



Fondo de
Investigación
del Bosque Nativo

008/2013

**Métodos silviculturales
alternativos para bosques
adultos dominados por tepú
(*Tepualia stipularis*) en la
Isla Grande de Chiloé**





Fondo de
Investigación
del Bosque Nativo

008/2013

Métodos silviculturales alternativos para bosques
adultos dominados por tepú (*Tepualia stipularis*) en
la Isla Grande de Chiloé

financiado por

Fondo de Investigación del Bosque Nativo

Investigador Responsable

Jan R Bannister Hepp¹, PhD

Co-investigadores

Rodrigo Mujica², PhD

Marjorie Martin², Ing. Forestal

Institución Patrocinante

Instituto Forestal

Instituciones Asociadas

Parque Chiloé S.A., MASISA S.A.

Octubre, 2017

Castro, Chile

¹ Oficina Chiloé, Instituto Forestal

² Sede Los Ríos, Instituto Forestal

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Fondo de Investigación del Bosque Nativo por financiar esta investigación entre Diciembre del año 2013 y Octubre del año 2017. Igualmente, agradecemos a la administración y staff de Parque Tantauco por su motivación y permanente apoyo logístico y operativo a lo largo de los últimos años para establecer el experimento de Inío, y agradecemos a MASISA S.A. por facilitar su predio en Chiloé para establecer el experimento de Butalcura. Se agradece a la Corporación Nacional Forestal, en especial a Tamara Mella y Andrés Caracciollo por su apoyo en terreno en la comunidad de Leuquetro e Inío, y a Germán Pando por facilitar la nueva pauta de manejo para estos bosques. A Hans Grosse, Rodrigo Mujica, Marjorie Martin y Sabine Müller-Using del Instituto Forestal por haber creído en este proyecto desde sus inicios.

Agradecemos la ayuda incansable de Natalia Carrasco-Farías, Klaus Kremer, Dimitrios Samaras, Guillermo Fullá, Nicole Galindo, Andrés Caracciollo, Cristian Wendler, Enrique Bascur, Julián Grimalt, Marjanka Borquez, Javiera Urrutia, Carlos Zurita, A Sánchez, Vivianne Claramunt, Edgar Quiroga, Marco Cayul y Mark Bannister, quienes asistieron en terreno bajo difíciles condiciones climáticas y logísticas. Sin su ayuda este estudio no se hubiera podido llevar a cabo.

Agradecemos la ayuda de Arcadio Sánchez de Butalcura, las cuadrillas de Inío y a Andrés Reinoso por su enorme trabajo en el establecimiento de los ensayos.

Agradecemos a Klaus Kremer, Nicole Galindo, Edgar Quiroga y Germán Travieso por ayudar en el análisis de datos. En especial, se agradece a Klaus Kremer en los inicios del proyecto y Nicole Galindo por su ayuda en la confección de figuras en los últimos meses del proyecto, y a Natalia Carrasco-Farías por su exhaustivo trabajo botánico en los tepuales de Inío y Butalcura. Además se agradece a Sandra Cárcamo, Rosmarí Lacoste, Macarena Bascur, Sandra Gajardo y Evelyn Olivares que apoyaron el proyecto administrativamente desde Valdivia y Concepción.

Trabajar en los tepuales de Chiloé no es fácil, sin la ayuda y motivación de todas estas personas, esta investigación que duró casi 4 años, hubiera sido imposible de realizar. Muchas Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos.....	i
Tabla de Contenido	2
Índice de Tablas	3
Índice de Figuras.....	5
Resumen	11
1. Introducción	14
2. Marco teórico.....	17
3. Hipótesis	26
4. Objetivos	27
5. Metodología	28
6. Resultados	40
7. Discusión de resultados	76
8. Conclusiones	95
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	Leyenda	Página
2.1	Principios de la silvicultura cercana a lo natural según la Federación Europea de silvicultores PRO SILVA (extraído de Bannister & Pyttel 2010)	24
6.1	Riqueza total y media de especies vasculares en tepuales de los sectores de Inío y Butalcura. Tamaño muestral: 5m ² por 30 parcelas por sector. Letras diferentes indican diferencias significativas entre sectores (minúscula: $p \leq 0.05$; mayúscula: $p \leq 0,01$). Tabla extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	41
6.2	Atributos estructurales y propiedades del suelo de los tepuales de Inío y Butalcura. Letras diferentes indican diferencia significativas entre sectores (minúscula: $p \leq 0,05$; mayúscula: $p \leq 0,01$). Tabla extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	45
6.3	Matriz de correlaciones por rangos de Spearman entre características estructurales, nutritivas y abundancia de regeneración para el total y las principales especies de los tepuales estudiados. Se incluyen todas las especies arbóreas con valores significativos para alguna variable estructural. N = 20; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,05$. Total: todas las especies arbóreas juntas; H: altura; DMC: diámetro medio cuadrático; D_tot: densidad total, G_tot: área basal total, G_ver: área basal vertical, G_ob: área basal oblicua, G_hor: área basal horizontal, P: Fosforo (mg/kg), K: Potasio (mg/kg), Nt: Nitrógeno total (%). Tabla extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	48
6.4	Matriz de correlaciones por rangos de Spearman entre características estructurales, nutritivas y abundancia de especies para el total y las principales especies no arbóreas. Se incluyen todas las especies con valores significativos para alguna variable estructural. N = 20; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,05$. H: altura; DMC: diámetro medio cuadrático; D_tot: densidad total, D_ver: densidad vertical, D_ob: densidad oblicua, D_hor: densidad horizontal, G_tot: área basal total, G_ver: área basal vertical, G_ob: área basal oblicua, G_hor: área basal horizontal, P: Fosforo (mg/kg), K: Potasio (mg/kg), Nt: Nitrógeno total (%). Tabla extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	49

6.5	Prueba no paramétrica ART para los factores biomasa residual (Biomasa), luz (Luz) y la interacción entre los dos factores para las especies más relevantes. * = $0,01 < p < 0,05$, ** = $0,001 < P < 0,01$, *** = $p < 0,001$, . = $p > 0,05$.	51
6.6	Comparación entre los niveles de pH y nutrientes del suelo según el tratamiento aplicado de tala raza (TR) y bosque residual (BR) en los años 2014 y 2016 en sector de Butalcura.	60
6.7	Comparación entre los niveles de pH y nutrientes del suelo según el tratamiento aplicado de tala raza (TR) y bosque residual (BR) en los años 2014 y 2016 en sector de Inío.	60
6.8	Resumen de estadísticos descriptivos para variables abióticas de las fajas. No existieron diferencias significativas ($p > 0,05$).	63
6.9	Riqueza y densidad total de plantas. No existieron diferencias entre fajas ($p > 0,05$).	64
6.10	Densidad de plantas por clases de altura. No existieron diferencias entre fajas ($p > 0,05$).	64
6.11	Densidad de regeneración según sustrato, altura de sustrato y origen. Sólo se encontraron diferencias en la categoría sustrato ($p < 0,05$).	65
6.12	Volumen de leña extraído por claro en el sector de Inío. Nota: Se extrajeron 7 m st de fajas realizadas entre claros. No incluye volumen extraído de vía de saca.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Leyenda	Página
2.1	Crecimiento apical de plántulas de tepú bajo distintas condiciones de luminosidad (Bannister, datos no publicados). %PPFD = % photosynthetic photon flux density. Línea azul representa regresión no significativa entre las dos variables.	19
2.2	Representación de las cuatro fases de un ciclo adaptativo (Holling 2011). Figura extraída de Lara et al. (2014).	21
5.1	Distribución de bosque nativo en la Isla Grande de Chiloé y sectores de estudio. En verde claro se observa la superficie de bosque nativo. En verde oscuro se observa la superficie cubierta por bosque nativo con presencia de tepú. En azul se observa aguas interiores (basado en CONAF 2016).	29
5.2	Diseño del experimento en tepuales del sector de Butalcura. Esquema del experimento con bloques y tratamientos (a) e imagen satelital del lugar del ensayo (b).	31
5.3	Diseño del experimento en tepuales del sector de Inío. Esquema del experimento con bloques y tratamientos (a) e imagen satelital del área del ensayo (b). Nota: imagen satelital disponible del área de estudio es pre intervención.	31
5.4	Aspecto de los tratamientos de biomasa residual (a) y tala rasa (b) en claros de 15 m de diámetro en tepuales de la Isla de Chiloé.	32
5.5	Diseño del muestreo en fajas a tala rasa en tepuales del sector de Leuquetro (a). Detalle de los distintos sustratos muestreados en cada faja (b). Los sustratos considerados fueron I) borde de la faja (B), II) centro de la faja (C), III) montículo con ramas (MCR), y IV) montículo sin ramas (MSR).	35
6.1	Análisis de clúster basado en la composición de especies vasculares de las 60 parcelas establecidas en bosques pantanosos dominados por tepú en Chiloé. Números cercanos a nodos representan el soporte bootstrap. La línea punteada representa la división entre los dos grupos. Grupo 1: Parcelas del sector Butalcura; Grupo 2: Parcelas del sector Inío. Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	42
6.2	Densidad media y área basal media de las especies arbóreas en los tepuales de Inío y Butalcura. Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	42

6.3	Estructura diamétrica para cada sector de estudio incluyendo el total de especies arbóreas. La línea de la función Weibull indica el ajuste de la distribución de tamaños. c = Parámetro de forma de la función Weibull, D = densidad media (árboles/ha), G = área basal media (m^2/ha). Recuadro en cada gráfico muestra estructura diamétrica de tepú. Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	43
6.4	Densidad de la regeneración por clase de altura y especie en los tepuales de Inío y Butalcura. Nótese las diferentes escalas en ejes y. Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	44
6.5	Densidad de la regeneración por tipo de micrositio (troncos, musgos y helechos, suelo mineral), para el total y cada una de las especies arbóreas en los tepuales de Inío y Butalcura. Letras indican diferencias significativas entre sectores ($p \leq 0,01$). Asteriscos indican diferencia significativas entre sectores (un asterisco: $p \leq 0,05$; dos asteriscos: $p \leq 0,01$). Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	46
6.6	Densidad de la regeneración por tipo de origen (semilla/vegetativo), para el total y cada una de las especies arbóreas en los tepuales de Inío y Butalcura. Letras indican diferencias significativas entre sectores ($p \leq 0,01$). Asteriscos indican diferencia significativas entre sectores (un asterisco: $p \leq 0,05$; dos asteriscos: $p \leq 0,01$). Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).	47
6.7	Factores que influyen significativamente en la regeneración total y < 5 cm de altura en Butalcura (a, c) e Inío (b, d). TR: claro a tala rasa; BR: con biomasa residual; líneas verticales: desviación estándar. Letras iguales en a y c indican que no hay diferencia significativa ($p > 0,05$) entre las medias. En b y d hay diferencias significativas.	52
6.8	Factores que influyen significativamente en la regeneración > 5 cm de altura en Butalcura (a) e Inío (b,d) y < 5 cm de altura en Butalcura (c). TR: claro a tala rasa; BR: con biomasa residual; líneas verticales: desviación estándar. Letras iguales en a y c indican que no hay diferencia significativa ($p > 0,05$) entre las medias. En b y d hay diferencias significativas.	53
6.9	Regeneración de tepú establecida en Butalcura (a, c, e) e Inío (b, d, f) para cada tamaño del claro o/y biomasa residual. TR: sin biomasa residual; BR: con biomasa residual; líneas verticales: desviación estándar. Letras iguales indican que no hay diferencia significativa ($p > 0,05$) entre las medias.	54

6.10	Distribución de la regeneración (%) para los factores tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y Biomasa residual (BR = con biomasa residual y TR = sin biomasa residual) en Butalcura, según el rango de altura de las plantas y su origen vegetativo (rojo) y por semilla (azul).	55
6.11	Distribución de la regeneración (%) para los factores tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y Biomasa residual (BR = con biomasa residual y TR = sin biomasa residual) en Inío, según el rango de altura de las plantas y su origen vegetativo (rojo) y por semilla (azul).	55
6.12	Distribución de la regeneración (%) en Butalcura para los factores tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y biomasa residual (BR = con biomasa residual y TR = sin biomasa residual), según el rango de altura de las plantas y tipo de sustrato: S = suelo mineral (verde), S-M = suelo con musgo (amarillo), T-T = tronco (rojo) y T-M = Tronco con musgo (azul).	56
6.13	Distribución de la regeneración (%) en Inío para los factores tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y biomasa residual (BR = con biomasa residual y TR = sin biomasa residual), según el rango de altura de las plantas y tipo de sustrato: S = suelo mineral (verde), S-M = suelo con musgo (amarillo), T-T = tronco (rojo) y T-M = Tronco con musgo (azul).	57
6.14	Distribución de la regeneración (%) en Butalcura para cada factor y por especie, según la altura de las plantas y altura del sustrato: H = Hondonada (rojo), M = Montículo (azul).	57
6.15	Distribución de la regeneración (%) en Inío para cada factor y por especie, según la altura de las plantas y altura del sustrato: H = Hondonada (rojo), M = Montículo (azul).	58
6.16	Biplot de ACC para el sector de Butalcura e Inío en el que se representan las especies y las variables ambientales según los valores de sus coeficientes en las relaciones lineales con los dos ejes.	59
6.17	Comparación del pH y nutrientes del suelo entre el periodo 2014 y 2016 para el sector de Butalcura.	61
6.18	Comparación del pH y nutrientes del suelo entre el periodo 2014 y 2016 para el sector de Inío.	62
6.19	Relación entre proporción de radiación incidente promedio y en el centro y el ancho de faja ($r: 0,44$; $p < 0,05$).	65

6.20	Dispersión de valores de densidad total de regeneración según AF (A) y PRIM (B).	66
6.21	Regeneración total (izquierda) y de tepú (derecha) en respuesta a los diferentes sustratos estudiados. Ambos casos presentaron diferencias significativas al nivel $p < 0,001$.	67
6.22	Regeneración por especie en respuesta a los sustratos (Nn = coigue de Chiloé, Sc = mañío hoja corta, Am = <i>Amomyrtus sp.</i> y Dw = canelo). Sólo Dw y Sc presentaron diferencias significativas, $p < 0,01$ y $p > 0,05$, respectivamente.	68
6.23	Atributos de la regeneración total: I) altura de planta, II) origen, III) posición del sustrato, y IV) altura del sustrato. Todos los casos presentaron diferencias significativas, excepto II-b: origen vegetativo ($p > 0,05$).	69
6.24	Regeneración total por especie de los métodos silviculturales de cosecha en Butalcura, Inío y Leuquetro. Tratamientos: B-BR: Butalcura con biomasa residual, B-TR: Butalcura sin biomasa residual, B-total: promedio de ambos tratamientos en Butalcura, I-BR: Inío con biomasa residual, I-TR: Inío sin biomasa residual, Inío-total: promedio de ambos tratamientos en Inío, y finalmente, L: tala rasa en fajas en Leuquetro.	70
6.25	Regeneración de altura < 5 cm por especie de los métodos silviculturales de cosecha en Butalcura, Inío y Leuquetro. Tratamientos: B-BR: Butalcura con biomasa residual, B-TR: Butalcura sin biomasa residual, B-total: promedio de ambos tratamientos en Butalcura, I-BR: Inío con biomasa residual, I-TR: Inío sin biomasa residual, Inío-total: promedio de ambos tratamientos en Inío, y finalmente, L: tala rasa en fajas en Leuquetro.	70
6.26	Regeneración de altura > 5 cm por especie de los métodos silviculturales de cosecha en Butalcura, Inío y Leuquetro. Tratamientos: B-BR: Butalcura con biomasa residual, B-TR: Butalcura sin biomasa residual, B-total: promedio de ambos tratamientos en Butalcura, I-BR: Inío con biomasa residual, I-TR: Inío sin biomasa residual, Inío-total: promedio de ambos tratamientos en Inío, y finalmente, L: tala rasa en fajas en Leuquetro.	71
6.27	Aporte en área basal relativa según forma de crecimiento para el total de especies por sector de estudio.	73
6.28	Aporte en área basal absoluta según forma de crecimiento para el total de especies por sector de estudio.	73

6.29	Estructura diamétrica del total de especies arbóreas para el sector de Inío, según forma de crecimiento. En detalle se muestran clases diamétricas superiores.	75
6.30	Aporte en área basal de cada clase diamétrica para el total de especies arbóreas según forma de crecimiento en el sector de Inío.	75
7.1	Ciclo del manejo alternativo de tepuales en base a la creación de claros y retención de biomasa residual y considerando las fases de un ciclo adaptativo complejo: fase de conservación (b), liberación (d), reorganización (a), y explotación (c). En el centro de la figura se presenta el modelo conceptual del ciclo.	85
7.2	Hábitos de crecimiento y orígenes de tepuales: vertical secundario (a), vertical primario (b), tendido primario (c), mixto primario (d).	87
7.3	Primer y segundo ciclo de corta de la pauta de manejo de tepuales en base a claros con biomasa residual. Esquema: Nicole Galindo	88
7.4	Al momento de la cosecha se debe considerar la autoecología de tepú. La floración y fructificación de tepú es en diciembre-abril y julio-noviembre, respectivamente (a). Tepú presenta diversas estrategias de regeneración entre ellas la formación de raíces adventicias desde troncos horizontales (b), la germinación por semilla sobre troncos cubiertos por musgos y la regeneración vegetativa desde tocones.	89
7.5	Para favorecer la regeneración por semilla y vegetativa se debe dejar biomasa residual en el suelo, tanto horizontal (a y b) como tocones de árboles verticales (c y d).	90
7.6	Dentro de un claro existen micrositios que gran parte del año permanecen inundados (a) los cuales pese a ser buenos para la germinación de semillas no lo son para su desarrollo posterior. Los micrositios elevados, ya sean troncos cubiertos de musgos (b y c) o tocones son excelentes micrositios para tepú y otras especies arbóreas de estos bosques.	91
7.7	Claro con biomasa residual en que se extraen solamente los árboles con hábito vertical dejando tocones de al menos 30 cm de altura y los troncos horizontales y oblicuos de hasta 1 m de altura para favorecer la regeneración. Dibujo: Nicole Galindo	92

7.8 Servicios ecosistémicos provenientes de los tepuales. Los bosques pantanosos y turberas (entre ellos los tepuales) son importantes sumideros de carbono (a). Son hábitat importantes para flora y fauna endémica (b,c), y además proveen leña para calefacción (d).

94

RESUMEN

Los bosques dominados por tepú (*Tepualia stipularis* (Hook et Arn.) Griseb) comúnmente llamados "tepuales", son actualmente uno de los recursos forestales más importantes en cuanto a intensidad de uso en las provincias de Chiloé, Llanquihue y Palena. En el Archipiélago de Chiloé existen 367.044 ha de bosques con presencia de tepú lo que equivale a un 59,7 % de los bosques nativos de la provincia. Debido a la gran cantidad de biomasa que acumulan y al poder calórico de la madera de tepú, estos bosques han sido históricamente explotados para la extracción de leña, principal combustible para calefacción utilizado en el sur de Chile. En la actualidad, en caso de manejarse legalmente, estos bosques se manejan mediante cortas a tala rasa en fajas alternas, donde la regeneración post-cosecha ha mostrado ser casi nula. Debido a esto, cada año la superficie de tepuales degradados aumenta, peligrando a mediano plazo su continuidad, integridad estructural y los servicios ecosistémicos que proveen.

En el presente trabajo se presentan los principales resultados de una investigación de casi 4 años financiada por el Fondo de Investigación de Bosque Nativo que tuvo como objetivo general el desarrollar métodos silviculturales alternativos para tepuales en la Isla Grande de Chiloé, los cuales mantuvieran las condiciones nutritivas del sitio y condiciones lumínicas acordes para asegurar y apoyar el crecimiento de la regeneración natural post-cosecha de esta especie. Específicamente, se estudió la composición, estructura y dinámica de tepuales en condiciones inalteradas; se crearon claros de distinto tamaño en éstos, de tal forma de evaluar el efecto de la luminosidad y la retención de biomasa residual en la regeneración natural post-cosecha; se comparó la respuesta de la regeneración natural entre los métodos alternativos propuestos por este estudio y cortas de tala rasa en fajas alternas realizadas tradicionalmente en Chiloé; se evaluó económicamente los costos de las actividades para de esta forma sustentar su posible inclusión en la ley 20.283; y finalmente se elaboró una pauta de manejo para tepuales la cual fuera aplicable en terreno. Para esto se trabajó en las siguientes hipótesis: (H1) un método silvicultural basado en alteraciones de pequeña escala, mantiene las condiciones nutritivas del sitio y las condiciones lumínicas necesarias para la regeneración de tepú, incrementando la habilidad de la especie para reorganizarse y adaptarse a las nuevas condiciones post-manejo, lo cual aumenta su resiliencia a las intervenciones y asegura su estabilidad a futuro; (H2) en los claros creados, la regeneración natural post-cosecha de tepú es afectada negativamente por una mayor luminosidad y positivamente por una mayor biomasa residual retenida; (H3) la regeneración natural de tepú, tanto vegetativa como de semilla, es mayor luego de métodos alternativos basados en los principios de la "silvicultura cercana a lo natural (SCN)" que en métodos tradicionales utilizados en la Isla Grande de Chiloé como son la tala rasa en fajas alternas.

