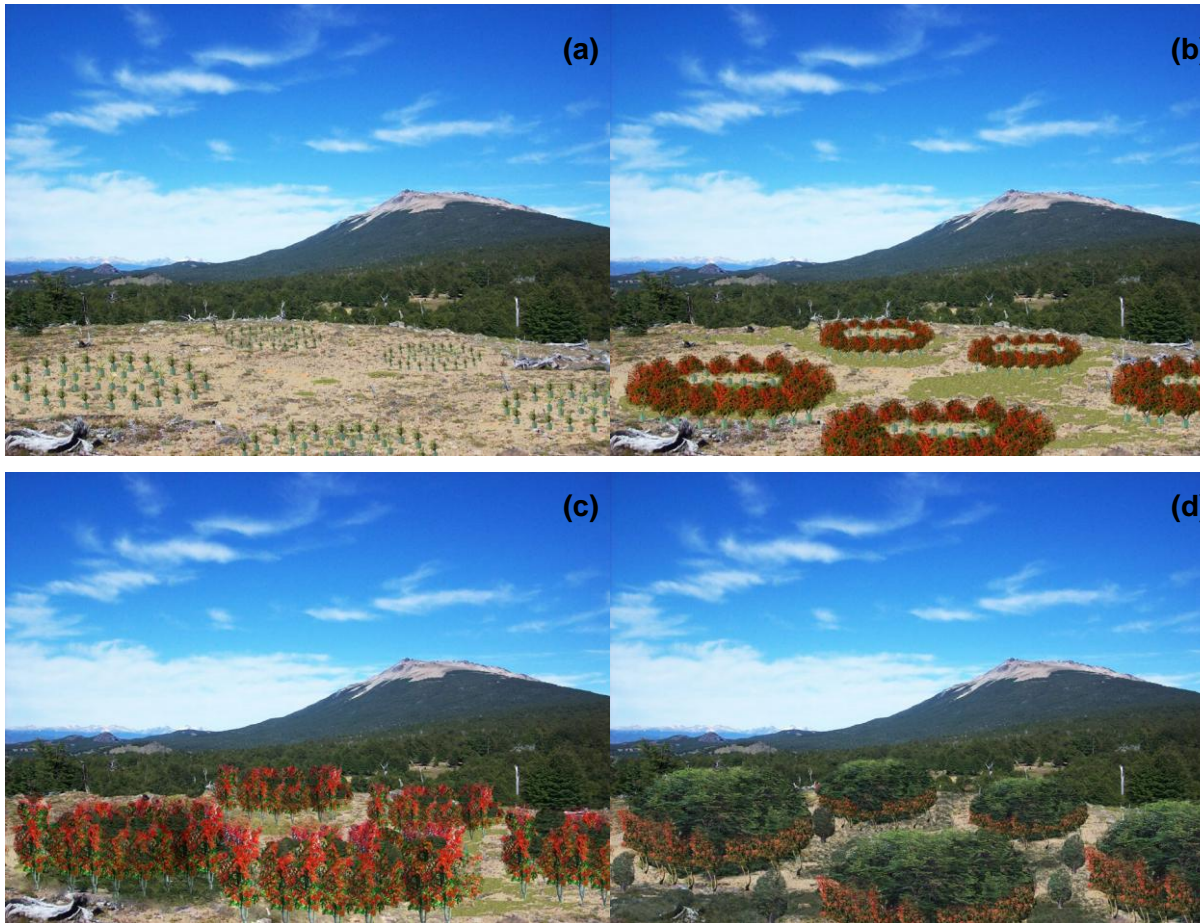


Figura 12. Etapas de desarrollo esperadas con el establecimiento de núcleos: (a) establecimiento de la plantación, se protegen las plantas periféricas (*E. coccineum*) y del centro (*N. pumilio*) con tubos shelters; (b) plantación en 5 años, *E. coccineum* alcanza entre 3 a 4 m, mientras que *N. pumilio* alcanza 1 m; (c) plantación en 25 años, *E. coccineum* alcanza 6 a 7 m mientras que *N. pumilio* alcanza 4 m; (d) plantación en 50 años, *E. coccineum* alcanza 8 m mientras *N. pumilio* alcanza entre 7 a 8 m, se espera regeneración natural de las plantas de ambas especies e iniciación de sotobosque.