Para lograr estos objetivos, se seleccionaron dos sectores uno en el norte (Butalcura) y otro en el sur (Inío) de la Isla Grande de Chiloé. En cada

sector se estableció un experimento donde se evaluó 6 tratamientos que fueron organizados bajo un diseño factorial con dos factores, luminosidad (3 niveles: claro de 5, 10 y 15 m de diámetro) y biomasa residual (2 niveles: claro a tala rasa y claro con biomasa residual). Para evaluar los tratamientos en terreno, se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar, donde los 6 tratamientos fueron replicados en 5 bloques. De esta forma hubo un total de 60 unidades experimentales en Chiloé. Las unidades experimentales fueron monitoreadas durante 2 temporadas de crecimiento (años 2014 y 2015) y las actividades fueron costeadas para sustentar su eventual inclusión en los instrumentos de fomento de la ley 20.283. Aparte se seleccionó una experiencia silvicultural de tala rasa en fajas alternas (Leuquetro), para compararla con las unidades experimentales de este estudio.

Nuestros resultados indican que los tepuales inalterados en la Isla de Chiloé son bosques Norpatagónicos con una baja influencia antrópica y con una importante riqueza de especies vasculares la cual es mayor que la presentada por varios bosques pantanosos adultos alrededor del mundo. En estos bosques pantanosos, en los cuales ocurre una dinámica de claros, la compleja estructura existente en ellos influencia los nichos de regeneración de las distintas especies arbóreas que allí coexisten, las cuales prefieren mayoritariamente troncos para germinar y establecerse. Un método silvicultural basado en alteraciones de pequeña escala (claros) mantiene a nivel de micrositio las condiciones lumínicas necesarias para la regeneración de tepú, incrementando la habilidad de la especie para re-organizarse y adaptarse a las nuevas condiciones post-manejo. Además, la regeneración natural post-cosecha de tepú es afectada positivamente por una mayor biomasa residual retenida. Sin embargo, las intervenciones realizadas no mantienen las condiciones nutritivas del sitio lo que confirma la fragilidad de estos sitios, y la regeneración natural de tepú no se vio afectada negativamente por una mayor luminosidad. La regeneración natural de tepú, es mayor luego de métodos de corta en claros que en métodos de tala rasa en fajas alternas. En este sentido, los métodos alternativos en base a claros aseguran una mayor regeneración establecida (>5 cm de altura), una mayor diversidad de especies y por el mismo motivo una mayor complejidad. Sin embargo, es importante señalar que a través de cualquier tipo de intervenciones, ya sean estas tradicionales (cosecha en fajas) o alternativas (por claros) se está simplificando un bosque extremadamente complejo, lo que pone en riesgo la estabilidad del bosque a futuro. En este contexto, si es que se desea fomentar un uso silvícola adecuado para los tepuales, éste debe reconocer a) la diversidad de especies y estructuras que se encuentran en estos bosques, las cuales son diferentes a lo largo de su distribución, y b) la relación entre estructura y los nichos de regeneración de las distintas especies que allí coexisten. De esta forma, se debiera fomentar métodos en base a la creación de claros en vez de talas rasas, y la retención de estructuras (troncos, biomasa), las cuales sirvan de micrositios elevados para la germinación y establecimiento de las distintas especies arbóreas. El costo de aplicación del método propuesto en que se crean claros de 15 m de diámetro y retienen estructuras horizontales en el suelo tiene un costo

promedio de \$25.000 pesos/mst y representa una reducción de volumen cosechado por hectárea de un 37 % respecto a las talas rasas tradicionales.

Esta es la primera investigación a fondo sobre la estructura, dinámica regenerativa y manejo de tepuales. Este trabajo representa un primer avance en el conocimiento ecológico de este tipo de bosques pantanosos, únicos en el mundo, que se encuentran bajo una gran presión de uso y cuya sostenibilidad a futuro se encuentra amenazada. Se requiere con urgencia mayor investigación sobre la sustentabilidad de este recurso forestal que es clave para la sostenibilidad de la vida en la región Patagónica Norte y por lo tanto urge cambiar el paradigma de uso de estos bosques transitando de un uso maderero a un uso enfocado en otros servicios ecosistémicos que proveen a la sociedad (eg. regulación hídrica), sin los cuales no es posible el desarrollo del territorio "Chiloense".

1. Introducción

Los humedales boscosos de agua dulce, entre ellos los bosques pantanosos, cubren enormes superficies desde zonas tropicales hasta zonas boreales o australes (Bannister et al. 2012; Lugo et al. 1988, Correa-Araneda et al. 2011). Estos ecosistemas forestales tienen un alto valor ecológico y contribuyen significativamente a la productividad de las áreas en que se ubican debido a una serie de servicios ecosistémicos que proveen a la sociedad (Lugo et al. 1988; Brinson & Malvárez 2002; Correa-Araneda et al. 2011). A pesar de su importancia ecológica, económica, y geográfica para estos ecosistemas generalmente sólo abunda información sobre las especies que allí habitan (Lugo et al. 1988). Aunque hay estudios sobre estructura y dinámica de bosques pantanosos, éstos se han concentrado en el hemisferio norte y en zonas tropicales (eg. Duberstein 2009; Koponen et al. 2004; Sherman et al. 2000), y son escasos en el hemisferio sur (eg. Stewart & Veblen 1982; Veblen & Stewart 1980), especialmente en bosques pantanosos de zonas templadas del cono sur Sudamericano (Bannister 2015).

En Chile, el estudio de los bosques pantanosos se ha concentrado en la zona mediterránea (Correa-Araneda et al. 2011). Sin embargo, muchos de estos bosques se encuentran dentro del tipo forestal Siempreverde (*sensu* Donoso 1981), el más extenso del país con aproximadamente 4 millones de hectáreas (30,4 % del total de bosques nativos de Chile). El tipo forestal siempreverde concentra su distribución en las regiones templadas del sur de Chile (CONAF 2016; Bannister et al. 2012), y desde un punto de vista forestal se divide en cinco subtipos: siempreverde de intolerantes emergentes, siempreverde de tolerantes, olivillo costero, renovales de canelo y ñadi (Donoso 1981; Donoso 1993). Desde un punto de vista fisionómico el tipo forestal siempreverde se puede dividir también en dos tipos de formaciones: el bosque valdiviano en terrenos bajos y de buen drenaje y hasta aproximadamente los 42°-43°S, y el tipo norpatagónico en terrenos más altos y condiciones bajas de drenaje restringido desde los 42°S hasta los 47°S (Gutiérrez et al. 2009). Pese a existir cinco subtipos forestales dentro del tipo forestal Siempreverde, los tepuales o bosques dominados por tepú (*Tepualia stipularis* (Hook et Arn.) Griseb), no corresponden estrictamente a ninguno de ello a pesar de estar distribuido a través del tipo, aunque en mayor proporción dentro de los subtipos renovales de canelo y Ñadi, ya que estos tepuales se asocian a condiciones de mal drenaje. Es más, los bosques dominados por tepú se encuentran también presentes en los tipos forestales Alerce y Ciprés de las Guaitecas, en los cuales también son comunes las situaciones de suelos con mal drenaje. Debido a esto, es más conveniente señalar a los bosques dominados por tepú como pertenecientes mayoritariamente a los bosques Norpatagónicos (Gutiérrez et al. 2004; Gutiérrez et al. 2009), sobretudo en la región de Los Lagos (41°S - 44°S) en las provincias de Chiloé, Llanquihue y Palena.

En estos bosques, tepú desarrolla estructuras muy complejas, acumulando gran cantidad de biomasa debido a su hábito de crecimiento horizontal, el cual forma frecuentemente suelos aéreos y redes de troncos casi impenetrables, por lo cual presentan una muy baja resiliencia a disturbios catastróficos (Bannister et al. 2012b). La compleja estructura de estos bosques, su difícil acceso y dificultad de medición, han inhibido el estudio de ellos, por lo que su conocimiento es muy limitado, siendo quizás la especie arbórea dominante de bosques de la cual menos información se tiene en el Cono Sur de Sudamérica, en particular en bosques adultos e inalterados. Debido a la gran cantidad de biomasa que acumulan y a la densidad y poder calórico de la madera de tepú, estos bosques han sido históricamente explotados para la extracción de leña, principal combustible para calefacción utilizado en el sur de Chile (Neira & Bertín 2009; Sanzana 2012). En este sentido, los bosques de tepú se encuentran bajo una alta y constante presión de uso en el sur de Chile. Un ejemplo concreto es la ciudad de Puerto Montt, que con una población de 228.118 habitantes (INE 2012) consume 586.301 m³/año de leña, equivalente a un mercado de 19,5 millones de USD/año. Un 21 % del volumen de leña consumido corresponde a tepú (Neira & Iturriaga 2008). En Chiloé el consumo de leña de tepú se acentúa aún más. Según datos del "Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile" (CONAF 2016), en la Isla Grande de Chiloé existe un total de 620.024 ha de bosque nativo lo que representa un 74 % del total de la superficie provincial (incluyendo tipos forestales Siempreverde, Alerce y Ciprés de las Guaitecas). Los bosques dominados o con presencia de tepú en la provincia de Chiloé alcanzan 367.044 ha, es decir un 59,7 % de los bosques nativos del archipiélago. La ciudad de Castro, con sólo 43.306 habitantes (INE 2012), consume cerca de 130 mil m³/año de leña, correspondientes a un mercado con una magnitud de ventas que supera los 4,2 millones de USD/año. Un 27 % del volumen de la leña que se consume en Castro corresponde a tepú (Neira & Bertín 2009). Gran parte de la extracción se realiza de manera informal, por ejemplo a través de talas ilegales o manejo de bosques sin bases ecológicas que garanticen la sostenibilidad de estos bosques luego de intervenidos. Luego de estas cortas, las cuales generalmente consisten en tala rasa en fajas, la regeneración post-cosecha ha sido casi nula (Sanzana 2012). Debido a esto, cada año la superficie de bosques degradados de tepú aumenta en el sur de Chile, peligrando a mediano plazo su continuidad, integridad estructural y los servicios que proveen (Ramos-Jiliberto et al. 2009; Sanzana 2012).

Por otro lado, a pesar del uso intensivo de tepú para combustible en la Isla, en toda el área sur de Chiloé existe una gran superficie de bosques siempreverdes que, como se mencionara anteriormente, albergan importantes superficies de tepuales. Estos bosques, ubicados en la Cordillera de Pirulil, han podido persistir a través del tiempo en buen estado de conservación y han sido escasamente estudiados, tal vez debido al mal acceso y a que la población isleña se ubica mayoritariamente en la costa oriental y más al norte (Ther-Ríos 2008), una situación contrastante con la grave fragmentación que existe en la Cordillera de Piuchué y la zona norte de la isla (Echeverría et al. 2008). Esta situación provee una gran

oportunidad para estudiar los tepuales en estos bosques que aún no tienen intervención, tanto desde el punto de vista ecológico como con respecto al uso de sistemas silviculturales apropiados para garantizar la sostenibilidad de estos ecosistemas, asegurando a futuro el gran potencial de producción de leña de estos bosques.

El presente estudio resume los principales resultados obtenidos durante los últimos 4 años de investigación en bosques dominados por tepú en Chiloé gracias al proyecto 008/2013 "Métodos silviculturales alternativos para bosques adultos dominados por tepú (*Tepualia stipularis*) en la Isla Grande de Chiloé" y que fue financiado entre el año 2013 y 2017 por el Fondo de Investigación de Bosque Nativo de la Corporación Nacional Forestal. Debido a la enorme complejidad de estos bosques y su baja resiliencia a alteraciones catastróficas, los resultados de este estudio muestran con evidencia científica la urgente necesidad de re-pensar el uso de los tepuales, cambiando el paradigma de uso de uno maderero a uno enfocado en los importantes servicios ecosistémicos que entregan a la sociedad y que sin los cuales no es posible el desarrollo del territorio "Chiloense".

2. Marco teórico

2.1 Métodos silviculturales actuales en bosques dominados por tepú

Los bosques de tepú han sido utilizados históricamente para la extracción de leña, concentrándose su producción en dicha especie. Normalmente, las especies acompañantes no se aprovechan, exceptuando individuos de canelo (*Drimys winteri*) o mañío de hoja punzante (*Podocarpus nubigena*) de buena calidad, los cuales son utilizados generalmente para obtener madera aserrada (Sanzana 2012). En general el aprovechamiento maderero de bosques dominados por tepú se realiza de manera informal, a través de talas ilegales o manejo de bosques sin base ecológica. Cuando es legal, debido al bajo conocimiento ecológico de estos bosques y a que estos se encuentran dentro 3 tipos forestales distintos, los métodos silviculturales que se aplican son muchas veces deficientes. En este contexto, según el Reglamento Técnico N°259 del Decreto Ley 701, dependiendo de en qué tipo forestal se encuentren estos bosques se puede autorizar desde cortas selectivas o entresaca (Siempreverde y Ciprés de las Guaitecas) a cortas de protección (Siempreverde). Debido a la protección de alerce (*Fitzroya cupressoides*), en el tipo forestal Alerce no se especifican métodos de corta. Según este reglamento se define como corta de protección, la explotación gradual del rodal en una serie de cortas parciales para dar origen a un rodal coetáneo a través de regeneración natural, la cual se inicia bajo la protección del antiguo rodal. Luego de la corta, el propietario deberá establecer 3.000 plántulas por hectárea como mínimo, de las mismas especies cortadas del tipo homogéneamente distribuidas. La corta selectiva o entresaca se define como la extracción individual de árboles o de pequeños grupos en una superficie no superior a 0,3 hectáreas, debiendo mantenerse en este caso una faja boscosa alrededor de lo cortado de, a lo menos, 50 metros. Mediante este método, solamente podrá extraerse hasta el 35 % del área basal del rodal, debiendo establecerse como mínimo 10 plantas de la misma especie por cada individuo cortado, o 3.000 plantas por hectárea del tipo correspondiente; en ambos casos homogéneamente distribuidos. Estas cortas selectivas se pueden realizar cada 5 años. Aparte, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) ha estado utilizando en los últimos años el artículo N°25 del mismo decreto para buscar otras alternativas para el manejo de los bosques dominados por tepú. Debido a esto, en realidad se han estado aplicando frecuentemente los métodos de tala rasa en fajas alternas y tala rasa en hoyos de luz, sustituyendo paulatinamente tepú por otras especies de mayor crecimiento como canelo o coigue de Chiloé (*Nothofagus nitida*), lo que claramente condiciona la continuidad de esta especie (Sanzana 2012).

Uno de los únicos estudios publicados sobre silvicultura en bosques dominados por tepú es el de Sanzana (2012), quien describe los métodos de

tala rasa frecuentemente usados en estos bosques. En este sentido según Sanzana (2012):

- *Tala rasa en fajas alternas*: Consiste en cosechar fajas de bosque en forma alterna y con un ancho bastante variable pero que por lo general corresponde a dos veces la altura máxima promedio de los árboles que constituyen el rodal. Con este método se deja una faja de resguardo que potencialmente proveerá de semillas a la faja cosechada. Para facilitar la dispersión de las semillas, las fajas se establecen perpendiculares a la dirección de los vientos predominantes. En la planificación de los rodales donde se prescribe este tipo de manejo, se propone la cosecha de las fajas de resguardo una vez que en las fajas manejadas inicialmente se encuentre establecida la regeneración.
- *Tala rasa en hoyos de luz*: Consiste en cortar el bosque en pequeños hoyos de luz de entre 30 y 50 metros de diámetro en los cuales se extraen todos los individuos, incluyendo los de tepú. Estos hoyos de luz son distribuidos homogéneamente en el bosque con una cantidad de entre 6 y 9 por hectárea. Al igual que en el método anterior, a medida que se va desarrollando la regeneración en aquellos sectores intervenidos se propone la intervención del resto del rodal.

Es importante considerar que ya sea en el caso de las cortas de protección o en las talas rasas en fajas o en hoyos de luz, el objetivo de estas cortas es transformar estos bosques en bosques coetáneos con una estructura horizontal homogénea. Esto contrasta enormemente con la compleja estructura original multietánea y multiestratificada de estos bosques (Bannister et al. 2012; Bannister et al. 2017). El caso de las cortas selectivas o entresaca no es mejor, ya que extraen hasta un 35 % del área basal por hectárea en ciclos de corta de 5 años, por lo que en el corto o mediano plazo se pierde la productividad del bosque debido a la pérdida y/o degradación de su estructura potencial. En este contexto, los bosques dominados por tepú que crecen en sitios altamente limitados en cuanto a drenaje y fertilidad no serían capaces de recuperarse de estas intervenciones de alta intensidad. La respuesta de la regeneración de tepú a los métodos silviculturales antes mencionados no ha sido evaluada. Sin embargo, Sanzana (2012), basado en observaciones de terreno, menciona que en general luego de las intervenciones existe una baja regeneración tepú, la cual contrasta con la abundante regeneración de otras especies como canelo y coigue de Chiloé (Poffet 2007). Esta situación llevaría en el mediano y largo plazo a los tepuales a una conversión hacia renovales de otras especies de mayor crecimiento. La baja sostenibilidad de los métodos antes descritos ha producido que por ejemplo en algunas oportunidad CONAF haya dispuesto una moratoria a la intervención de estos bosques ya que el principio básico de la regeneración no se estaba cumpliendo (Sanzana 2012). La baja efectividad de los métodos silviculturales tradicionales para asegurar la regeneración de tepú luego de intervenciones, origina un significativo problema la sostenibilidad de este recurso a futuro, pero además plantea el enorme desafío de explorar métodos silviculturales

alternativos, los cuales se basen en la autoecología de la especie, y que ayuden a mejorar la presente situación.

2.2 Aspectos sobre la autoecología de tepú

La silvicultura, actividad fundamental dentro del manejo sustentable de bosques, está basada profundamente en la ecología forestal (Donoso & Lara 1999; Röhrig et al. 2006). Debido a esto, el manejo sustentablemente de los bosques necesariamente debe basarse en el conocimiento y estudio de la ecología y dinámica de las principales especies que los conforman, de tal forma de asegurar la estabilidad y resiliencia de estos bosques a los largo del tiempo. Históricamente los bosques nativos templados de Chile han sido sometidos a fuertes procesos de destrucción, degradación y fragmentación, donde la silvicultura ha estado prácticamente ausente (Donoso & Lara 1999; Armesto et al. 2010).

En este contexto, es esencial el basar los métodos silviculturales en la autoecología de las especies que se quiere aprovechar, en este caso tepú. En las últimas décadas se ha publicado una serie de estudios sobre la ecología, dinámica y estructura de bosques siempreverdes en la zona del Archipiélago de Chiloé (e.g. Donoso et al. 1984; Armesto & Figueroa 1987; Donoso et al. 2007; Gutierrez et al. 2004, 2009; Bannister et al. 2013). Pese a esto, el conocimiento de bosques dominados por tepú es limitado e incipiente, lo que sumado al uso extensivo de su madera y a su importancia como recurso forestal genera una clara amenaza para la sostenibilidad de su aprovechamiento. Las dificultades propias de estos bosques de difícil medición, como son el difícil acceso y complejidad estructural de la especie entre otras, han relegado hasta ahora su estudio. Es más, es probable que tepú sea la especie arbórea nativa dominante de bosques de la cual menos información se tiene en Chile. Pese a la falta de información, estudios preliminares muestran que la especie crece en sitios de drenaje restringido y extremadamente pobres en nutrientes (Zarin et al. 1998; Bannister et al. 2012), presentando un crecimiento estimado en diámetro menor a 1 mm/año (Cruz & Lara 1981). Por otro lado, Christie & Armesto (2003) señalan que tepú preferentemente se establece sobre troncos. La regeneración de la especie es preferentemente vegetativa con múltiples pies que determinan la "maraña" del tepual (Donoso 2006). Contrasta a esto la evidencia mostrada en los próximos capítulos la cual muestra una importante reproducción por semilla (Bannister et al. 2017). Otros trabajos abarcan la fenología de la especie y la germinación de semillas bajo distintas condiciones de luz (Figueroa et al. 1996; Smith-Ramírez et al. 1998; Díaz & Armesto 2007; Figueroa & Lusk 2001). Gracias a estos estudios se conocen datos sobre su fenología, condiciones de germinación de las semillas, tasa de germinación ($\pm 30\%$) y, que posee un patrón germinativo sincrónico. Otras características como su tolerancia a la sombra o crecimiento permanecen aún en incertidumbre. Si bien ensayos de germinación han mostrado que la especie es indiferente a cambios en luminosidad (Figueroa

& Lusk 2001) se ha observado que tepú crece mejor bajo cierta cobertura de arbustos (Díaz & Armesto 2007). Pese a esto, todos estos estudios definen a tepú como una especie pionera e intolerante a la sombra.