Cuadro 8. Estrategia de rehabilitación propuesta a aplicar en áreas degradadas en la Reserva Nacional Lago Carlota.

Actividad	Descripción y foco de la actividad
<i>Protección de herbívoros</i>	Proteger las plantas contra herbívoros domésticos. Es necesario mejorar y/o construir cercos en el perímetro de la Reserva ya que se evidenció en terreno que en varios sectores limítrofes no se cuenta con éstos, lo que permite el ingreso del ganado, principalmente desde la Estancia Río Cisnes.
<i>Control Biológico</i>	Aumentar la densidad de aves rapaces, como el <i>Bubo magellanicus</i> , que incluye en su dieta un alto porcentaje de <i>L. capensis</i> (Celis-Diez <i>et al.</i> 2011). Para esto, teniendo en cuenta a Muñoz-Pedrerros <i>et al.</i> (1996) sería necesario atraer las aves por medio de la construcción de cajas para nidos y perchas-posadera, dentro y fuera de la reserva, específicamente en los ambientes de pradera o lugares abiertos. Para la viabilidad de esta medida se sugiere llevar a cabo una investigación que determine el número de nidos y perchas-posadera necesarias, así como los lugares apropiados para su construcción.
<i>Mejoramiento de suelos</i>	Mejorar la rugosidad del terreno empleando surcos de contorno en zonas de pendiente y depresiones en las zonas planas. Se busca crear sitios seguros para las semillas de <i>N. pumilio</i> . Además, utilizar troncos de los árboles muertos de forma ordenada para capturar y retener nutrientes, favoreciendo la formación de materia orgánica.
<i>Manejo de la vegetación actual</i>	Se propone no remover las plantas nativas e introducidas y mantener el efecto pasivo de éstas en el área de la plantación de <i>N. pumilio</i> , como la reducción de la fuerza del viento y condiciones de micrositio. La vegetación preexistente puede tener grandes repercusiones en el éxito del establecimiento y desarrollo de especies en sistemas degradados (Gómez-Aparicio 2009), al mismo tiempo, son oportunas para iniciar una recuperación autogénica (Whisenant 1999).

Cuadro 8. (Continúa).

<i>Riego</i>	Mejorar las condiciones hídricas de la plantación aplicando riego con mangueras a las plantas de <i>E. coccineum</i> . Se pretende generar un ambiente óptimo que ofrezca mayor rendimiento en crecimiento de dichas las plantas.
<i>Cortinas cortavientos</i>	Analizar la viabilidad de establecer cortinas forestales en forma de cortavientos, donde los arbustos nativos y <i>E. coccineum</i> se presentan como una alternativa en los sectores abiertos sin bosque.
<i>Participación de la comunidad circundante</i>	<p>Incorporar un plan de manejo integrado de <i>L. capensis</i> en el que se divulgue y brinde información dirigida a pobladores y/o agricultores, a escala local (predios rurales) y regional (múltiples municipios), para el uso correcto de los métodos de control (directos e indirectos) con el fin de promover la erradicación de esta especie exótica invasora en Aysén y otras regiones.</p> <p>Dicho plan de manejo requiere de incentivos (económicos), por lo que se propone que en conjunto con la actividad de rehabilitación de la Reserva Lago Carlota se trabaje en desarrollar actividades turísticas, promoviendo los atractivos naturales y culturales, orientándose a un desarrollo turístico rural a través del trabajo mancomunado con la municipalidad y los servicios turísticos ya existentes. El municipio actualmente a través de su sitio web promueve dos servicios turísticos, uno de ellos localizado en Lago Carlota, en este mismo sentido se hace necesario que las actividades agroganaderas y forestales como actividad económica primaria puedan enlazarse o funcionar como clúster para diversificar, apalancar y dar mayor atractivo a las actividades turísticas de perfil rural – agroganadera. El accionar de la comunidad es fundamental para asentar las bases que aseguren el cuidado del medio ambiente, pero que a su vez se vuelquen a una instancia de participación productiva en que tanto el ambiente como la sociedad se vean beneficiados.</p>