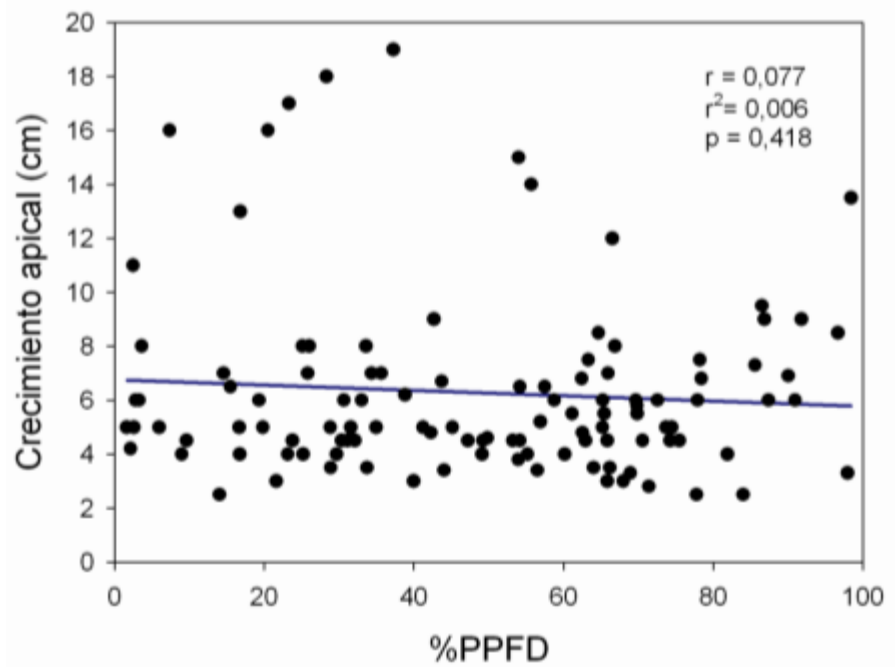


Figura 2.1 Crecimiento apical de plántulas de tepú bajo distintas condiciones de luminosidad (Bannister, datos no publicados). %PPFD = % photosynthetic photon flux density. Línea azul representa regresión no significativa entre las dos variables.

Hasta la realización de este estudio, gran parte de la información existente sobre la estructura o dinámica de bosques dominados por tepú proviene de estudios enfocados principalmente a la conífera ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*). Estos estudios muestran que en estos sitios la sobrevivencia y crecimiento de la regeneración de ciprés no estarían limitados por la luminosidad sino que por la disponibilidad de nutrientes (Bannister et al. 2012; Bannister et al. 2013). En este sentido, los sitios con suelos pobres en nutrientes son más vulnerables a las talas rasas, ya que éstas dañarían las redes micorrísicas, afectando negativamente la disponibilidad de nutrientes (Jones et al. 2003; Bannister et al. 2013). Algo similar a lo que sucede con ciprés puede estar sucediendo con tepú luego de talas rasas o aperturas grandes de dosel, sin embargo no se han realizado estudios al respecto para esta especie (los próximos capítulos muestran por primera vez evidencia). Sin embargo, datos no publicados (Bannister et al. en preparación) confirman que tepú no es una especie necesariamente intolerante ya que su crecimiento no está influenciado por una mayor o menor luminosidad (Figura 2.1). Es más, esto confirmaría al igual que en el caso de ciprés, que el crecimiento de la regeneración de tepú no estaría limitado por la luminosidad sino que por la disponibilidad de nutrientes. De

esta forma la especie estaría adaptada a condiciones nutritivas limitadas pudiendo crecer a bajos niveles de luminosidad, por lo que no necesitaría de aperturas grandes de dosel como tala rasa en fajas para establecerse y desarrollarse.

La escasa información ecológica existente para tepú dificulta la elaboración de métodos silvícolas que permitan un manejo sustentable acorde para este tipo de bosques. Sin embargo, con la información existente ya es posible vislumbrar que el manejo de bosques dominados por tepú no debería incluir métodos silviculturales donde se intervenga drásticamente el dosel, simplificando y convirtiendo la compleja estructura original de estos bosques. En este contexto, métodos silviculturales alternativos ojalá de cobertura continua representarían una buena alternativa para apoyar la regeneración natural post cosecha de tepú, asegurando la persistencia de la especie a futuro, manteniendo la complejidad estructural y funcional de estos bosques y/o recuperando el potencial de los bosques degradados.

2.3 Hacia métodos silviculturales alternativos en bosques dominados por tepú

Si es que se desea fomentar un uso silvícola adecuado para los bosques dominados por tepú, este se debe basar en una imitación de las alteraciones naturales que ocurren en estos bosques (Donoso & Lara 1999; Röhrig et al. 2006). Debido a la estructura multietánea, alta heterogeneidad estructural y diversidad de estos bosques, es esencial que estos sean tratados como sistemas adaptativos complejos (Puettmann et al. 2013), desarrollando métodos silviculturales que incrementen la habilidad de tepú para reorganizarse y para adaptarse a las nuevas condiciones de manejo, lo cual aumente su resiliencia a las intervenciones y asegure su estabilidad a futuro. Con este cambio de enfoque en el manejo silvícola, se podría solucionar el gran problema de la escasa regeneración de tepú post manejo y la consiguiente conversión de estos bosques a renovales de otras especies de mayor crecimiento.

En este contexto, incorporar dentro de las actividades de manejo la teoría de los ciclos adaptativos (Holling 2001) puede crear métodos silviculturales alternativos a los existentes para los bosques dominados por tepú. De acuerdo a esta teoría en sistemas naturales como son los bosques, existiría una estructura jerárquica (Panarquía) que incluiría de forma interconectada interminables ciclos adaptativos de crecimiento, acumulación, reestructuración y renovación (Figura 2.2). La trayectoria de un ciclo se alternaría entre largos periodos de lenta acumulación y transformación de recursos (fase de explotación y conservación), con períodos más cortos que crean oportunidades para los cambios e innovación en el sistema (fase de liberación y reorganización). Luego de la liberación de recursos ("fase Ω "), debido a una alteración o cambio drástico, se entra en una rápida etapa de reorganización ("fase α ") la cual es muy difícil de predecir y donde pueden

ocurrir recombinaciones novedales para empezar un nuevo ciclo (nuevas especies por ejemplo). En este contexto, la resiliencia de un ecosistema sería máxima en las fases de reorganización y explotación (Holling 2001).

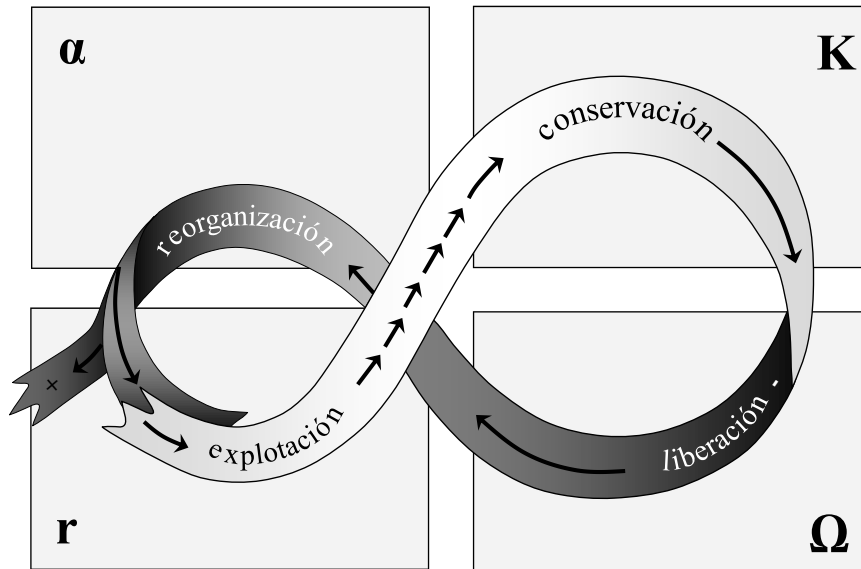


Figura 2.2 Representación de las cuatro fases de un ciclo adaptativo (Holling 2011). Figura extraída y modificada de Lara et al. 2014.

En base a esta teoría, durante la lenta secuencia desde la fase de explotación a la de conservación dentro de un ciclo adaptativo, los ecosistemas acumulan biomasa hasta un punto en que la resiliencia es mínima y el ecosistema se convierte en un "accidente esperando suceder". Bosques que han experimentado raramente alteraciones catastróficas son especialmente sensitivos a alteraciones intensas, en particular tipos de alteración con los cuales el sistema no ha co-evolucionado (Burns 1993; Parish & Antos 2006). Esto estaría sucediendo en los tepuales, los cuales acumulan gran cantidad de biomasa con sotobosques densos, complejos y altamente combustibles de tepú y otras mirtáceas por largos períodos de tiempo sin alteraciones catastróficas (Bannister 2012). Es más, una secuencia de polen en la península de Taitao (46° S) mostró un período de aproximadamente 10.000 años desde la última glaciación con una continua presencia de tepú y otras especies (Lumley & Switsur 1993). Luego de largos períodos sin grandes alteraciones, la acumulación de biomasa es tan grande que la resiliencia de estos bosques es muy baja a disturbios extensivos como son por ejemplo incendios antrópicos (Bannister et al. 2012). En el ambiente lluvioso de la Patagonia Norte, los incendios están mayoritariamente restringidos a la acción humana, pese a lo cual pueden haber algunos incendios debido a rayos (Holz & Veblen 2009). Debido a que estos bosques presentan árboles de baja estatura y con gran cantidad de raíces, no existen caídas masivas o de gran extensión por tormentas de

viento (Bannister 2012). Por otro lado a escala local cambios en el drenaje del suelo debido a actividad tectónica pueden ser de importancia (Szeicz et al. 2003). En tepuales inalterados del sur de Chiloé, se ha observado frecuentemente la ocurrencia de pequeños claros formados por individuos de tepú, coigue de Chiloé o tepa (*Laureliopsis philippiana*) entre otras especies (Bannister et al. 2012), los cuales caen por su propio peso dejando una densa red de troncos en el suelo, sobre los cuales regenera la mayoría de las especies (Christie & Armesto 2003). Así, la información existente indica que la dinámica de los bosques dominados por tepú está asociada a alteraciones de pequeña escala donde el suelo generalmente no queda al descubierto, y donde la especie se establece en su mayoría vegetativamente o sobre troncos creciendo a bajos niveles de luminosidad. Por este motivo no se debieran fomentar los métodos silviculturales aplicados en la actualidad los que abren demasiado el dosel y extraen la totalidad de la biomasa. Actualmente, los métodos silviculturales utilizados en bosques dominados por tepú, están insertando dentro del sistema alteraciones demasiado drásticas las cuales producen una fase de liberación ("fase Ω ") demasiado intensa, impidiendo una fase de re-organización que lleve nuevamente a estos bosques a desarrollar un bosque dominado por tepú.

En este contexto, se deben explorar sistemas y métodos silviculturales alternativos a los tradicionales los cuales den las condiciones ideales para el establecimiento y desarrollo de la regeneración de tepú de tal forma que luego de la intervención silvícola el bosque manejado entre en una nueva fase de acumulación y transformación de recursos con la presencia de tepú. En la actualidad a nivel internacional existen varios sistemas alternativos a los tradicionales, entre ellos la silvicultura cercana a lo natural en Europa (Hatzfeldt 1996; Gamborg & Larsen 2003; Bauhus et al. 2013) o los sistemas de selección en Estados Unidos (Schütz et al. 2012; Messier et al. 2013), los cuales fomentan la heterogeneidad estructural y composicional a través del manejo generalmente de cobertura continua. Debido a las características estructurales propias de los bosques dominados por tepú y su dinámica basada en alteraciones de pequeño tamaño, métodos silviculturales acordes a la silvicultura cercana a lo natural (SCN) representan una real alternativa a la silvicultura aplicada en la actualidad en estos bosques. La aplicabilidad de la SCN en bosques chilenos ha sido explorada ya sea teóricamente (Bannister & Pyttel 2010) o en la práctica (Siebert 1999), pero a diferencia de Europa no ha sido aplicada a la mayoría de los tipos de bosques. La SCN busca fomentar la estabilidad, productividad, diversidad y continuidad de diferentes características de bosques manejados, intentando integrar múltiples objetivos de manejo a pequeñas escalas espaciales (Bauhus et al. 2013). Así existen 10 principios generales en los cuales se debe basar el diverso rango de alternativas silvícolas a ocupar en el bosque (Tabla 2.1). En el caso de los bosques dominados por tepú los cuales presentan alta heterogeneidad estructural y crecen sobre sitios con fertilidad limitada, los principios del SCN claves a tomar en cuenta en la búsqueda de alternativas silvícolas serían lo de la mantención y protección de la productividad del suelo, vegetación y ciclos minerales-energéticos (principios 1, 2 y 3) y los principios relativos a los

métodos de cosecha y diámetro límite (principios 9 y 10). Para realizar esto no es necesario crear nuevos y sofisticados métodos silviculturales sino que adecuar y/o corregir algunos métodos ya existentes utilizados en Chile y aplicarlos a nivel espacial de forma distinta, fomentando la retención de atributos estructurales a nivel espacial (Bauhus et al. 2009). En este sentido métodos permitidos por el Reglamento Técnico N°259 del Decreto Ley 701 como la corta selectiva o por las normas de manejo para el tipo forestal siempreverde como es la corta en bosquetes, podrían ser mejorados para asistir o apoyar la regeneración de tepú y mantener tanto la heterogeneidad como estabilidad de estos bosques a futuro. Otros métodos permitidos, pero que buscan crear bosques coetáneos y homogéneos, como es la corta de protección o las talas rasas en fajas alternas, debieran ser impedidos.

Debido a la fragilidad de los sitios donde crecen los bosques dominados por tepú, donde talas rasas pueden tener un significativo efecto negativo en la disponibilidad de fósforo y nitrógeno (Bannister et al. 2013) se debiera tener especial consideración en incorporar en el manejo métodos de cobertura continua y donde se mantenga biomasa luego de la intervención (principio 1 y 3 de SCN). Esto se lograría creando claros de pequeño diámetro (5 a 10 m de radio) y dejando cierto porcentaje de individuos vivos y muertos de crecimiento horizontal de tepú. Este método, basado en una mezcla de los métodos alemanes "Femelschlag" y "Niederwald" (Röhrig et al. 2006) mantendría cubierto el suelo y crearía las condiciones lumínicas necesarias para el establecimiento y desarrollo de plántulas de tepú, tanto desde semillas de los árboles circundantes como vegetativamente desde los tocones y troncos horizontales de tepú. En el caso de otras especies presentes de crecimiento vertical y mejor forma como coigue de Chiloé, mañío, canelo y tepa, éstas regeneran bien de semilla por lo que no tendrían problemas para establecerse en los claros (Sanzana 2012). De esta forma, con este método se podría extraer por un lado leña desde individuos de tepú y por otro madera aserrada desde individuos de especies de crecimiento vertical y mejor forma como. Este método permitiría mantener la estructura heterogénea, incrementando la habilidad de tepú para re-organizarse y adaptarse a las nuevas condiciones de manejo, aumentando su resiliencia a las intervenciones y asegurando su estabilidad a futuro. Sin embargo, para definir este método, es importante evaluar en terreno el tamaño ideal de los claros, la biomasa residual a dejar y el efecto de estas variables en la regeneración. La evaluación de estas variables es el núcleo del presente estudio.

Tabla 2.1 Principios de la silvicultura cercana a lo natural según la Federación Europea de silvicultores PRO SILVA

Principio 1	<i>Productividad del Suelo</i>	Mantener y proteger la productividad del suelo a través de cobertura continua y mantención de la biomasa forestal (incluida madera muerta).
Principio 2	<i>Vegetación</i>	Mantener la vegetación natural, aun cuando el bosque se ocupe para fines productivos.
Principio 3	<i>Ciclos minerales y energéticos</i>	Mantener los ciclos energéticos y minerales naturales; y mejorar el stock de carbono y microclima.
Principio 4	<i>Regeneración</i>	Usar los procesos dinámicos naturales incluyendo la renovación espontánea (regeneración natural).
Principio 5	<i>Bosques mixtos</i>	Promover los bosques mixtos (no mono-específicos) con atención a las especies raras.
Principio 6	<i>Pesticidas y fertilizantes</i>	Minimizar el uso de fertilizantes, pesticidas y obras de drenaje.
Principio 7	<i>Uso de especies exóticas</i>	Restringir el uso de especies exóticas a estrictos casos de necesidad económica, mezclándose con especies nativas las cuales se vean favorecidas.
Principio 8	<i>Biodiversidad</i>	Sumar valor y favorecer diversidad de especies en la regeneración, tratamientos intermedios y cosecha, cosa de obtener nichos favorables para la biodiversidad en el espacio y el tiempo.
Principio 9	<i>Métodos de cosecha</i>	Usar métodos de selección para evitar talas rasas y otros métodos que destruyen las condiciones internas del bosque.
Principio 10	<i>Diámetro límite de cosecha</i>	Abolir las rotaciones como instrumento para determinar cuando el árbol debe ser cortado y adoptar basados en diámetros límite de cosecha.

Fuente: Extraído de Bannister & Pyttel 2010

3. Hipótesis

En el presente estudio se trabajó en las siguientes hipótesis las cuales orientaron las actividades realizadas. Las hipótesis que orientaron la propuesta de investigación fueron:

(H1) Un método silvicultural basado en alteraciones de pequeña escala (claros), mantiene las condiciones nutritivas del sitio y las condiciones lumínicas necesarias para la regeneración de tepú, incrementando la habilidad de la especie para re-organizarse y adaptarse a las nuevas condiciones post-manejo, lo cual aumenta su resiliencia a las intervenciones y asegura su estabilidad a futuro.

(H2) En los claros creados, la regeneración natural post-cosecha de tepú es afectada negativamente por una mayor luminosidad (> tamaño de claros) y positivamente por una mayor biomasa residual retenida.

(H3) La regeneración natural de tepú, tanto vegetativa como de semilla, es mayor luego de métodos alternativos basados en los principios de la "silvicultura cercana a lo natural (SCN)" que en métodos tradicionales utilizados en la Isla Grande de Chiloé como son tala rasa en fajas alternas y talar rasa en hoyos de luz.

4. Objetivos

Basándose en las hipótesis planteadas en el punto anterior, los objetivos generales y específicos del presente estudio fueron:

4.1 Objetivo general

(OG) Desarrollar métodos silviculturales alternativos para bosques adultos dominados por tepú, los cuales mantengan las condiciones nutritivas del sitio y mantengan condiciones lumínicas acordes, para asegurar y apoyar el crecimiento de la regeneración natural post-cosecha de esta especie.

4.2 Objetivos específicos

(OE1) Estudiar la composición, estructura y dinámica de los bosques dominados por tepú en condiciones inalteradas.

(OE2) Evaluar el efecto de la luminosidad y biomasa residual en la regeneración natural post-cosecha, tanto vegetativa como de semilla en bosques adultos dominados por tepú en la Isla Grande de Chiloé.

(OE3) Comparar la respuesta de la regeneración natural (tanto vegetativa como de semilla) y sustentabilidad general entre los métodos alternativos propuestos por este estudio y cortas de tala rasa en fajas alternas realizadas tradicionalmente en la Isla Grande de Chiloé.

(OE4) Evaluar económicamente los costos de las actividades necesarias para la aplicación de los métodos silviculturales estudiados para de esta forma sustentar una posible inclusión en la ley 20.283.

(OE5) Elaborar pautas de manejo para bosques adultos dominados por tepú las cuales sean aplicables en terreno.

En la propuesta original de investigación se incluyó un quinto objetivo específico sobre divulgar los resultados del proyecto a diferentes grupos vinculados al sector forestal. Este objetivo se incluye solamente en las actividades informadas en la plataforma online del fondo de investigación. Cabe destacar que el objetivo específico OE1, se agregó al iniciar esta investigación de tal forma de poder evaluar el real efecto de los tratamientos teniendo una referencia.

5. Metodología

5.1 Área de Estudio

El área de estudio se ubicó en la Isla Grande de Chiloé entre los 41°46`S y los 43°26`S (Figura 5.1), abarcando la transición entre las regiones biogeográficas templadas norte y sur (Bannister et al. 2012). El clima del área de estudio puede clasificarse como templado con fuerte influencia oceánica, con una humedad relativa cercana al 80 % y una temperatura media de entre 10,6°C y 11,6°C (di Castri & Hajek 1976). La precipitación media anual es variable con 2.410 mm en el norte (Punta Corona), 1.598 mm en el centro (Castro) y 2.047 en el sur (Quellón). La Cordillera de la Costa que alcanza sobre 900 msnm en algunos sectores del centro de Chiloé, es el principal factor controlador de las precipitaciones existiendo sobre 6.000 mm de precipitación media anual en algunas cumbres (Pérez et al. 2008). En la Isla Grande de Chiloé existe un total de 620.024 ha de bosque nativo de las cuales 367.044 ha (59,7 %) presentan tepú como una de las especies dominantes (CONAF 2016). La mayoría de los bosques con tepú se encuentran en terrenos planos o ligeramente ondulados, formados por esquistos metamórficos o en algunos casos depósitos fluvio-glaciales. Los suelos son en general poco profundos, ácidos, pobres en nitrógeno y fósforo, y con horizontes Gley por lo que el drenaje es restringido (Bannister 2012).