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de cercos perimetrales y repelentes, implementados como acciones de conservación, no fueron efectivos para impedir el ataque de *Lepus capensis* y subsecuente daño de plántulas de *Nothofagus pumilio* en la Reserva Nacional Lago Carlota, por lo que se presentaron importantes niveles de daño sobre las plántulas de todos los tratamientos, especialmente en los de mayo. En este ensayo, evidencia empírica mostró que este daño sobre los individuos de *N. pumilio* hizo que estos tendieran a modificar su forma de crecimiento a través de la formación de brotes laterales que compiten por la dominancia apical, afectando el normal desarrollo de las plantas (deformándolas).

Agentes bióticos (erosión eólica) y/o abióticos (alta cobertura herbácea perenne), inherentes al estado de degradación del ambiente al interior de la Reserva Lago Carlota (nivel 3 conforme al modelo hipotético de degradación de Whisenant (1999), reflejan la necesidad de no sólo proteger a las plantas de *N. pumilio* contra herbívoros, sino además de implementar mecanismos de facilitación para mejorar las condiciones microambientales durante la fase de desarrollo inicial de las plántulas. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de abordar acciones alternativas para la recuperación de los bosques de *N. pumilio*. Para ello, se propuso una estrategia de rehabilitación con plantaciones en núcleos, incorporando la facilitación de las plántulas de *N. pumilio* a través de la planta nodriza promisoría, *Embothrium coccineum*. Se proyecta superar la fase de regeneración de *N. pumilio* y alcanzar el crecimiento óptimo con una densidad de al menos 50 árboles por hectárea.

Finalmente, en el campo de la conservación, esta propuesta puede utilizarse en trabajos de rehabilitación o restauración ecológica de los bosques templados de *N. pumilio* en Áreas Silvestres Protegidas de Aysén, así como en los paisajes fragmentados por los incendios históricos ocurridos en la Patagonia chilena, con el propósito de restituir servicios ecosistémicos de interés para el bienestar humano y el patrimonio ambiental de Chile.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALBERDI, M. y DONOSO, C. 2004. Variación en *Embothrium coccineum* J.R et G Foster (Notro o Ciruelillo). En: DONOSO, C., PREMOLI, A., GALLO, L., IPINZA, R. (Eds.). Variación Intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Santiago de Chile: Editorial Universitaria. pp. 345–355.

ATKINSON, I. A. 2001. Introduced mammals and models for restoration. *Biological Conservation* 99: 81-96.

BAVA, J. y RECHENE, C. 2004. Dinámica de la regeneración de lenga (*Nothofagus pumilio*) como base para la aplicación de sistemas silvícolas. En: ARTURI, M. FRANGI, J. GOYA, J. (Eds.). Ecología y manejo de los bosques de Argentina. La Plata, Argentina. Laboratorio de Investigaciones de Sistemas Ecológicos y Ambientales. Facultad de Cs. Agr. y Forestales-Fac. de Cs. Nat. y Museo, Universidad Nacional de La Plata. pp.1-24.

BONINO, N. A. 1995. Introduced mammals in Patagonia, southern Argentina: consequences, problems, and management considerations. pp. 406-409.

BONINO, N. y CORTÉS, G. 2003. Prevención del daño ocasionado por algunas especies de fauna silvestre y ganado doméstico en las forestaciones. INTA, EEA Bariloche, Argentina. Comunicación Técnica RN Fauna 144: 1-5.

BONINO, N. A. 2012. Liebres: animales perjudiciales de plantaciones forestales y de otros cultivos. Grupo de Ecología y Manejo de Pastizales y Fauna Silvestre. Bariloche: EEA INTA 19: 87-90.

BRAUN BLANQUET, J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. H. Blume Ediciones. Madrid. 820 p.

BRICKER, M., PEARSON, D., y MARON, J. 2010. Small-mammal seed predation limits the recruitment and abundance of two perennial grassland forbs. *Ecology* 91: 85–92.