Para abarcar el gradiente latitudinal de los bosques de tepú se seleccionaron dos sectores, uno en el norte y otro en el sur de la Isla Grande de Chiloé, los cuales abarcaban el mismo rango altitudinal. En la zona norte de la isla, se seleccionó un tepual del predio Butalcura administrado por la empresa MASISA S.A., de 1.518 ha y ubicado en la comuna de Ancud (UTM: 18S 595.919E 5.330.891S). El tepual de este sitio se ubicó en un paisaje de terrenos bajos en un plano fluvio-glacial. Su ubicación en el relieve pertenece a una hondonada, con altitud de 50 m s.n.m y pendiente plana de 0 %. El suelo en este sitio era de tipo ñadi perteneciente a la serie Calonje (CIREN 2003); el cual posee un horizonte orgánico que promedia 37 cm de profundidad, con profundidad total del suelo entre 25 y > 100 cm. Por lo general, en los suelos ñadis, los elementos nutritivos limitantes son nitrógeno y fósforo, también presentan baja disponibilidad de calcio, potasio, magnesio y azufre. Además poseen drenaje restringido y anegamiento invernal (Schlatter et al. 2003). En la zona sur de la isla se seleccionó un tepual en el predio Parque Tantauco Ex Iníó Quilanlar administrado por el Parque Chiloé SA, de 82.537 ha y ubicado en la comuna de Quellón (UTM: 18S 571.364E 5.198.396S). El tepual de este sitio se ubicó en un paisaje de terrenos bajos sobre una terraza marina. Su ubicación en el relieve pertenece a una hondonada, con altitud de 10 m s.n.m y pendiente plana de 0 %. El suelo en este sitio pertenece a la serie Terrazas del Río San Antonio (CIREN 2003), son suelos estratificados,

profundos, de textura moderadamente fina hasta los 40 cm, y medias y gruesas en profundidad. A los 120 cm se puede presentar una arenisca que constituye un sustrato fuertemente cementado. Este suelo posee drenaje restringido y anegamiento invernal, comportándose de manera similar a un ñadi. Debido a que en general la extracción maderera proveniente de bosques dominados por tepú se concentra en rodales bajo los 200 m.s.n.m. (mejor accesibilidad), tanto en Butalcura como Iníó se consideró solo en cuenta rodales bajo ese margen de altitud. Por último, para estudiar la regeneración luego de tala rasa en fajas, se seleccionó un predio perteneciente a la comunidad indígena Leuquetro, ubicado en el sector del mismo nombre, aproximadamente a 18 km al suroeste de la ciudad de Chonchi, en Chiloé.

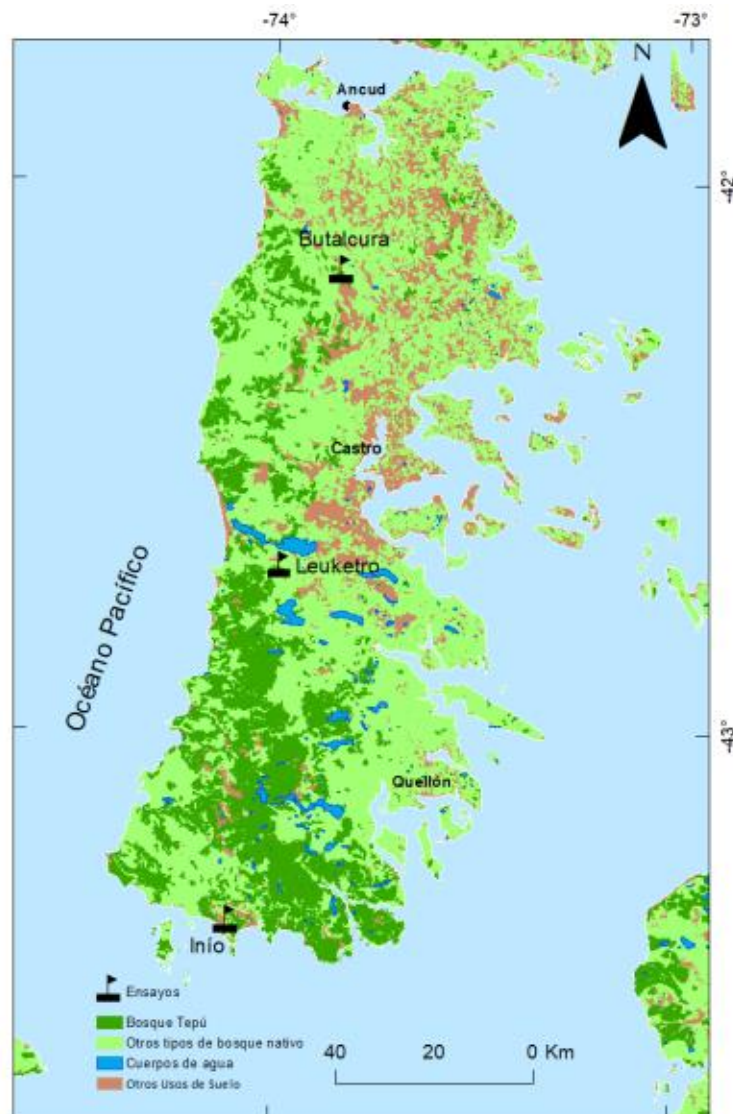


Figura 5.1 Distribución de bosque nativo en la Isla Grande de Chiloé y sectores de estudio. En verde claro se observa la superficie de bosque nativo. En verde oscuro se observa la superficie cubierta por bosque nativo con presencia de tepú. En azul se observa aguas interiores (basado en base de datos de CONAF 2016).

5.2 Diseño Experimental

Para evaluar el efecto de la luminosidad (tamaño de claro) y biomasa residual en la regeneración natural luego de la creación de claros, se seleccionó un rodal en cada sector de estudio. Estos 2 rodales fueron seleccionados luego de una pre-inspección de los dos sectores en que se ejecutó el estudio. Los rodales seleccionados cumplieron con los siguientes requisitos: a) ser bosques adultos de composición dominada por tepú, b) presentar una estructura heterogénea y mínima alteración, c) ubicarse bajo los 200 m.s.n.m., y d) presentar suficiente superficie para incluir 5 bloques experimentales. En cada rodal se evaluaron 6 tratamientos que fueron organizados bajo un diseño factorial con 2 factores, luminosidad (3 niveles: claro de 5, 10 y 15 m de diámetro) y biomasa residual (2 niveles: claro a tala rasa y claro con biomasa residual). En el caso de contener biomasa residual post-cosecha, esta consistió de tocones además de los troncos horizontales bajo 1 metros de altura. De esta forma los 6 tratamientos evaluados fueron las combinaciones de estos 2 factores y sus niveles, es decir: (a) T5/TR: Claro de 5 m de radio sin biomasa residual; (b) T5/BR: Claro de 5 m de radio con biomasa residual; (c) T10/TR: Claro de 10 m de radio sin biomasa residual; (d) T10/BR: Claro de 10 m de radio con biomasa residual; (e) T15/TR: Claro de 15 m de radio sin biomasa residual; (f) T15/BR: Claro de 15 m de radio con biomasa residual (Figura 5.2, 5.3 y 5.4).

Para evaluar los tratamientos en terreno, se aplicó un diseño experimental de bloques completos al azar, donde los 6 tratamientos fueron replicados en 5 bloques. Así, cada rodal fue dividido en 5 bloques de tal forma de que la variabilidad dentro de cada bloque sea menor a la encontrada en el rodal. Dentro de cada bloque, cada tratamiento fue asignado a una unidad experimental de tamaño equivalente al claro objetivo (5, 10 o 15 m de diámetro). De esta forma hubo un total de 30 unidades experimentales por rodal estudiado y un total 60 unidades experimentales en Chiloé. Aparte, para comparar la respuesta de la regeneración natural entre los métodos alternativos propuestos por este estudio y cortas de tala rasa en fajas alternas, se seleccionó un plan de manejo aprobado por la Corporación Nacional Forestal en el sector de Leuquetro. En este sector se seleccionaron 3 fajas de 100 m de largo que fueron cosechadas durante el año 2014 (Figura 5.5).

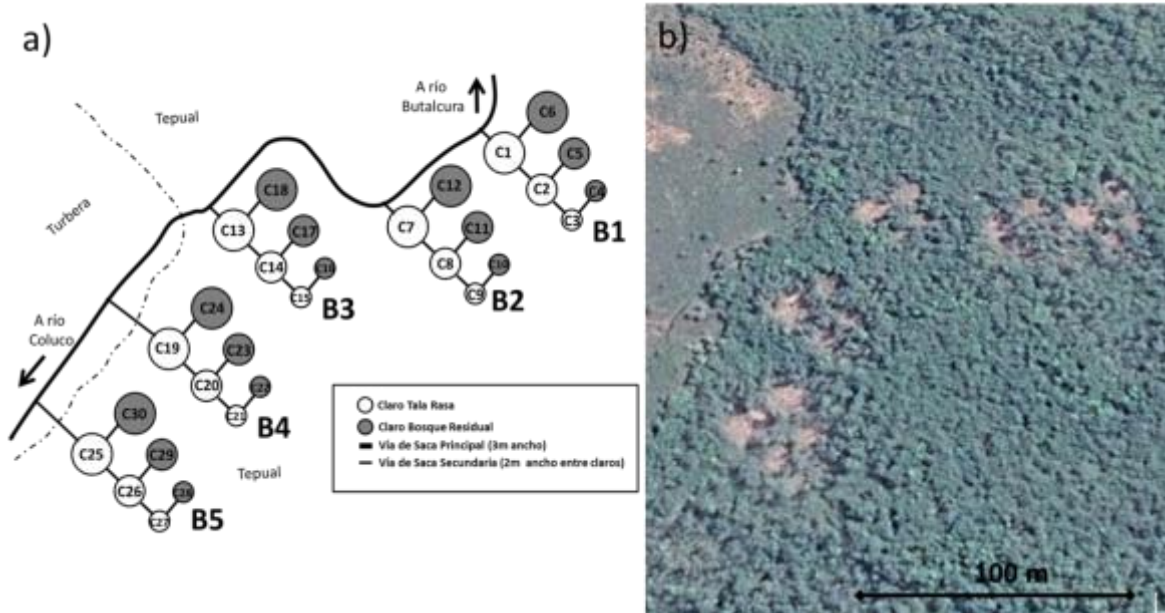


Figura 5.2 Diseño del experimento en tepuales del sector de Butalcura. Esquema del experimento con bloques y tratamientos (a) e imagen satelital del lugar del ensayo (b).

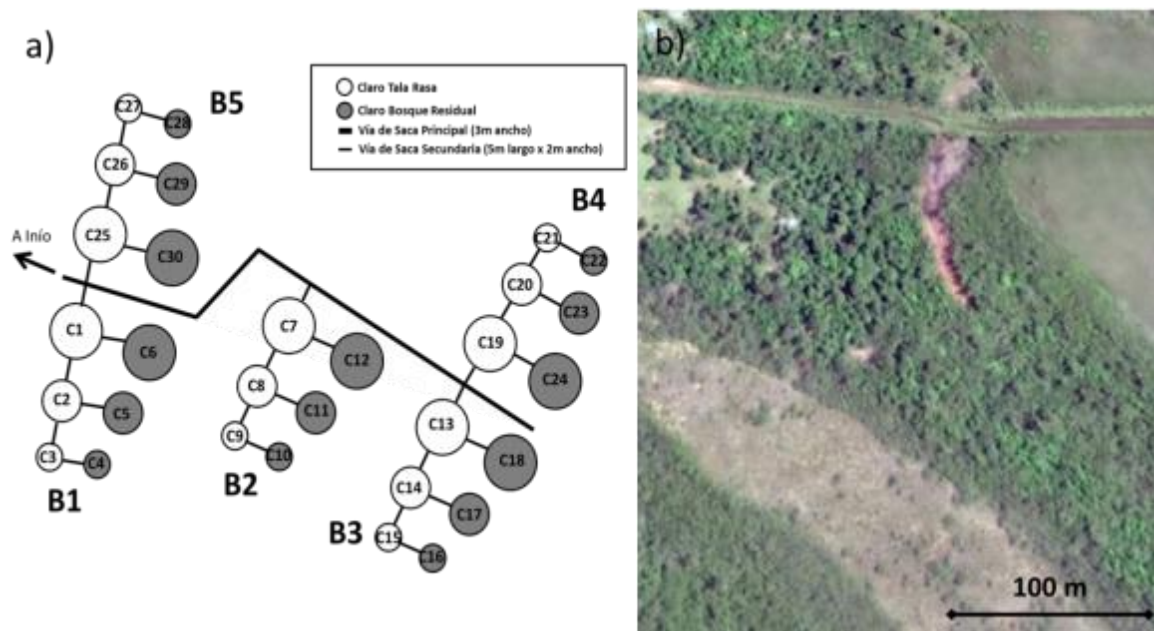


Figura 5.3 Diseño del experimento en tepuales del sector de Iníó. Esquema del experimento con bloques y tratamientos (a) e imagen satelital del área del ensayo (b). Nota: imagen satelital disponible del área de estudio es pre intervención.

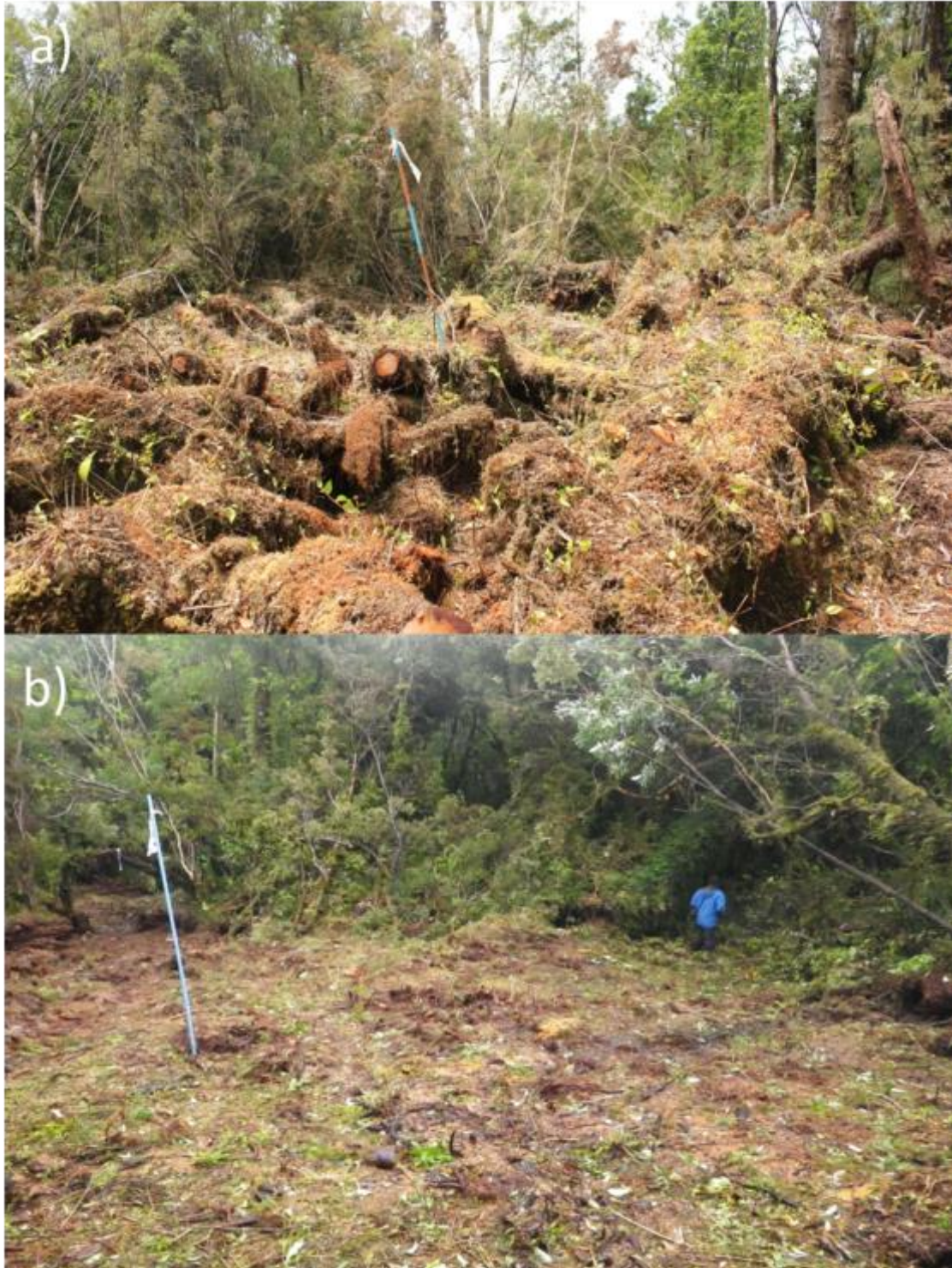


Figura 5.4 Aspecto de los tratamientos de biomasa residual (a) y tala rasa (b) en claros de 15 m de diámetro en tepuales de la Isla de Chiloé.

5.3 Muestreo en Terreno

5.3.1 Mediciones pre-intervención

Previo a realizar las cortas en las 60 unidades experimentales se establecieron 30 parcelas circulares en el mismo lugar y del mismo tamaño que las unidades experimentales del ensayo silviculturas (Figura 5.2 y 5.3), es decir 10 fueron de 15 m de diámetro (176,7 m²), 10 de 10 m de diámetro (78,5 m²), y 10 parcelas de 5 m de diámetro (19,6 m²). En cada parcela se realizó un inventario para caracterizar la estructura y composición arbórea del bosque. Para esto, todos los árboles (≥ 5 cm de diámetro a 1,3 m de altura, DAP) ubicados en cada parcela fue identificado a nivel de especie (Zuloaga et al. 2008) y se le midió su diámetro a la altura del pecho (DAP a 1,3 m de altura en cm) y altura total (m). Además a cada árbol se le evaluó la forma (vertical, oblicuo y horizontal). Para evaluar la regeneración natural, desde el centro de cada unidad experimental se extendieron 4 transectos en dirección radial hacia los cuatro puntos cardinales (N, S, E, O) y de 1 m de ancho hasta el borde de la parcela. En cada transecto se identificó la especie para cada planta ($< 1,5$ m de altura) y brinzal ($> 1,5$ m de altura y < 5 cm DAP), y se registró su clase de altura (1: 0-50 cm; 2: 50-100 cm; 3: 100-150 cm, 4: > 150 cm), origen (semilla, vegetativo), tipo de micrositio sobre el cual crece (suelo mineral, tronco, musgo-hojarasca) y altura de este (1: 0-50 cm; 2: 50-100 cm; 3: 100-150 cm, 4: > 150 cm). Además, se describió la composición florística en base a 5 subparcelas de 1 m² ubicadas en el centro de cada parcela y a 2 m del centro a lo largo de los mismos transectos de regeneración. En cada subparcela se identificaron las especies vasculares, se registró su condición (árbol, arbusto, liana/epífita, herbácea, helecho y musgo) y su cobertura según el método de Braun Blanquet. Finalmente, para conocer las condiciones del suelo, en 3 puntos distribuidos sistemáticamente dentro de cada parcela, se midió la profundidad del suelo, su pH y se extrajeron muestras de suelo a 10 cm de profundidad para análisis nutritivos. Todas las muestras de suelos fueron analizadas nutritivamente en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Universidad Austral de Chile según metodologías normalizadas y recomendadas por (Sadzawka et al. 2006).

5.3.2 Aplicación de tratamientos

Luego de realizar las mediciones pre-intervención, se procedió a crear los claros en base a los 6 tratamientos, es decir claros de 5, 10 y 15 m de diámetro, con biomasa residual y tala rasa. Ambos experimentos, Inío y Butalcura, fueron establecidos durante el año 2014. Sin embargo, por razones logísticas y operativas (aprobación de plan de manejo), el experimento ubicado en Inío fue establecido durante los meses de Abril-Junio y el de Butalcura durante los meses de Septiembre-Diciembre. Luego

de las intervenciones, se procedió a extraer todo el volumen de leña permitido por el tratamiento de tal forma de dejar el espacio libre. Además, luego de la intervención se marcó el centro del claro con un marcador de PVC para las futuras evaluaciones de regeneración. En el sector de Inío, toda la leña extraída del experimento fue cubicada para tener una idea de los productos forestales extraídos y su costo de producción. En el sector de Butalcura esto no se pudo realizar debido a limitaciones logísticas.

5.3.3 Monitoreo post-intervención

Luego de aplicar los tratamientos en cada experimento, se procedió a monitorear anualmente el desarrollo de la regeneración natural durante los inviernos del año 2015 y 2016. Para caracterizar y evaluar el efecto de la luminosidad y biomasa residual después de un año de aplicarse los tratamientos, en cada unidad experimental se establecieron subparcelas de 1 m², distribuidas desde el centro hacia los cuatro puntos cardinales (N, S, E y O), distanciadas cada dos metros desde el centro hasta el borde de cada unidad experimental. De esta manera, las unidades experimentales de 5, 10 y 15 m de diámetro tuvieron 5, 9 y 13 subparcelas, respectivamente. En cada subparcela se identificó cada plántula vascular a nivel de especie (dap < 5 cm) y se registró su rango de altura (1-5 cm, 5-50 cm, 50-100 cm, 100-150 cm y > 100 cm), origen (semilla, vegetativo), el sustrato sobre el cual crecía (suelo mineral, tronco, hojarasca y/o musgo) y la altura del sustrato (0-50 cm, > 50-100 cm y > 100 cm), este último para identificar en qué rango de altura se establece mayoritariamente la regeneración. Para las plantas con altura < 5 cm, se registró la especie y su densidad en un cuarto de subparcela (0,25 m²). La elección del subcuadrante se realizó en función de su representatividad, el subcuadrante debía poseer la misma proporción de tipos de sustrato, y altura de sustrato. En el caso que no existiera un subcuadrante con esas características, se eligió el que presentó los mismos tipos de sustratos y alturas de sustratos de la subparcela, pero sin tomar en consideración las proporciones. Además, en cada subparcela se registró la intensidad de la luz (PPFD) usando el método de Parent & Messier (1996) y utilizando un data logger LICOR 1400 más el piranómetro LI-250A. Esta variable se obtuvo en el centro de la subparcela a 0,3 y 1,3 m de altura desde el suelo, para así relacionar la regeneración del tepú y las principales especies arbóreas con el porcentaje de luz de cada subparcela. Finalmente, para evaluar el efecto de los tratamientos en las condiciones del suelo y la disponibilidad de nutrientes, en 3 puntos distribuidos sistemáticamente dentro de cada parcela, se midió la profundidad del suelo, su pH y se extrajeron muestras de suelo a 10 cm de profundidad para análisis nutritivos. Todas las muestras de suelos fueron analizadas nutritivamente en el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Universidad Austral de Chile según metodologías normalizadas y recomendadas por (Sadzawka et al. 2006).