CALDERON, G. 1993. La explotación de *Nothofagus* al tapete. *Chile Forestal* 11: 32-33.

CALLAWAY, R.M. 1997. Positive interactions in plant communities and the individualistic continuum concept. *Oecologia* 112:143–149.

CELIS-DIEZ, J. L., IPPI, S., CHARRIER, A. y GARRÍN, C. 2011. Fauna de los bosques templados de Chile. Guía de campo de los vertebrados terrestres. Corporación Chilena de la Madera (Eds.). Concepción, Chile. 261p.

CLEMENTS, F.E. 1936. Nature and the structure of climax. *Journal of Ecology* 24: 252-284.

CONAF. 1998. Plan de manejo Reserva Nacional Lago Carlota. Coyhaique, Chile. 117p.

CONAF. 2006. Consideraciones generales respecto los incendios forestales en Aysén. Informe Técnico. Coyhaique: Departamento del Fuego de XI Región.

CONAF. 2011. Catastro de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Monitoreo de cambios y actualizaciones. Periodo 1997 - 2011, Santiago, Chile.

CONAMA. 1994. Perfil ambiental de Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 569 p.

CONAMA. 2009. Especies amenazadas de Chile protejámoslas y evitemos su extinción. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 120 p.

CORBIN, J. D. y HOLL, K. D. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265: 37-46.

DGA-MOP. 2007. Datos meteorológicos de la XI Región. Santiago de Chile: Dirección General de Aguas-Ministerio de Obras Públicas. En: QUINTANILLA, V. 2007. Estado de recuperación del bosque nativo en una cuenca nordpatagónica de Chile, perturbada por grandes fuegos acaecidos 50 años atrás (44°-45° S). *Revista de Geografía Norte Grande* 34: 73-92.

DOBSON, A. P., BRADSHAW, A. D. y BAKER, A. J. M. 1997. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology. *Science* 277: 515-522.

DONOSO, C. 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento de Trabajo N°. 38. Investigación y Desarrollo Forestal CONAF-FAO. Chile. 70 p.

DONOSO, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 483 p.

ESCOBAR, B., DONOSO, C., SOUTO, C., ALBERDI M. y ZUÑIGA, A. 2006. *Embothrium coccineum* J.R. et. G. Forster Notro, Notru, Ciruelillo, Treumén, Fosforito. Familia: Preteaceae. En: Donoso, C. (Ed.). Las especies arbóreas de los bosques templados de Argentina y Chile, autoecología. Marisa Cuneo Ediciones. Valdivia. pp. 233- 245.

FAJARADO, A. y McINTIRE, E.J.B. 2011. Under strong niche overlap conspecifics do not complete but help each other to survive: facilitation at the intraspecific level. *Journal of Ecology* 99:642-650.

FUENTES, N., SÁNCHEZ, P., PAUCHARD, A., URRUTIA, J., CAVIERES, L. y MARTICORENA, A. 2014. Plantas invasoras del centro-sur de Chile: una guía de campo. Laboratorio de Investigaciones Biológicas (LIB), Concepción, Chile.

GAJARDO, J. 1985. Uso de repelentes en plantaciones de *Pinus radiata* contra la acción de lagomorfos en la V Región. Memoria Ingeniero Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 211p.

GAJARDO, R. 1994. La vegetación Natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica, Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 165 p.

GONZÁLEZ, E. A. 1997. Efecto del ramoneo por liebres (*Lepus capensis*) en la regeneración de lenga (*Nothofagus pumilio*) bajo corta de protección, en Magallanes. Memoria Ingeniero Forestal, Universidad de Chile. 55 p.

GONZÁLEZ, M., DONOSO, C., OVALLE, P. y MARTÍNEZ-PASTUR, G. 2006. *Nothofagus pumilio*. En: Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: Autoecología. DONOSO, C (Ed.). p. 486- 500. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile. 486-500 p.

GÓMEZ-APARICIO, L. 2009. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life-forms and ecosystems. *Journal of Ecology* 97: 1202-1214.

GRIGERA, D. E. y RAPOPORT, E. H. 1983. Status and distribution of the *European Hare* in South America. *Journal of Mammalogy* 64: 163-166.

HARPER, J., WILLIAMS, J. y SAGAR, G. 1965. The behaviour of seeds in soil. The heterogeneity of soil surfaces and its role in determining the establishment of plants from seed. *Journal of Ecology* 53: 273-286.

HILDEBRAND-VOGEL, R. GODOY, R. y VOGEL, A. 1990. Subantarctic-Andean *Nothofagus pumilio* forests. Distribution area and synsystematic overview; vegetation and soils as demonstrated by an example of South Chilean stand. *Vegetation* 89: 55-68.

IRIARTE, A. 2002. Impacto de la fauna silvestre sobre la flora nativa de Chile. En: BALDINI, A. y PANCEL, L. (Eds.). Agentes de daño en el bosque nativo. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. pp. 319- 350.

JAKSIC, F. M. 1998. Vertebrate invaders and their ecological impacts in Chile. *Biodiversity and Conservation* 7: 1427-1445.

JAKSIC, F. M. y SORIGUER, R. C. 1981. Predation upon the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Journal of Animal Ecology* 50: 269-281.

JARA, C. E. 2013. Evaluación del crecimiento y del daño por herbivoría en una plantación inicial de *Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst. y *Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oerst en la provincia de Palena, X Región. Memoria de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 54 p.

KITZBERGER, T. RAFFAELE, E. y VEBLEN T.T. 2005. Variable community responses to herbivory in fire-altered landscapes of northern Patagonia, Argentina. *African Journal of Range and Forage Science* 22: 85-91.

LAMBIN, E. F. y MEYFROIDT, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc Natl Acad Sci USA* 108: 3465-72.

LATORRE, L., LARRINAGA, A. y SANTAMARÍA, L. 2013. Combined impact of multiple exotic herbivores on different life stages of an endangered plant endemism, *Medicago citrina*. *Journal of Ecology* 101: 107–117.

LENCINAS, M.V., MARTÍNEZ PASTUR, G., PERI, P. y FERNANDEZ, C. 1998. Patrones de espaciamiento en bosques de Lengua de Tierra del Fuego. *Actas Primer Congreso Latinoamericano de IUFRO*. Valdivia, Chile.

LINCOLN, G. A. 1974. Reproduction and "march madness" in the brown hare (*Lepus capensis*). *Journal of Zoology* 174: 1-14.

LINDENMAYER, F. B. y FRANKLIN, J. F. 2002. *Conserving Forest Biodiversity: A Comprehensive Multiscaled Approach*. Island Press, Washington, DC. 351 p.

MAESTRE, F.T, BAUTISTA, S. y CORTINA, J. 2003. Positive, negative, and net effects in grass–shrub interactions in mediterranean semiarid grasslands. *Ecology* 84: 3186-3197

MATHIASSEN, P., ROVERE, A. E. y PREMOLI, A. C. 2007. Genetic structure and early effects of inbreeding in fragmented temperate forests of a self-incompatible tree, *Embothrium coccineum*. *Conservation Biology* 21: 232-240.

MACNAMARA, S., TINH, V. y ERSKINE, P. 2006. Rehabilitating degraded forest land in central Vietnam with mixed native species plantings. *Forest Ecology and Management* 233: 358–365.

MCARTHUR, C., GOODWIN, A. y TURNER, S. 2000. Preferences, selection and damage to seedlings under changing availability by two marsupial herbivores. *Forest Ecology and Management* 139: 157-173.

MUÑOZ-PEDREROS, A., GANTZ, A. y SAAVEDRA, M. 1996. Nidos artificiales en plantaciones de *Pinus radiata* en el sur de Chile: ¿una herramienta para mitigar impactos ambientales negativos?. *Revista Chilena de Historia Natural* 69: 393-400.

NOVILLO, A. y OJEDA, R. A. 2008. The exotic mammals of Argentina. *Biological Invasions* 10: 1333-1344.

OJEDA, C. F. 1998. Prevención de daño por lagomorfos en plantaciones de tagasaste (*Chamaecytisus proliferus*). Ensayo de métodos no letales. Memoria Médico Veterinario, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinaria. 62 p.