Aparte, para comparar los resultados de estos experimentos con otras experiencias de manejo con métodos de tala rasa en faja, las tres fajas seleccionadas en el sector de Leuquetro fueron caracterizadas según a) atributos abióticos y b) atributos de su regeneración natural. Para esto se establecieron cada 10 m, diez transectos de forma perpendicular a la faja. Los atributos abióticos se analizaron a nivel de transecto, los cuales consistieron en: a) proporción de radiación incidente media (PRIM) usando el método de Parent & Messier (1996), y calculada mediante el promedio de mediciones de luz en centro y ambos bordes de los transectos, b) proporción de radiación incidente del centro (PRIC) usando el mismo método pero considerando sólo la proporción de radiación en el centro, c) ancho de faja (AF) que corresponde a la distancia (m) entre extremos del transecto, y d) altura de árboles del borde (AAB) que corresponde a la altura media (m) de árboles dominantes y codominantes que componen el borde. Los atributos de la regeneración se cuantificaron mediante el establecimiento de 4 parcelas de 1 m² localizadas en cuatro sustratos distintos a lo largo del transecto (total 120 parcelas). Los sustratos considerados fueron a) borde de la faja (B), b) centro de la faja (C), c) montículo con ramas (MCR), y d) montículo sin ramas (MSR). En cada una de estas parcelas se identificó cada plántula vascular a nivel de especie ($dap < 5$ cm) y se registró su rango de altura, origen, sustrato sobre el cual crecía y la altura del sustrato de la misma forma que en los experimentos de Inío y Butalcura.

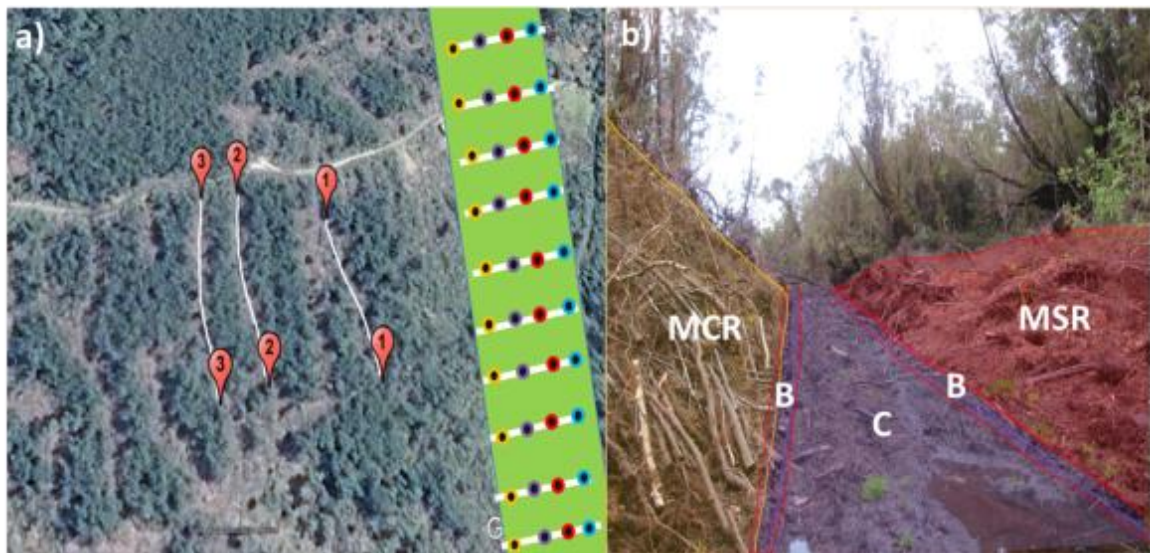


Figura 5.5. Diseño del muestreo en fajas a tala rasa en tepuales del sector de Leuquetro (a). Detalle de los distintos sustratos muestreados en cada faja (b). Los sustratos considerados fueron I) borde de la faja (B), II) centro de la faja (C), III) montículo con ramas (MCR), y IV) montículo sin ramas (MSR).

5.4 Análisis de Datos

5.4.1 Composición, estructura y dinámica de tepuales en condiciones inalteradas.

Para el análisis de la composición florística se consideró el total de parcelas (30 por sector) ya que estas contaban con igual tamaño muestral de especies vasculares (5 subparcelas de 1m²). Debido al dispar tamaño de las parcelas de inventario, y para evitar posibles sobrestimaciones de valores estructurales, en el caso del análisis de datos de inventario se consideró solo las parcelas de 15 m de diámetro (176,7 m²).

Para cada sector se calculó la riqueza total y media de especies vasculares por forma de vida. La similitud entre la composición florística de los sector de Inío y Butalcura fue evaluada a través de un análisis de clúster, usando la especies vasculares presentes en cada parcela de cada sector. El análisis de clúster fue basado en el Índice de Jaccard (IJ) y el algoritmo UPGMA (unweighted pair-group average). Para darle soporte estadístico a los diferentes nodos se aplicaron 1000 iteraciones de bootstrap. UPGMA es un algoritmo de agrupación consistente en el cual las disimilitudes entre grupos son calculadas como la media de todos los posibles pares de miembros de cada grupo (Kreft & Jetz 2010). Además se calculó la riqueza vascular total y media (por parcela) y la frecuencia relativa (%) para cada sector dividiendo las especies por forma de vida.

Los tepuales de ambos sectores se caracterizaron utilizando la densidad (árboles ha⁻¹), el área basal (m² ha⁻¹), diámetro medio cuadrático (cm), altura media (m), altura dominante (m), altura máxima (m) para el total y cada especie arbórea. Además se dividió la densidad y área basal por forma de crecimiento (vertical, horizontal, obliquo). Por su parte la regeneración arbórea se caracterizó a través de la densidad media (plantas /m²) por clase de altura para el total de plantas y por especie. Además se dividió éstas según origen y micrositio en el cual se encontraban.

Para cada sector de estudio, se elaboraron gráficos de estructura diamétrica tanto para el total de especies encontradas como para las cinco especies de mayor área basal por separado. Las estructuras diamétricas se compararon ajustando funciones Weibull a las distribuciones de diámetro de los distintos sectores y especies (Bailey y Dell 1973). La fórmula base de la distribución Weibull ocupa tres parámetros para $x \geq 0$ acomodándose a una gran variedad de formas, por lo cual esta distribución es muy útil para modelar estructuras diamétricas. La expresión matemática de esta función es [1]:

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c} \quad [1]$$

Donde,

x = Diámetro a 1,3 m (DAP, cm)

a = Parámetro de origen.

b = Parámetro de escala.

c = Parámetro de forma

Cuando el parámetro c es < 1 , la distribución de diámetros se ajusta a una curva exponencial negativa; si c es > 1 y $< 3,6$ la distribución es unimodal y positivamente asimétrica; si $c = 3,6$ la distribución se aproxima a una distribución normal y si $c > 3,6$ la distribución es negativamente asimétrica (Bailey & Dell 1973). Para estimar los parámetros se aplicó el método de máxima verosimilitud y se usó la modalidad Weibull de 2 parámetros, fijando el parámetro de origen "a" en 0 (Gutiérrez et al. 2009).

Todas las variables relacionadas a estructura, regeneración, elementos nutritivos y riqueza de especies, fueron analizadas con las pruebas Shapiro-Wilk, Kolmogorov Smirnov y Levene para evaluar su distribución y la homogeneidad de sus varianzas. Las variables densidad total, densidad vertical y oblicua, área basal total, área basal vertical y oblicua, Ph y contenidos de nitrógeno, fósforo y boro presentaron distribuciones normales y homogeneidad de varianzas. Para estas variables, al comparar diferencias entre pares de grupos se usó la prueba paramétrica T. El resto de las variables presentó heterocedasticidad y distribuciones no normales, incluso luego de varias transformaciones. Por este motivo, para estas variables, al comparar diferencias entre pares de grupos se usó el test no paramétrico de Mann-Whitney U y en el caso del tipo de sustrato (3 grupos) se usó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis. En este último caso cuando se encontraron diferencias significativas, se realizaron análisis posteriores para buscar diferencias usando comparaciones post hoc basadas en el test de Mann-Whitney U y el método Bonferroni (Sokal & Rohlf 1995). Por último, para relacionar variables estructurales, nutritivas y de abundancia de regeneración para el total y las principales especies arbóreas y no arbóreas, se utilizaron correlaciones por rangos de Spearman tomando en cuenta los dos sectores de estudio juntos. Todos los análisis estadísticos fueron realizados usando los paquetes estadísticos SPSS v.17.0 package (SPSS, Chicago, Illinois, USA) y R (R Development Core Team 2010). Esta parte del estudio fue publicado en: *Bannister JR; K Kremer, N Carrasco-Farias, N Galindo. 2017. Importance of structure for species richness and tree species regeneration niches in old-growth Patagonian swamp forests. Forest Ecology and Management 401: 33-44.*

5.4.2 Efecto de la luminosidad y biomasa residual en la regeneración natural post-cosecha

El análisis de datos se realizó para cada sector de estudio por separado. La caracterización de la regeneración arbórea para cada tratamiento de cada experimento se realizó a través de parámetros descriptivos (mínima, media, máxima, desviación estándar, coeficiente de variación). Los valores fueron expresados en valores por unidad de superficie (plantas/m²). Para evaluar los tratamientos realizados en el año 2016 e identificar los efectos del tamaño del claro (Luz) y de la biomasa residual (Biomasa) en la cantidad de regeneración se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) de dos factores con interacción. Por la falta de normalidad y homogeneidad de las varianzas de los datos se aplicó el método no-paramétrico ART (Aligned Rank Transform for nonparametric factorial ANOVAs), implementado en el paquete "ARTool" (Kay & Wobbrock 2016) del programa R (R Core Team 2011). El ART primero "alineó" los datos para cada efecto (factor principal o interacción de los factores) antes de asignar rangos promedios, y a continuación, realiza las pruebas paramétricas (ANDEVA) en los rangos alineados. Para evaluar la normalidad del conjunto de datos y homogeneidad de las varianzas, se aplicaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente.

Para identificar otras condiciones de nicho de regeneración (micro-sitio) se aplicó un Análisis de Correspondencias Canónico (ACC). El ACC es una técnica multivariante que permite representar en un espacio geométrico de pocas dimensiones las proximidades existentes entre un conjunto de objetos (p.ej. especies) condicionado por una serie de variables ambientales. Los resultados se muestran con un diagrama de biplot. Toda la información se analizó en tres grupos: a) regeneración total (todo rango de altura), b) regeneración con altura ≤ 5 cm y, c) regeneración con altura > 5 cm, para cada sector por separado (Butalcura e Inío), con el objetivo de mostrar las diferencias de la regeneración entre estos dos rangos de altura.

Aparte, se analizó estadísticamente las características de los suelos (PH y nutrientes) entre el año 2014 y 2016 en cada sector de estudio a nivel general, y luego se realizó la misma comparación pero a nivel de tratamiento aplicado. Para seleccionar la prueba de comparación indicada para ambos análisis, primero se verificó si el conjunto de datos se ajustaba a una distribución normal y si existía homocedasticidad de varianza a través de las pruebas de Shapiro Wilk y Levene, respectivamente. En aquellos conjuntos de datos que cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianza, el pH y los nutrientes del suelos entre los años 2014 y 2016 fueron comparados a través de la prueba t-student, mientras que aquellos que no cumplieron con los supuestos se compararon con la prueba de rangos de los signos de Wilcoxon.

5.4.3 Comparación de la respuesta de la regeneración natural entre claros y cortas de tala rasa en fajas alternas

Para realizar la comparación de la respuesta de la regeneración natural entre claros (experimentos de este estudio) y cortas tradicionales a tala rasa en fajas, se consideraron los valores del primer año de monitoreo de los experimentos. Esto ya que las fajas analizadas tenían un 1 año desde su creación y así se consideraba el mismo período de tiempo desde la corta para la comparación. En cada faja, se calcularon los estadísticos descriptivos principales para las variables mencionadas, y posteriormente fueron analizadas con las pruebas paramétricas Shapiro-Wilk y Levene para evaluar la distribución de datos y la homogeneidad de varianzas. Para evaluar la existencia de diferencias entre variables paramétricas se aplicaron análisis de varianza (ANDEVA) de una vía, y en caso de existir diferencias se utilizaron pruebas post hoc basadas en pruebas Tukey, LSD. Para datos no paramétricos, las diferencias se evaluaron mediante la prueba de Kruskal Wallis, seguida de pruebas post hoc basadas en la prueba Dunn y el método Bonferroni cuando existieron diferencias (Dinno 2015). Las correlaciones fueron evaluadas con la prueba de correlación de Pearson en caso de variables paramétricas, y con la prueba de Spearman para variables no paramétricas.

5.4.4 Evaluación económica de los costos de las actividades silvícolas aplicadas

Todas las intervenciones aplicadas en el sector de Inío y Butalcura fueron costeadas. Además, en el caso de Inío se cubicaron los productos forestales extraídos de cada unidad experimental lo que permitió tener una idea de los ingresos producto de la intervención. La cubicación se realizó a través del acopio de la leña obtenida de forma ordenada en la vía de saca en hileras de 1m de ancho y 1m de largo y con largo variable. Una vez terminada la cosecha, extraída toda la leña utilizable y estando toda esta leña acopiada de forma ordenada en la vía de saca, se procedió a medir el volumen estéreo acopiado con huincha métrica y usando la siguiente fórmula:

Volumen extraído (mst) = ancho hilera (m) * alto hilera (m) * largo hilera (m).

En base a esto se realizó una evaluación financiera de las operaciones efectuadas, incluyendo costos e ingresos asociados. Para esto se analizó también las áreas basales vertical, horizontal y oblicua de tal forma de estimar la pérdida económica que representa el dejar biomasa residual en el claro realizado. Esto permitirá sustentar a futuro una eventual inclusión de los métodos propuestos en este estudio en los instrumentos de fomento de la ley 20.283.

6. Resultados

6.1 Composición, estructura y dinámica de tepuales en condiciones inalteradas.

6.1.1 Composición de bosques dominados por tepú

A nivel general se identificó un total de 51 especies vasculares (Tabla 2), de las cuales un 82,4 % fueron nativas, un 13,7 % fueron endémicas y un 3.9 % eran de origen desconocido. No se encontraron especies exóticas en los dos sectores de estudio. La mayor cantidad de especies se encontró en la categoría arbóreas (18 especies) y en la categoría herbácea, anual y helechos (20 especies). Ambos sectores, Inío y Butalcura, presentaron similares valores de riqueza total y media, con las mismas tendencias de riqueza por forma de vida (Tabla 6.1). Sin embargo, el análisis de clúster mostró dos grandes grupos correspondientes a cada uno de los sectores de estudio (Inío y Butalcura). La división entre nodos del análisis de clúster entre estos dos grupos estuvo apoyada por un 100 % de soporte bootstrap (Figura 6.1). Las mayores diferencias composicionales entre sectores se dieron a nivel arbóreo encontrándose las especies olivillo (*Aextoxicon punctatum*), pitra (*Myrceugenia exsucca*), fuinque (*Lomatia ferruginea*), arrayán (*Luma apiculata*), y notro (*Embothrium coccineum*) sólo en el sector de Inío y pitrilla (*Myrceugenia parviflora*), ulmo (*Eucryphia cordifolia*), chaquihue (*Crinodendron hookerianum*) sólo en Butalcura. A nivel arbustivo las especies coicopihue (*Phylesia magellanica*) y mirteola (*Myrteola nummularia*) sólo se encontraron en Inío y patagua (*Myrceugenia planipes*), chaura (*Gaultheria phillyreifolia*) y voqui (*Campsidium valdivianum*) sólo en Butalcura. En la categoría subarbustiva medallita (*Sarmienta scandens*) sólo se encontró en Inío y estrellita (*Asteranthera ovata*) sólo en Butalcura. Por último en la categoría herbáceas, anuales y helechos las especies chupalla (*Fascicularia bicolor*), ñocha (*Greigia landbeckii*) y rucachucao (*Nertera granadensis*) sólo se encontraron en Inío en cambio, las especies *Carex* sp, *Hymenophyllum tortuosum* sólo se encontraron en Butalcura (ver frecuencias relativas por especie en anexo).

6.1.2 Estructura de bosques dominados por tepú

Los rodales estudiados se ubicaron en terrenos planos, de drenaje restringido y saturados de agua durante gran parte del año. El rodal del sector de Butalcura se ubicaba a ± 50 m.s.n.m, en un sitio de origen fluvio-glaciar, con suelos delgados, de 25 cm a 100 cm de profundidad, con textura franco arcillosas sobre un horizonte Gley, muy ácidos (Ph: 4,8) y valores medios de P (6,9 mg/g) y N (2,4 mg/gr). El rodal del sector de Inío

se ubicaba a ± 10 m.s.n.m, en un sitio de origen sedimentario, con suelos más profundos, de sobre 100 cm de profundidad, con textura franco arenosa, muy ácidos (Ph: 4,5) y valores medios de P (5,8 mg/g) y altos de N (8,3 mg/gr) (Tabla 6.2). Sobre estos sitios, los bosques dominados por tepú presentaron elevadas densidades medias y áreas basales, y bajas alturas dominantes, máximas y medias, además de un diámetro medio cuadrático (DMC) bajo (Tabla 3). Los bosques de Inío presentaron una densidad similar a Butalcura pero debido al diámetro medio cuadrático mayor el área basal media fue significativamente superior en Inío (94,7 m²/ha) que en Butalcura (61,6 m²/ha) ($p \leq 0,05$). En ambos sectores de estudio, la mayor parte de la densidad (61,0 % en Inío y 69,0 % en Butalcura) presentó formas verticales, no existiendo diferencias significativas entre sectores. En cuanto al área basal existe significativamente una mayor proporción de área basal horizontal/oblicua en Inío (44 %) que en Butalcura (27,4 %) ($p \leq 0,05$).

Tabla 6.1 Riqueza total y media de especies vasculares en tepuales de los sectores de Inío y Butalcura. Tamaño muestral: 5m² por 30 parcelas por sector. Letras diferentes indican diferencia significativas entre sectores (minúscula: $p \leq 0,05$; mayúscula: $p \leq 0,01$).

	Inío	Butalcura	Total
Riqueza total (N°esp)			
Total	37	37	51
Arbóreas	14	12	18
Arbustivas	6	7	9
Subarbustivas	3	3	4
Herbáceas, anuales y helechos	14	15	20
Riqueza media (N°esp/parcela)			
Total	16,6 ($\pm 3,9$) ^b	19,0 ($\pm 2,5$) ^a	17,8 ($\pm 3,5$)
Arbóreas	5,8 ($\pm 1,6$) ^a	6,7 ($\pm 1,5$) ^a	6,2 ($\pm 1,6$)
Arbustivas	3,2 ($\pm 1,0$) ^B	3,9 ($\pm 0,8$) ^A	3,6 ($\pm 1,0$)
Subarbustivas	1,3 ($\pm 0,8$) ^a	1,2 ($\pm 0,7$) ^a	1,2 ($\pm 0,8$)
Herbáceas, anuales y helechos	6,3 ($\pm 2,0$) ^a	7,2 ($\pm 1,3$) ^a	6,8 ($\pm 1,7$)

Fuente: Extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

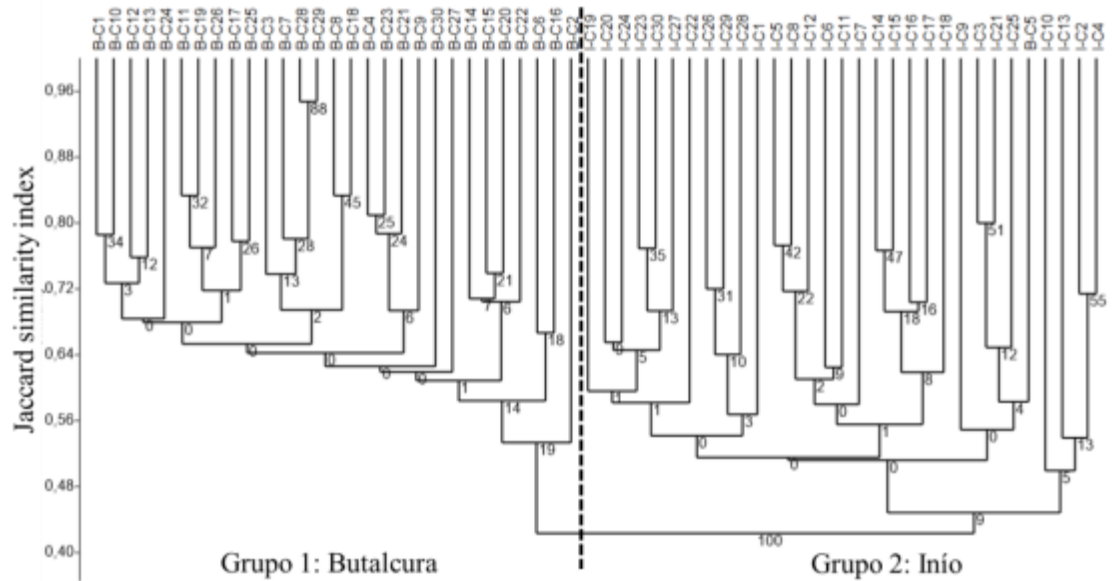


Figura 6.1 Análisis de clúster basado en la composición de especies vasculares de las 60 parcelas establecidas en bosques pantanosos dominados por tepú en Chiloé. Números cercanos a nodos representan el soporte bootstrap. La línea punteada representa la división entre los dos grupos. Grupo 1: Parcelas del sector Butalcura; Grupo 2: Parcelas del sector Inío. Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

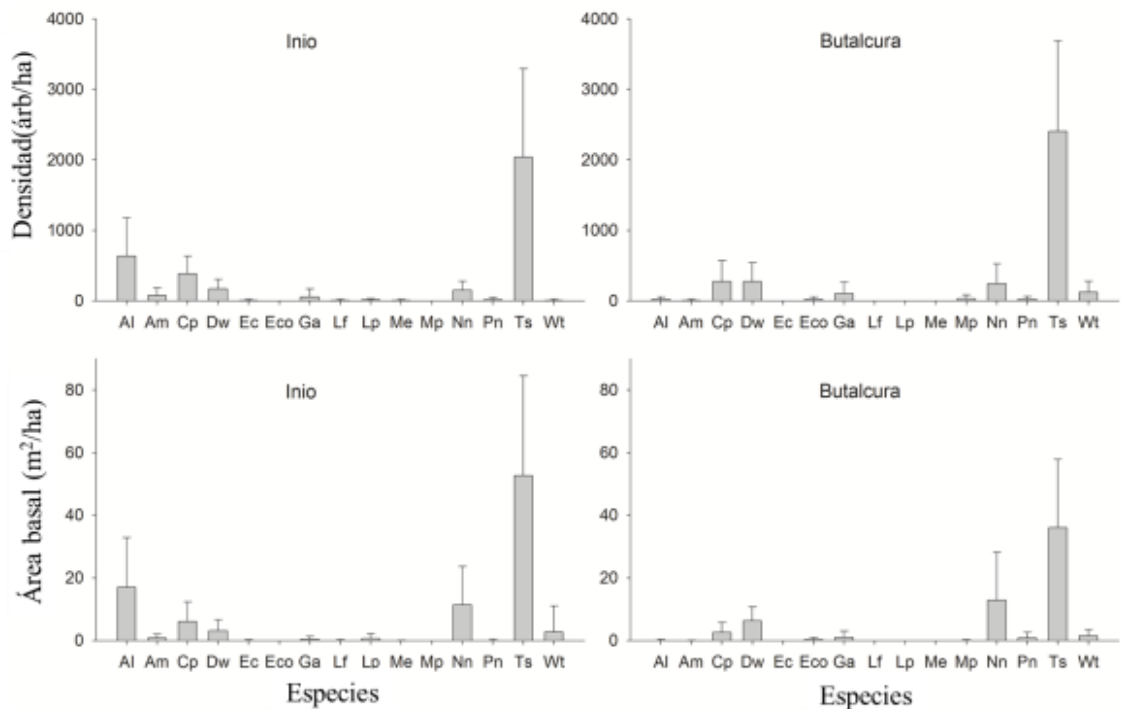


Figura 6.2 Densidad media y área basal media de las especies arbóreas en los tepuales de Inío y Butalcura. Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

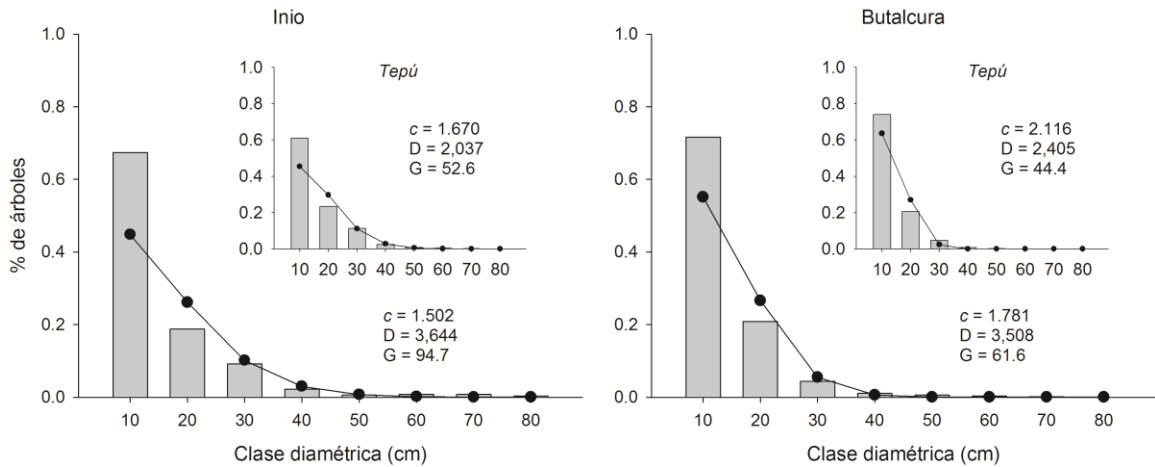


Figura 6.3 Estructura diamétrica para cada sector de estudio incluyendo el total de especies arbóreas. La línea de la función Weibull indica el ajuste de la distribución de tamaños. c = Parámetro de forma de la función Weibull, D = densidad media (árboles/ha), G = área basal media (m^2/ha). Recuadro en cada gráfico muestra estructura diamétrica de tepú. Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

En ambos sectores de estudio la especie arbórea más importante en términos de densidad y área basal fue tepú, seguida de coigue de Chiloé, canelo y tiaca (*Caldcluvia paniculata*). En el caso del sector de Inío sobresale luma (*Amomyrtus luma*) como la segunda especie en importancia tanto en densidad como área basal (Figura 6.2). Tineo (*Weinmannia trichosperma*), a diferencia de coigue de Chiloé, pese a también ser una especie emergente dentro de este tipo de bosque, aparece en un rol secundario tanto en densidad como área basal en ambos sectores de estudio.

Ambos sectores de estudio presentaron amplios rangos de clases de diámetros (10 y 80 cm, Inío; 10 y 70 cm, Butalcura), presentando mayor cantidad de individuos en clases diamétricas menores (>80 % de individuos bajo 25 cm de DAP). La estructura de Inío presentó mayor cantidad de individuos en clases diamétricas superiores que Butalcura (Figura 6.3). Considerando el total de individuos, las curvas de estructura diamétrica de ambos sectores fueron cercanas a una forma exponencial negativa, pero con una leve asimetría positiva, con valores del parámetro c de la distribución Weibull de 1,50 (Inío) y 1,78 (Butalcura). En Inío, a nivel de especie, tepú, tiaca, canelo y luma presentaron valores de c similares a la tendencia anterior ($c=1,67, 1,55, 1,71, 1,46$; respectivamente), siendo coigue de Chiloé la especie que presentó un valor de c más bajo ($c=1,06$). En Butalcura, tepú, tiaca y canelo presentaron curvas positivamente asimétricas ($c=2,11, 2,25, 2,57$; respectivamente). Contrario a este patrón, coigue de Chiloé presentó en este sector también una curva cercana a una forma exponencial ($c=1,16$).

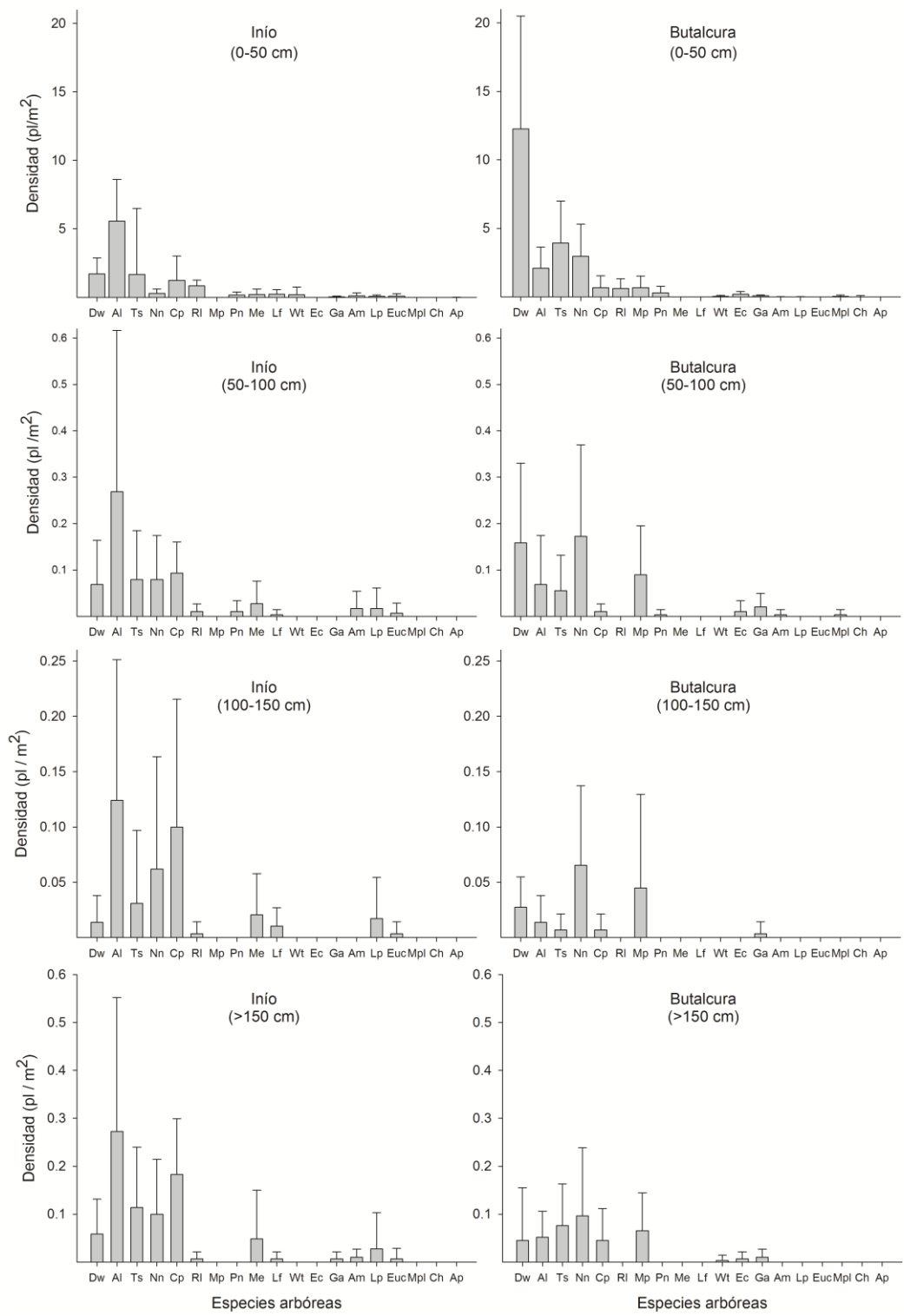


Figura 6.4 Densidad de la regeneración por clase de altura y especie en los tepuales de Iníó y Butalcura. Nótese las diferentes escalas en ejes y. Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

En cuanto a la regeneración en ambos sectores de estudio, considerando todas las especies arbóreas esta fue abundante con una media de 14.3 ($\pm 8,5$) plantas por m² en Inío y significativamente mayor en Butalcura con 25.0 ($\pm 13,2$) plantas por m² ($p \leq 0,05$). Un 86,5 % de la regeneración en Inío y un 95.3 % de la regeneración en Butalcura tenía una altura menor a 50 cm. En Inío, las especies con regeneración más abundante en todas las clases de altura fueron luma, tepú, canelo, coigue de Chiloé y tiaca (Figura 6.4). A medida que la clase de altura aumentó, especies como coigue de Chiloé, tiaca, tepa y pitra aumentaron su importancia relativa. En Butalcura se observó la misma tendencia de Inío con las mismas especies arbóreas más abundantes, pero con una mayor abundancia relativa de canelo, coigue de Chiloé, patagua y una menor abundancia relativa de luma y tepú al aumentar en clase de altura (Figura 6.4).

Tabla 6.2. Atributos estructurales y propiedades del suelo de los tepuales de Inío y Butalcura. Letras diferentes indican diferencia significativas entre sectores (mínuscula: $p \leq 0,05$; mayúscula: $p \leq 0,01$).

		Inío	Butalcura
Árboles			
DMC	(cm)	18,2 ($\pm 4,1$) ^a	15,0 ($\pm 3,3$) ^a
H	(m)	9,6 ($\pm 1,1$) ^a	9,3 ($\pm 1,3$) ^a
Hdom	(m)	13,65 ($\pm 2,30$) ^a	15,64 ($\pm 2,98$) ^a
H max	(m)	19,0 ($\pm 4,9$) ^a	22,50 ($\pm 5,89$) ^a
Densidad	(N ha ⁻¹)	3.644 ($\pm 797,7$) ^a	3.508 (± 1241) ^a
Área basal	(m ² ha ⁻¹)	94.7 ($\pm 29,7$) ^a	61.6 ($\pm 24,0$) ^b
Densidad / forma			
<i>Vertical</i>	(%)	61,0 ($\pm 13,6$) ^a	69,0 ($\pm 15,8$) ^a
<i>Oblicuo</i>	(%)	32,3 ($\pm 11,3$) ^a	22,8 ($\pm 11,2$) ^a
<i>Horizontal</i>	(%)	6,4 ($\pm 3,3$) ^a	7,9 ($\pm 9,9$) ^a
Área basal /forma			
<i>Vertical</i>	(%)	56,0 ($\pm 14,5$) ^b	72,6 ($\pm 17,0$) ^a
<i>Oblicuo</i>	(%)	32,5 ($\pm 10,4$) ^A	18,8 ($\pm 8,9$) ^B
<i>Horizontal</i>	(%)	11,5 ($\pm 9,1$) ^a	8,5 ($\pm 9,5$) ^a
Propiedades del suelo			
Profundidad	(cm)	>100	25 - >100
pH		4,9 ($\pm 0,1$) ^A	4,6 ($\pm 0,2$) ^B
Ntot	(%)	0,27 ($\pm 0,09$) ^B	0,87 ($\pm 0,09$) ^A
P	(mg Kg ⁻¹)	6,5 ($\pm 1,4$) ^a	5,4 ($\pm 2,6$) ^a
B	(mg Kg ⁻¹)	0,61 ($\pm 0,12$) ^a	0,72 ($\pm 0,11$) ^a
K	(mg Kg ⁻¹)	105,9 ($\pm 45,1$) ^b	143,8 ($\pm 60,0$) ^b

Fuente: Extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

6.1.3 Influencia de la estructura en los nichos de regeneración

Los micrositios en que se ubicaba la regeneración de las especies arbóreas fueron diferenciados entre Inío y Butalcura. En Inío un 80,8 % ($\pm 18,9$) de la regeneración se encontró sobre troncos, en cambio en Butalcura este

porcentaje bajó a 46,8 % ($\pm 19,7$). Otro micrositio frecuente fue el compuesto por musgos y helechos con un 17,5 % ($\pm 18,0$) en Iníó y 52,5 % ($\pm 19,9$) en Butalcura (Figura 6.5). A nivel de especie, en Iníó gran parte de las especies arbóreas presentaron una mayor abundancia de su regeneración sobre troncos, exceptuando pitra y avellano (*Gevuina avellana*) que presentaron mayor abundancia de regeneración sobre musgos y helechos. En Butalcura, la mayoría de las especies presentó mayor abundancia de regeneración sobre musgos y helechos, exceptuando tepú, coigue de Chiloé, tiaca, sauco (*Raukaua laetevirens*), avellano y chaquihue que presentaron mayor abundancia de regeneración sobre troncos (Figura 6.5).

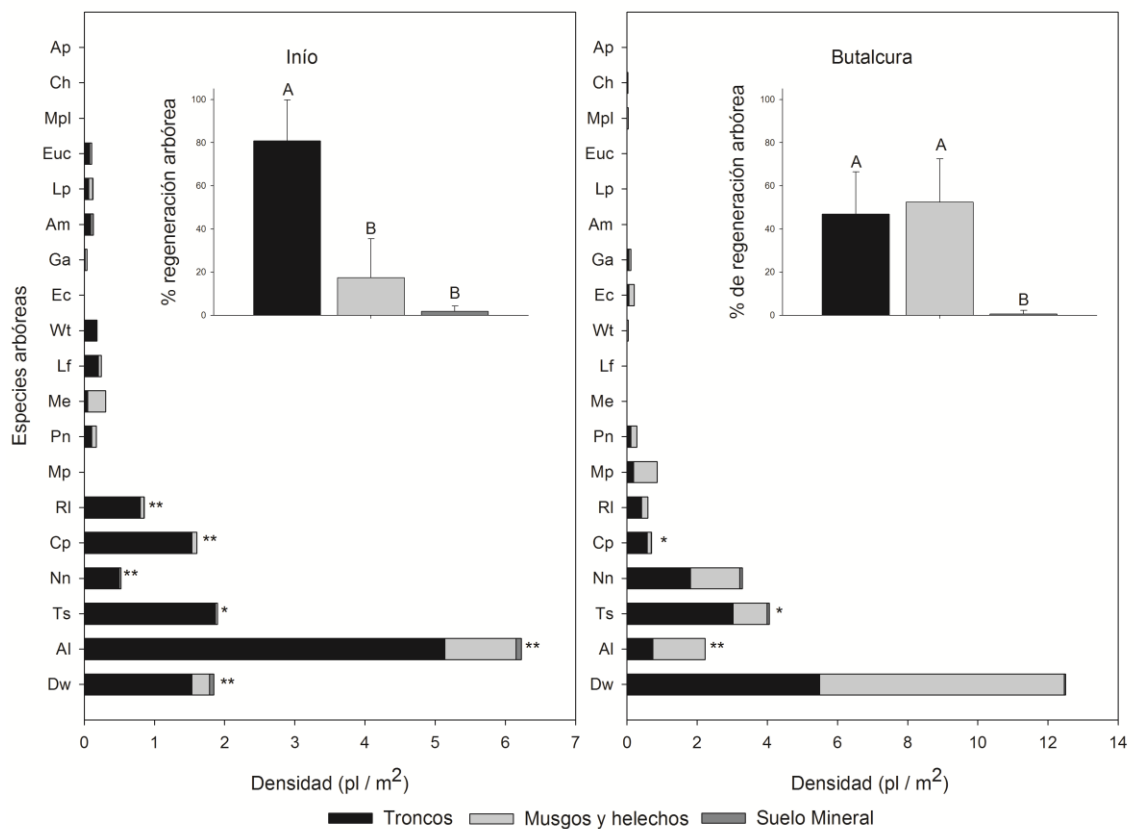


Figura 6.5 Densidad de la regeneración por tipo de micrositio (troncos, musgos y helechos, suelo mineral), para el total y cada una de las especies arbóreas en los Tepuales de Iníó y Butalcura. Letras indican diferencias significativas entre sectores ($p \leq 0,01$). Asteriscos indican diferencia significativas entre sectores (*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$). Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

En cuanto al origen de la regeneración, en ambos sectores de estudio esta fue mayoritariamente de semilla tanto para el total de individuos como para la mayoría de las especies. En el caso de Iníó la regeneración por semilla fue de 79,3 % ($\pm 12,5$) y en Butalcura de 97,2 % ($\pm 2,2$). A nivel de especie se dio la misma tendencia que para el total de especies, es decir una preponderancia de la regeneración por semilla. La única excepción fue tiaca

que presentó en Inío mayor abundancia de regeneración vegetativa (Figura 6.6).