OIMT. 2002. Directrices de la OIMT para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques tropicales secundarios y degradados. Serie de políticas forestales N° 13 de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales. 88 p.

OVALLE, C., OJEDA, F. y SKEWES, O. 2002. Evaluación de distintos métodos de prevención de daño causado por lagomorfos en plantaciones de tagasaste (*Chamaecytisus proliferus* spp. *palmensis*). Agricultura Técnica. Chile. 62: 396-405.

PADILLA, F. M. 2008. Factores limitantes y estrategias de establecimiento de plantas leñosas en ambientes semiáridos. Implicaciones para la restauración. Ecosistemas 17: 155-159.

PIPER, F., BAEZA, G., ZÚÑIGA-FEEST, A. y FAJARDO, A. 2013. Soil nitrogen, and not phosphorus, promotes cluster-root formation in a South American Proteaceae, *Embothrium coccineum*. American Journal of Botany. 12: 2328–2338.

PREMOLI, A. 2004. Variación en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser (Lenga). En: DONOSO, C., PREMOLI, A., GALLO, L. e IPINZA, R. (Eds.). Variación Intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Santiago de Chile: Editorial Universitaria. pp. 145–166.

PRESSEY, R. L., MILLS, M., WEEKS, R. y DAY, J. C. 2013. The plan of the day: Managing the dynamic transition from regional conservation designs to local conservation actions. Biological Conservation 166: 155–169.

PUNTIERI, J. G., STECCONI, M., BRION, C., MAZZINI, C. y GROSFELD, J. 2006. Effects of artificial damage on the branching pattern of *Nothofagus dombeyi* (Nothofagaceae). Annals of Forest Science 63: 101-110.

QUIJADA, C. 1999. Evaluación de crecimiento en una plantación joven de lenga (*Nothofagus pumilio* Poep. el Endl Krasser) en la Reserva Nacional Tamango, XI Región. Memoria de Ingeniero Forestal. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 93 p.

QUINTANILLA, V. 2005. Estado de recuperación del bosque nativo en una cuenca nordpatagónica de Chile, perturbada por grandes fuegos acaecidos 50 años atrás (44°-45° S). Revista de Geografía Norte Grande 34: 73-92.

QUINTANILLA, V. 2008. Perturbaciones a la vegetación nativa por grandes fuegos de 50 años atrás, en bosques Nordpatagónicos. Caso de estudio en Chile Meridional. Anales de Geografía 28: 85-104.

RAFFAELE, E. y VEBLEN, T. T. 1998. Facilitation by nurse shrubs of resprouting behavior in a post-fire shrubland in northern Patagonia, Argentina. Journal of Vegetation Science 9:693–698.

RAMÍREZ, A. 1999. Ecología aplicada diseño y análisis estadístico. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. 325 p.

ROMANYÀ, J., FONS, J., SAURAS, T., GUTIÉRREZ, E. y VALLEJO, V.R. 2005. Soil-plant relationships and tree distribution in old growth *Nothofagus betuloides* and *Nothofagus pumilio* forests of Tierra del Fuego. *Geoderma*. 124: 169-180.

ROVERE, A. E. y CHALCOFF, VR. 2010. *Embothrium coccineum* J. R. Forst. et G. Forst. *Kurtziana* 35 (2): 23-33.

SAG. 1999. Guías de condición para los pastizales de la ecorregión boreal húmeda de Aysén - proyecto FNDR-SAG XI Región de Aysén: Levantamiento para el ordenamiento de los ecosistemas de Aysén. 121 p.

SAG. 2001. Levantamiento para el ordenamiento de los ecosistemas de Aysén. Informe Final. Servicio Agrícola Ganadero & Gobierno Regional de Aysén. Coyhaique, Aysén. 114 p.

SAHA, S., KUEHNE, C. y BAUHUS, J. 2013. Tree Species Richness and Stand Productivity in Low-Density Cluster Plantings with Oaks (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Mattuschka) Liebl.). *Forests* 4(3): 650-665.