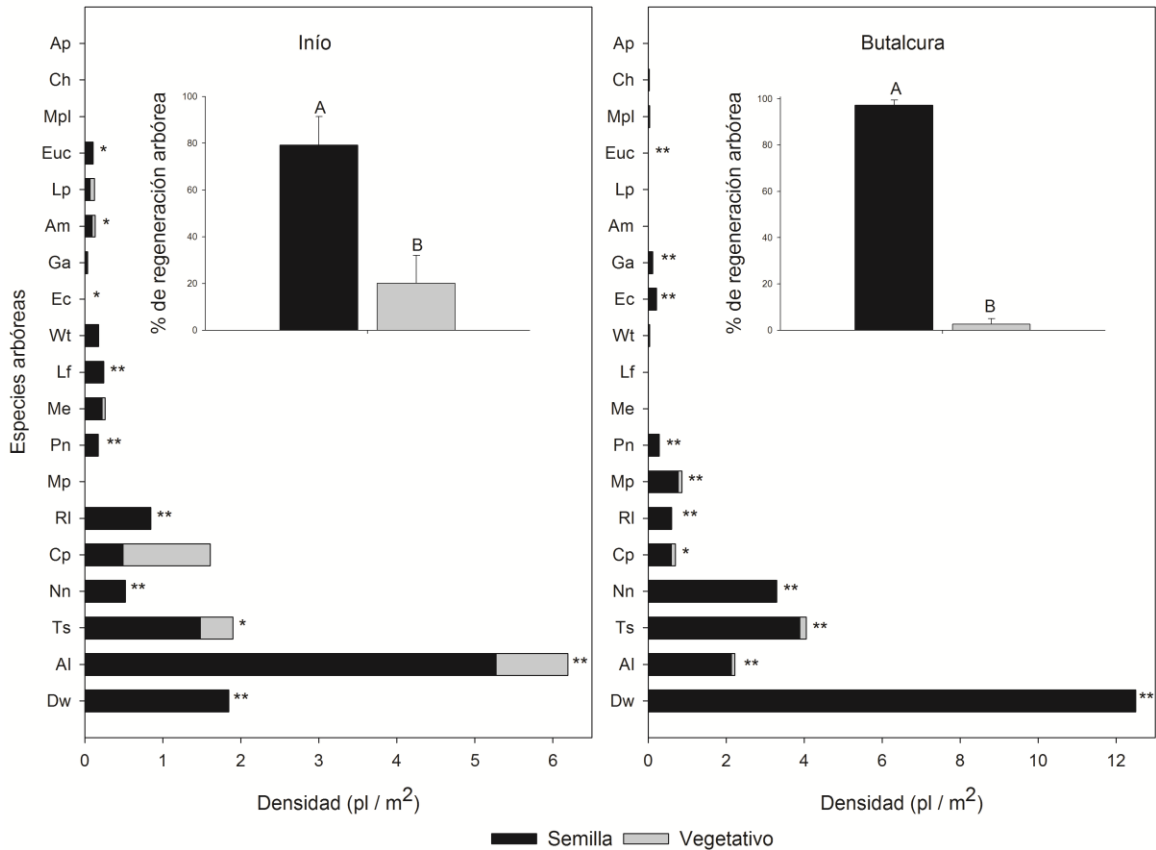


Figura 6.6 Densidad de la regeneración por tipo de origen (semilla/vegetativo), para el total y cada una de las especies arbóreas en los tepuales de Inío y Butalcura. Letras indican diferencias significativas entre sectores ($p \leq 0,01$). Asteriscos indican diferencia significativas entre sectores (*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$). Figura extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

A nivel arbóreo, diversas variables estructurales y nutricionales presentaron correlaciones significativas con la abundancia de la regeneración arbórea. Esta relación fue más fuerte a nivel de especie que para el total (Tabla 6.3). El área basal total, área basal oblicua y nitrógeno total, fueron las variables que se correlacionaron de forma significativa con la regeneración del mayor número de especies arbóreas. Considerando las correlaciones significativas ($p \leq 0,05$), la regeneración de las especies luma, meli (*Amomyrtus meli*), notro, fuinke y sauco se correlacionó positivamente con variables estructurales y negativamente con variables nutricionales. Por el contrario, canelo, ulmo, pitrilla y tepú se correlacionaron negativamente con variables estructurales y positivamente con variables nutricionales (tepú se correlacionó también negativamente con el fósforo). Avellano y patagua solo presentaron correlaciones significativas con variables estructurales y mañío sólo con variables nutricionales. En cuanto a la abundancia de especies no

arbóreas, las variables estructurales y nutricionales que se correlacionaron con la abundancia del mayor número de especies, fueron el área basal oblicua y nitrógeno total (Tabla 6.4). Considerando las correlaciones significativas ($p \leq 0,05$), a nivel general no existe un patrón claro entre especies que se correlacionan positiva y negativamente con variables estructurales y nutricionales. Cabe resaltar la correlación negativa ($p \leq 0,05$) entre la abundancia de líquenes y altura del bosque, y la correlación positiva a nivel de musgos entre la abundancia y la densidad oblicua y área basal horizontal ($p \leq 0,01$), y con el área basal total y oblicua ($p \leq 0,05$). No existieron correlaciones significativas ($p \leq 0,05$) entre variables estructurales y nutricionales con la riqueza total de especies arbóreas y no arbóreas.

Tabla 6.3. Matriz de correlaciones por rangos de Spearman entre características estructurales, nutritivas y abundancia de regeneración para el total y las principales especies de los tepuales estudiados. Se incluyen todas las especies arbóreas con valores significativos para alguna variable estructural. N = 20; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,05$. Total: todas las especies arbóreas juntas; H: altura; DMC: diámetro medio cuadrático; D_tot: densidad total, G_tot: área basal total, G_ver: área basal vertical, G_ob: área basal oblicua, G_hor: área basal horizontal, P: Fosforo (mg/kg), K: Potasio (mg/kg), Nt: Nitrógeno total (%).

Especies	H	DMC	D_tot	G_tot	G_ver	G_ob	G_hor	P	K	Nt
Total	-0.269	-0.224	0.345	-0.110	-0.023	-0.099	-0.270	-0.561**	0.005	0.321
Al	0.078	0.220	0.427	0.397	0.164	0.589*	0.159	0.093	-0.500*	-0.827**
Am	0.322	0.354	0.144	0.445*	0.273	0.491*	0.152	-0.096	-0.519*	-0.588**
Dw	-0.193	-0.341	0.068	-0.362	-0.053	-0.454*	-0.415	-0.454*	0.254	0.671**
Ec	-0.010	0.383	0.123	0.494*	0.081	0.625**	0.360	0.016	-0.198	-0.654**
Euc	-0.180	-0.392	-0.200	-0.472*	-0.284	-0.529*	-0.247	-0.086	0.437	0.771**
Ga	0.110	-0.496*	0.101	-0.464*	-0.320	-0.411	-0.329	-0.007	0.204	0.440
Lf	-0.025	0.192	0.159	0.244	-0.150	0.529*	0.186	0.048	-0.435	-0.738**
Mp	-0.030	-0.211	-0.303	-0.415	0.031	-0.673**	-0.531*	-0.294	0.406	.810**
MyPl	-0.120	-0.494*	-0.019	-0.411	-0.384	-0.299	-0.032	0.220	0.181	0.296
Pn	-0.070	-0.165	-0.230	-0.359	-0.245	-0.316	-0.264	-0.066	0.451*	0.422
RaLa	0.314	0.487*	0.469*	0.722*	0.514*	0.692**	0.116	-0.204	-0.203	-0.622**
Ts	-0.497*	-0.191	-0.005	-0.181	-0.184	-0.178	-0.124	-0.445*	0.246	0.499*

Fuente: *Extraída y modificada de Bannister et al. (2017).*

Tabla 6.4 Matriz de correlaciones de Spearman entre características estructurales, nutritivas y abundancia de especies para el total y las principales especies no arbóreas. Se incluyen todas las especies con valores significativos para alguna variable estructural. N = 20; *p≤0,05; **p≤0,05. H: altura; DMC: diámetro medio cuadrático; D_tot: densidad total, D_ver: densidad vertical, D_ob: densidad oblicua, D_hor: densidad horizontal, G_tot: área basal total, G_ver: área basal vertical, G_ob: área basal oblicua, G_hor: área basal horizontal, P: Fosforo (mg/kg), K: Potasio (mg/kg), Nt: Nitrógeno total (%).

Especies	H	DMC	D_tot	D_ver	D_ob	D_hor	G_tot	G_ver	G_ob	G_hor	P	K	Nt
AsOv	0.119	0.090	-0.161	0.227	-0.198	-0.210	-0.046	0.031	-0.160	-0.071	-0.482*	0.228	0.290
CaSp	0.183	-0.493*	0.130	0.509*	-0.635**	-0.037	-0.465*	-0.179	-0.475*	-0.305	0.090	-0.162	0.198
ChQu	0.064	-0.186	-0.250	0.572**	-0.653**	-0.296	-0.395	-0.004	-0.497*	-0.442	-0.280	0.282	0.520*
HyCr	0.299	0.525*	-0.427	0.420	-0.275	-0.592**	0.247	0.392	0.210	-0.282	0.084	-0.372	-0.323
HyCa	0.194	0.583**	0.046	-0.087	0.191	-0.013	0.607**	0.300	0.708**	0.294	0.164	-0.485*	-0.815**
HyCu	-0.264	0.064	0.098	-0.472*	0.497*	0.263	0.205	-0.014	0.110	0.475*	0.010	0.249	0.210
HyFe	-0.155	0.447*	-0.090	-0.382	0.460*	0.054	0.498*	0.109	0.492*	0.518*	-0.170	0.019	-0.347
HyKr	0.351	0.434	-0.211	0.145	-0.124	-0.155	0.298	0.459*	0.015	0.132	0.151	-0.080	-0.025
HyPec	-0.177	-0.381	-0.007	0.183	-0.247	-0.129	-0.428	-0.171	-0.418	-0.378	-0.421	0.357	0.630**
HyPel	-0.084	-0.159	0.211	-0.276	0.033	0.467*	-0.040	-0.284	0.133	0.278	0.130	0.249	-0.185
HyPl	-0.127	-0.256	0.515*	-0.205	0.020	0.272	-0.058	-0.098	0.072	0.091	0.257	-0.204	-0.339
HyTo	-0.360	-0.309	-0.045	0.126	-0.224	0.122	-0.375	-0.079	-0.359	-0.260	-0.002	0.164	0.494*
HySe	-0.079	-0.230	-0.105	-0.051	0.129	-0.076	-0.181	-0.135	-0.277	-0.183	-0.197	0.852**	0.510*
LuPo	0.027	-0.386	0.143	0.230	-0.277	0.004	-0.350	0.059	-0.493*	-0.350	-0.225	0.223	0.597**
MiCo	-0.272	0.184	0.024	-0.440	0.513*	0.278	0.218	-0.118	0.405	0.381	0.229	0.078	-0.461*
Peln	-0.044	0.199	0.162	0.016	0.129	-0.192	0.295	0.288	0.150	-0.050	-0.668**	0.042	0.043
PhMa	-0.269	0.225	-0.007	-0.349	0.418	0.081	0.153	-0.167	0.396	0.209	0.149	-0.120	-0.543*
SaSc	-0.230	0.273	0.092	-0.360	0.368	0.239	0.365	0.041	0.445*	0.346	-0.155	-0.211	-0.379
SeCa	-0.089	-0.367	-0.475*	0.141	-0.257	-0.073	-0.564**	-0.319	-0.681**	-0.340	-0.179	0.616**	0.871**
Musgos	-0.311	0.360	0.129	-0.557*	0.638**	0.359	0.498*	0.053	0.478*	0.568**	-0.038	-0.098	-0.249
Líquenes	-0.449*	-0.255	0.377	-0.190	0.223	-0.022	-0.159	-0.259	0.099	-0.102	-0.103	-0.125	-0.098

Fuente: Extraída y modificada de Bannister et al. (2017).

6.2 Efecto de la luminosidad y biomasa residual en la regeneración natural post-cosecha

6.2.1 Efecto del tamaño del claro y la biomasa residual en la regeneración

Luego de 2 años desde las intervenciones realizadas, en Butalcura se identificaron 16 especies arbóreas regenerando, las cuales fueron: arrayán, avellano, canelo, chaura, coigue de Chiloé, luma (*Amomyrtus luma*), mañío hoja corta (*Saxegothaea conspicua*), meli, pitrilla, patagua, pitra, chaura, sauco, tepú, tiaca, tineo y ulmo. En cambio, en Inío se identificaron, las mismas especies antes mencionadas (con excepción de avellano, chaura, patagua, pitrilla, sauco y ulmo), más fuinque, notro, mañío de hojas punzantes y tepa, sumando en total de 20 especies establecidas. Las únicas especies que no se encuentran presentes regenerando y que eran parte del bosque original fueron olivillo, avellano y pitra en Inío y chaquihue, tepa y mañío de hojas punzantes en Butalcura. Considerando el total de especies, el sector de Inío presentó en todas las categorías de altura una mayor densidad de regeneración que el sector de Butalcura luego de 2 años desde las intervenciones realizadas (209.000 vs 1.304.000 pl/ha, respectivamente). A nivel de especie, las especies principales de la regeneración establecida en Butalcura fueron tepú (147 mil pl/ha), canelo (~30 mil pl/ha), luma (~10 mil plantas/ha), tiaca (~9 mil plantas/ha), coigue de Chiloé (~5 mil plantas/ha), pitra (5 mil plantas/ha) y tineo (~4 mil plantas/ha) independiente del rango de altura. En Inío fueron tepú (~911 mil plantas/ha), tiaca (~157 mil plantas/ha), meli (~67 mil plantas/ha), coigue de Chiloé (~31 mil plantas/ha), tineo (~31 mil plantas/ha), canelo (~26 mil plantas/ha), arrayán (~24 mil plantas/ha), luma (~23 mil plantas/ha) y tepa (~21 mil plantas/ha). Estas densidades fueron influenciadas en gran medida por la gran cantidad de plantas ≤ 5 cm de altura. Cuando solo se consideraron las plantas de altura > 5 cm, tepú, luma, canelo y pitra fueron las más relevantes en Butalcura y tepú, tiaca, meli, arrayán, luma, tineo, canelo y coigue de Chiloé en Inío.

Los efectos de la biomasa residual y tamaño de claro sobre la densidad de regeneración natural fueron diferentes según sector de estudio y por especie (Tabla 6.5). Considerando la regeneración de todas las especies, en Butalcura el tamaño de claro tuvo un efecto significativo considerando todas las clases de altura y las plántulas bajo 5 cm de altura (regeneración mayor en claro de 15 m). En cambio la biomasa residual tuvo en este sector un efecto significativo solamente en las plantas menores a 5 cm de altura (Figura 14 y 15). No hubo efecto significativo de la interacción entre tamaño de claro y biomasa residual. En el caso de Inío, el tamaño de claro tuvo un efecto significativo solo en la regeneración sobre 5 cm de altura, en cambio la biomasa residual lo tuvo en todas las clases de altura. En este caso la interacción entre estos dos factores tuvo un efecto significativo considerando todas las plántulas y aquellas bajo 5 cm de altura (Figura 6.7 y 6.8).

Tabla 6.5 Prueba no paramétrica ART para los factores biomasa residual (Biomasa), luz (Luz) y la interacción entre los dos factores para las especies más relevantes. * = 0,01 < p < 0,05, ** = 0,001 < p < 0,01, *** = p < 0,001, . = p > 0,05.

Altura	Especie	Butalcura						Inío					
		Biomasa		Luz		Interacción		Biomasa		Luz		Interacción	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Total	Arrayán	-	-	-	-	-	-	9.314	**	6.624	**	5.181	**
	Canelo	0.968	.	14.862	***	8.711	***	0.235	.	5.008	**	0.822	.
	Coigue	1.309	.	2.183	.	0.571	.	45.56	***	4.949	**	6.771	**
	Luma	0.127	.	7.750	***	1.675	.	1.328	.	0.429	.	0.721	.
	Meli	-	-	-	-	-	-	40.735	***	0.833	.	4.194	*
	Pitrilla	27.521	***	0.403	.	1.902	.	-	-	-	-	-	-
	Tepú	1.213	.	3.851	*	1.987	.	20.777	***	3.180	*	4.690	**
	Tiaca	1.995	.	5.0598	**	1.993	.	5.546	*	4.2931	*	0.579	.
	Tineo	5.304	*	0.113	.	41.895	***	12.439	***	7.4262	***	5.649	**
	Todas	1.738	.	11.427	***	1.054	.	11.264	***	2.066	.	3.135	*
< 5 cm	Canelo	31.597	***	8.367	***	19.865	***	0.854	.	4.769	**	5.340	**
	Coigue	53.784	***	1.186	.	25.861	***	58.518	***	2.173	.	15.543	***
	Luma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Meli	-	-	-	-	-	-	40.407	***	0.570	.	1.830	.
	Tepú	1.232	.	6.162	**	2.530	.	22.283	***	3.355	*	5.370	**
	Tiaca	0.002	.	5.310	**	6.303	**	10.789	**	2.051	.	2.080	.
	Tineo	280.26	***	0.270	.	102.60	***	0.055	.	4.567	*	3.884	*
	Todas	11.158	***	8.004	***	1.696	.	17.688	***	2.317	.	3.761	*
>5 cm	Arrayan	-	-	-	-	-	-	0.844	.	3.053	*	4.085	*
	Canelo	5.033	*	12.769	***	0.876	.	0.152	.	3.641	*	1.403	.
	Coigue	17.892	***	2.614	.	1.936	.	2.217	.	4.587	*	1.082	.
	Luma	0.567	.	7.476	***	1.574	.	9.990	**	0.001	.	0.056	.
	Meli	6.992	**	3.856	*	6.769	**	35.845	***	1.680	.	2.980	.
	Pitrilla	27.521	***	0.403	.	1.902	.	-	-	-	-	-	-
	Tepú	12.071	***	0.031	.	0.100	.	3.867	.	10.284	***	0.486	.
	Tiaca	21.858	***	3.370	*	9.020	***	0.133	.	9.271	***	0.177	.
	Tineo	98.812	***	1.390	.	2.211	.	5.452	*	4.282	*	0.991	.
	Todas	8.328	**	8.257	***	0.089	.	5.865	*	5.886	**	0.968	.

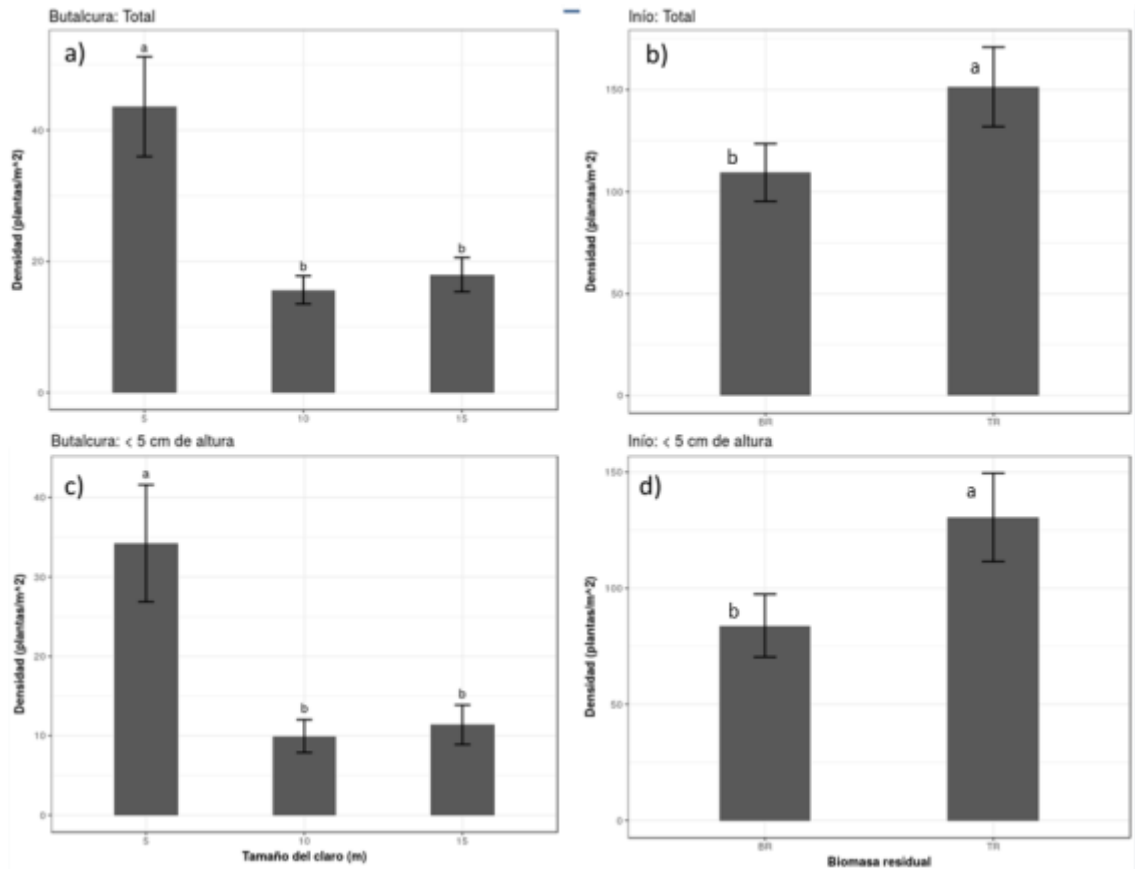


Figura 6.7 Factores que influyen significativamente en la regeneración total y < 5cm de altura en Butalcura (a, c) e Inío (b, d). TR: claro a tala rasa; BR: con biomasa residual; líneas verticales: desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0,05$) entre las medias.