SALAFSKY, N., SALZER, D., STATTERSFIELD, A.J., HILTON-TAYLOR, C., NEUGARTEN, R., BUTCHART, S. H. M., COLLEN, B., COX, N., MASTER, L.L., O'CONNOR, S. y WILKIE, D. 2008. A Standard Lexicon for Biodiversity Conservation: Unified Classifications of Threats and Actions. *Conservation Biology* 22(4): 897-911.

SCHLEGEL, F., VEBLEN, T.T. y ESCOBAR, B. 1979. Estudio ecológico de la estructura, composición, semillación y regeneración del bosque de Lenga (*Nothofagus pumilio*) XI Región. Informe de Convenio N° 8 Proyectos Serplac con CONAF XI Región - Universidad Austral de Chile. 40 p.

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

SHÖNENBERGER, W. 2001. Cluster afforestation for creating diverse mountain forest structures-a review. *Forest Ecology and Management* 145: 121-128.

SCHMIDT, H., CRUZ, G., PROMIS, A. y ÁLVAREZ, M. 2003. Transformación de los bosques de lenga vírgenes e intervenidos a bosques manejados (Guía para los bosques demostrativos). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Publicaciones Misceláneas Forestales N° 4. 60 p.

SNP (Sociedad Naturalista Patagonia Sur). 2012. Proyecto de Forestación con *Nothofagus pumilio* (Lenga) en la Reserva Nacional Lago Carlota. Segundo Informe Departamento de Operaciones Forestales. 21 p.

SUDING, K. N. 2011. Toward an Era of Restoration in Ecology: Successes, Failures, and Opportunities Ahead. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42: 465–487.

SZWAGRZYK, J. 1990. Natural regeneration of forest related to the spatial structure of trees: A study of two forest communities in Western Carpathians, southern Poland. *Vegetation* 89: 11-22.

SZYMANSKI, S. Die Begründung von Eichenbeständen in "Nest-Kulturen". *Forst und Holzwirt* 1986, 41, 3–7. En: SAHA, S., KUEHNE, C. y BAUHUS, J. 2013. Tree Species Richness and Stand Productivity in Low-Density Cluster Plantings with Oaks (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Mattuschka) Liebl.). *Forests* 4 (3): 650-665.

TILL-BOTTRAUD, I., FAJARDO, A. y RIOUX, D. 2011. Multi-stemmed trees of *Nothofagus pumilio* second-growth forest in Patagonia are formed by highly related individuals. *Annals of Botany* 110: 905-913.

VEBLEN, T.T., MERMOZ, M., MARTIN, C. y RAMILO, E. 1989. Effects of exotic deer on forest regeneration and composition in Northern Patagonia. *Journal of Applied Ecology* 26: 711-724.

VEBLEN T.T., KITZBERGER, T., RAFFAELE, E. y LORENZ D.C. 1996. Fire History and Vegetation Changes in Northern Patagonia, Argentina. En: VEBLEN, T.T, BAKER, W., MONTENEGRO, G. y SWETNAM, T.W. (Eds.). 1996. Fire and climatic change in temperate ecosystems of the western Americas. New York, USA. Springer. *Ecological Studies* 160: 322-342.

VEBLEN, T.T. 2007. Temperate Forests of the Southern Andean Region. En: VEBLEN, T.T., ORME, A. y YOUNG, K. (Eds.). *Physical Geography of South America*. Oxford University Press. pp. 217-231.

VEBLEN, T.T., HOLZ, A., PARITSIS, J., RAFFAELE, E., KITZBERGER, T. y BLACKHALL, M. 2011. Adapting to global environmental change in Patagonia: What role for disturbance ecology? *Austral Ecology* 36: 891–903.

VITOUSEK, P. M., DANTONIO, C. M., LOOPE, L. L. y WESTBROOKS, R. 1996. Biological invasions as global environmental change. *American Scientist* 84: 468-478.

WHISENANT S.G. 1999. *Repairing damaged wildlands: a process-orientated, landscape-scale approach*. Cambridge University Press. 312 p.

YARRANTON, G.A. y MORRISON, R.G. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: Nucleation. *Journal of Ecology* 62: 417–428.