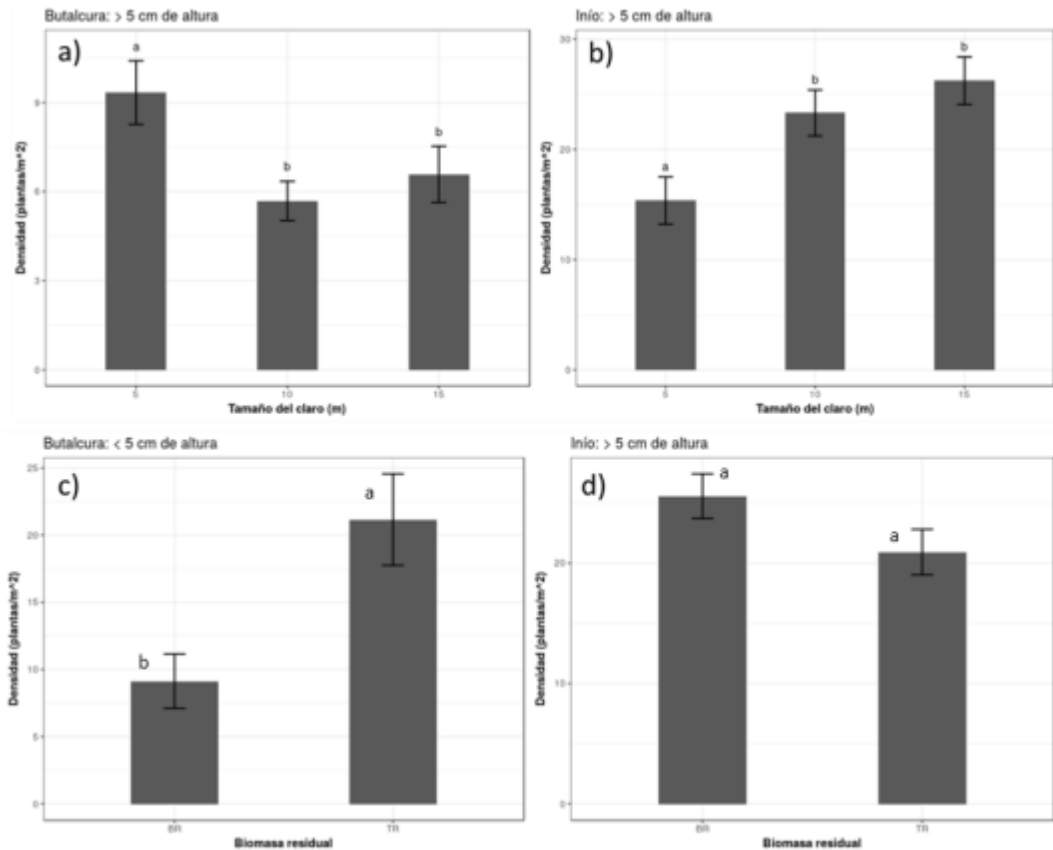


Figura 6.8 Factores que influyen significativamente en la regeneración >5 cm de altura en Butalcura (a) e Inío (b,d) y < 5cm de altura en Butalcura (c). TR: claro a tala rasa; BR: con biomasa residual; líneas verticales: desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativa ($p < 0,05$) entre las medias.

A nivel de especie, en Butalcura, el factor biomasa residual afecto significativamente ($p < 0,05$) la densidad media de la regeneración de altura < 5 cm de canelo, coigue de Chiloé, tineo, y de altura > 5cm de las especies canelo, coigue de Chiloé, meli, pitra, tepú, tiaca y tineo. En el mismo sector, el tamaño del claro afecto significativamente la regeneración de altura < 5 cm de las especies canelo, tepú y tiaca, y de altura > 5cm de las especies canelo, luma, meli y tiaca. En Inío el factor biomasa residual afecto significativamente ($p < 0,05$) la densidad media de la regeneración de altura < 5 cm de las especies coigue de Chiloé, meli, tepú y tiaca y de altura > 5cm de las especies luma, meli y tineo. En el mismo sector, el tamaño del claro afecto significativamente la regeneración de altura < 5 cm de las especies canelo, tepú, tineo y de altura > 5cm de las especies arrayán, canelo, coigue de Chiloé, tepú, tiaca y tineo (Tabla 6.5). En la figura 6.9 se puede observar el efecto de ambos factores en tepú para cada clase de altura y total.

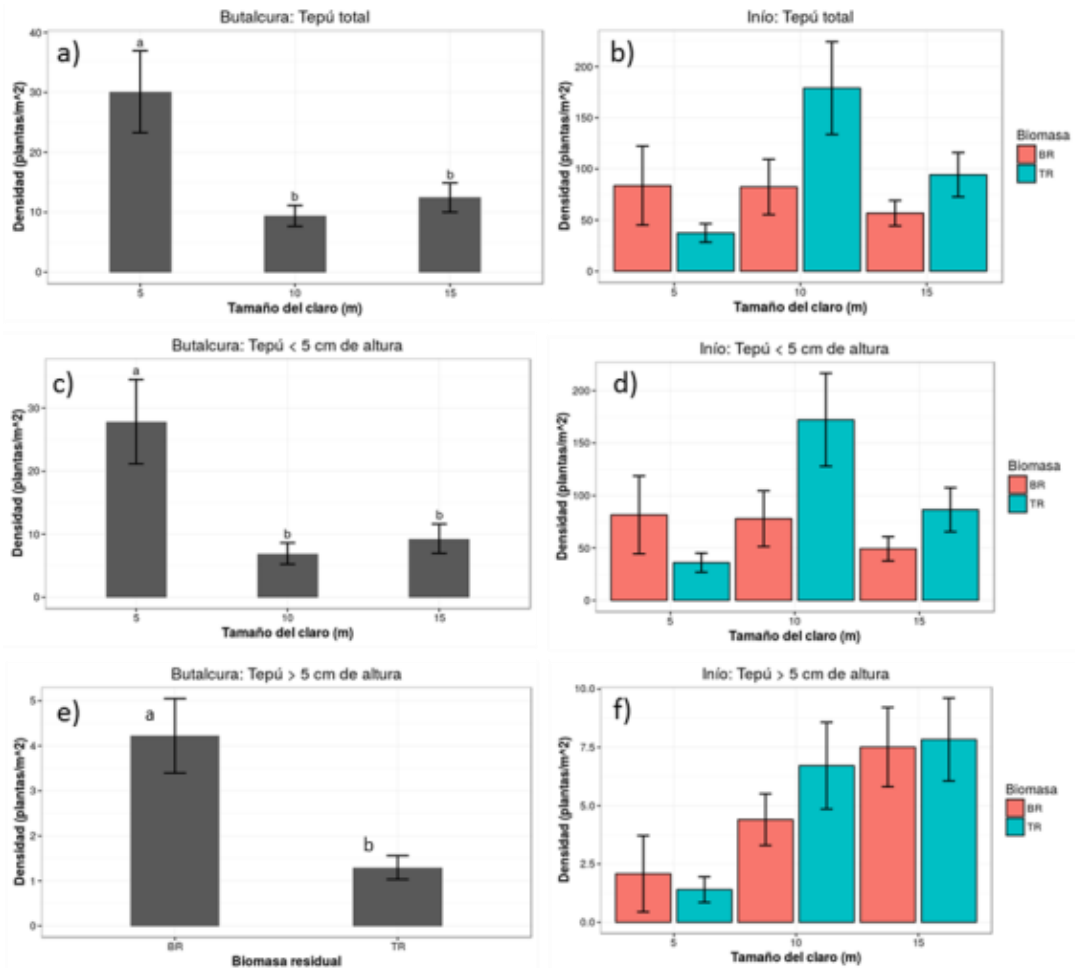


Figura 6.9 Regeneración de tepú establecida en Butalcura (a, c, e) e Iníó (b, d, f) para cada tamaño del claro o/y biomasa residual. TR: sin biomasa residual; BR: con biomasa residual; líneas verticales: desviación estándar. En Butalcura (a, c, e), letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de cada factor con efecto significativo. En Iníó (b, d, f) existe efecto significativo ($p < 0,05$) del tamaño de claro, biomasa residual y también la interacción de estos factores, lo que queda graficado en la figura.

6.2.2 Origen de la regeneración

El origen de la regeneración natural presentó diferentes tendencias dependiendo del sector, el tamaño del claro, la presencia de biomasa residual, el rango de altura de las plantas y la especie. Canelo y coigue de Chiloé tendieron a regenerar mayormente por semilla, independiente del sector, tamaño del claro o la presencia de biomasa residual. La misma tendencia mostraron tepú y tino en Iníó pero en Butalcura tendieron a regenerar mayormente por semilla solo las plantas de altura ≤ 5 cm. Mayormente por semilla tendieron a regenerar también las plantas de altura ≤ 5 cm de las especies luma, meli, tepe y tiaca, a excepción de tiaca en Butalcura para los claros más grandes y sin biomasa residual (Figura 6.10 y 6.11).

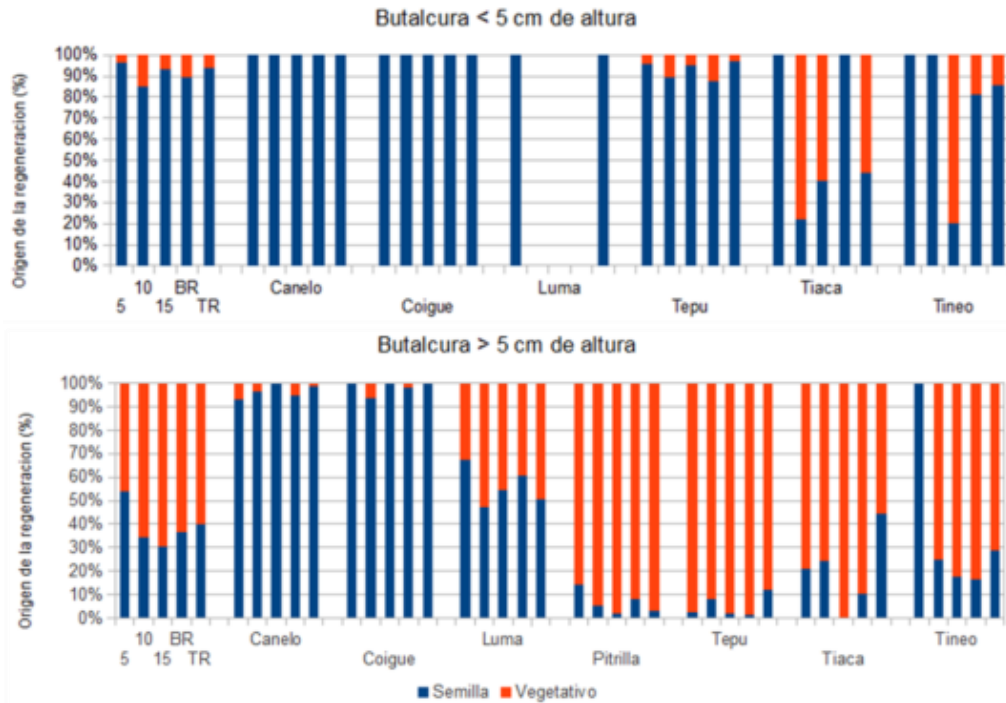


Figura 6.10 Distribución de la regeneración (%) para los factores tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y Biomasa residual (BR = con biomasa residual y TR = sin biomasa residual) en Butalcura, según el rango de altura de las plantas y su origen vegetativo (rojo) y por semilla (azul).

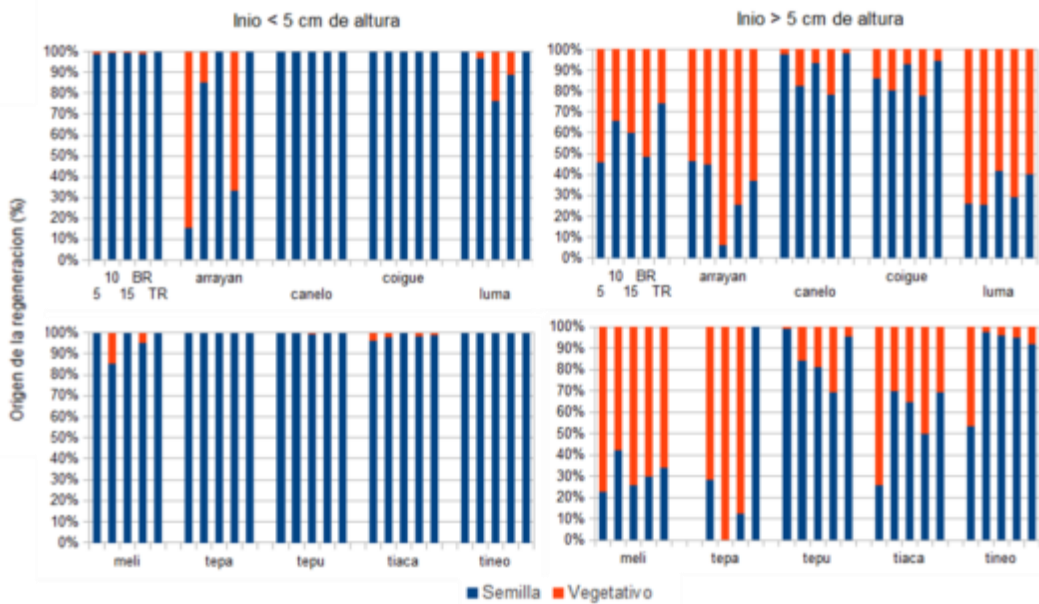


Figura 6.11 Distribución de la regeneración (%) para los factores tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y Biomasa residual (BR = con biomasa residual y TR = sin biomasa residual) en Inío, según el rango de altura de las plantas y su origen vegetativo (rojo) y por semilla (azul).

6.2.3 Efecto del tipo de sustrato en la regeneración

En Butalcura, las plantas de canelo, coigue de Chiloé, luma, tepú y tiaca de altura < 5 cm se establecieron mayoritariamente en suelo cubierto con musgos, con la excepción de los claros con tamaño 10 m para canelo y 15 m para tiaca y la presencia de biomasa residual para tepú. La misma tendencia presentó canelo y luma de altura > 5 cm, independiente del tamaño del claro o la presencia de biomasa residual. Al contrario, coigue de Chiloé, pitra, tepú, tiaca y tinea se establecieron mayormente sobre troncos. En Iníó para la mayoría de las especies no hubo ninguna tendencia marcada con respecto al tamaño del claro. Para arrayán y tepú con altura < 5 cm la preferencia de establecerse en troncos disminuyó con el aumento del tamaño del claro. Para arrayán y coigue de Chiloé con altura > 5 cm la preferencia de establecerse en el suelo disminuyó con el aumento del tamaño del claro. Con respecto a la presencia de biomasa residual, la preferencia de establecerse en el suelo con musgos disminuyó cuando existió biomasa residual, tendencia que mostraron todas las especies independientemente de su rango de altura con la excepción de canelo (< 5 cm), luma (> 5 cm), tepe (> 5 cm) y tinea (> 5 cm). En los dos sectores de estudio hubo muy poca regeneración sobre suelo mineral (Figuras 6.12 y 6.13).

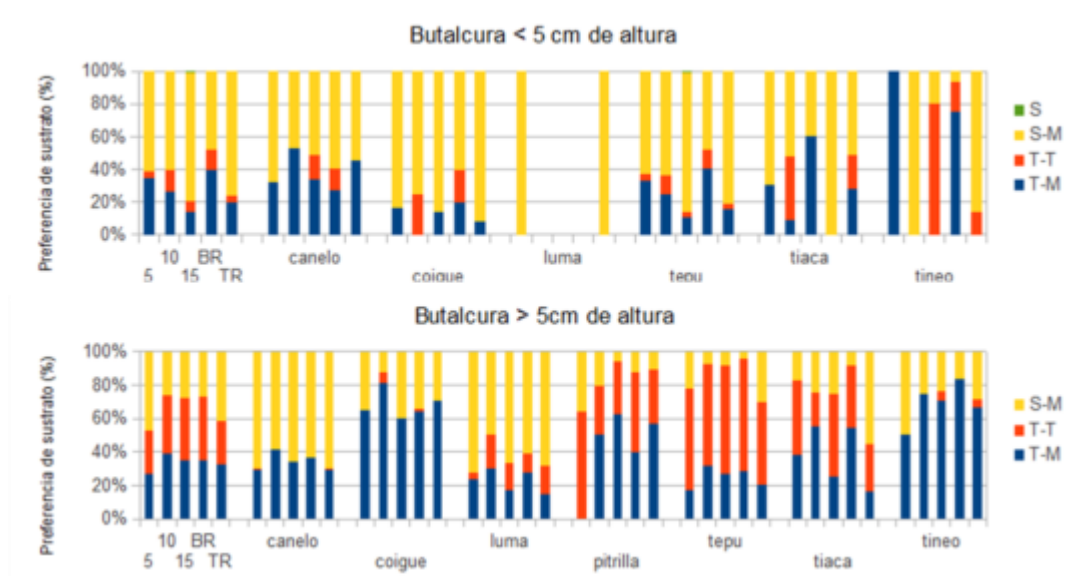


Figura 6.12 Distribución de la regeneración (%) en Butalcura para los factores tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y biomasa residual (BR = con biomasa residual y TR = sin biomasa residual), según el rango de altura de las plantas y tipo de sustrato: S = suelo mineral (verde), S-M = suelo con musgo (amarillo), T-T = tronco (rojo) y T-M = Tronco con musgo (azul).

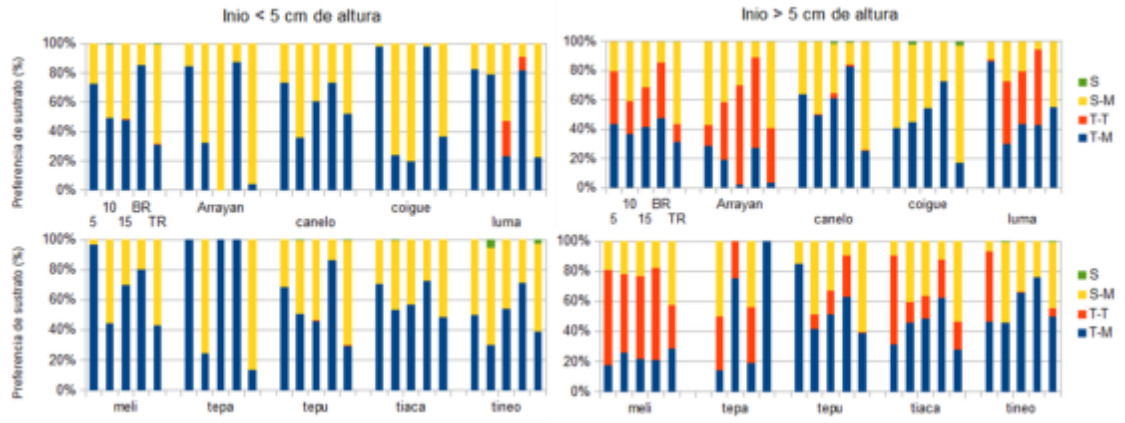


Figura 6.13. Distribución de la regeneración (%) en Inio para los factores tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y biomasa residual (BR = con biomasa residual y TR = sin biomasa residual), según el rango de altura de las plantas y tipo de sustrato: S = suelo mineral (verde), S-M = suelo con musgo (amarillo), T-T = tronco (rojo) y T-M = Tronco con musgo (azul).

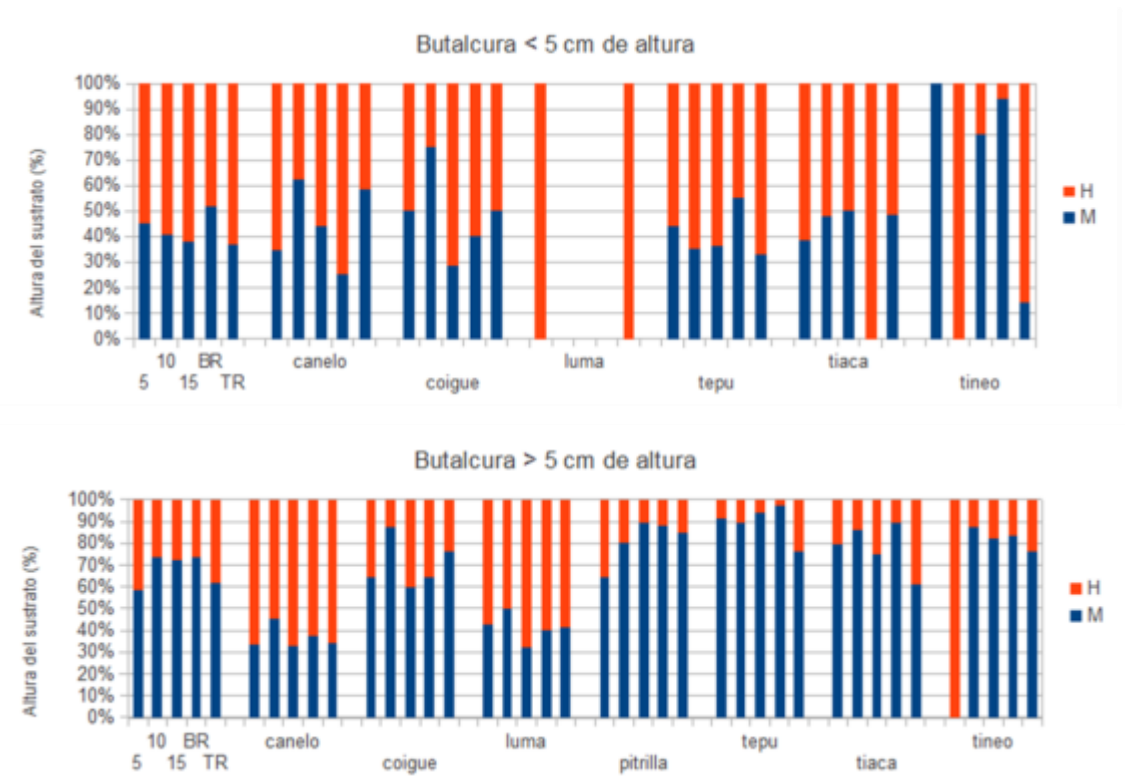


Figura 6.14 Distribución de la regeneración (%) en Butalcura para cada factor y por especie, según la altura de las plantas y altura del sustrato: H = Hendidura (rojo), M = Montículo (azul).

6.2.4 Efecto de la altura del sustrato en la regeneración

En Butalcura la regeneración total fue preferentemente establecida en hondonadas para las plantas con altura < 5 cm y sobre montículo para las plantas con altura > 5 cm. Esta tendencia no la siguió canelo y luma de altura > 5 cm y tineo de altura < 5 cm. En Inío la regeneración total fue preferentemente establecida sobre montículos cuando existió biomasa residual y en hondonadas cuando no existió biomasa residual. Con respecto al tamaño del claro, en los claros de 5 m de diámetro la regeneración total establecida en hondonadas fue mayor que en los claros más grande (Figura 6.14 y 6.15).

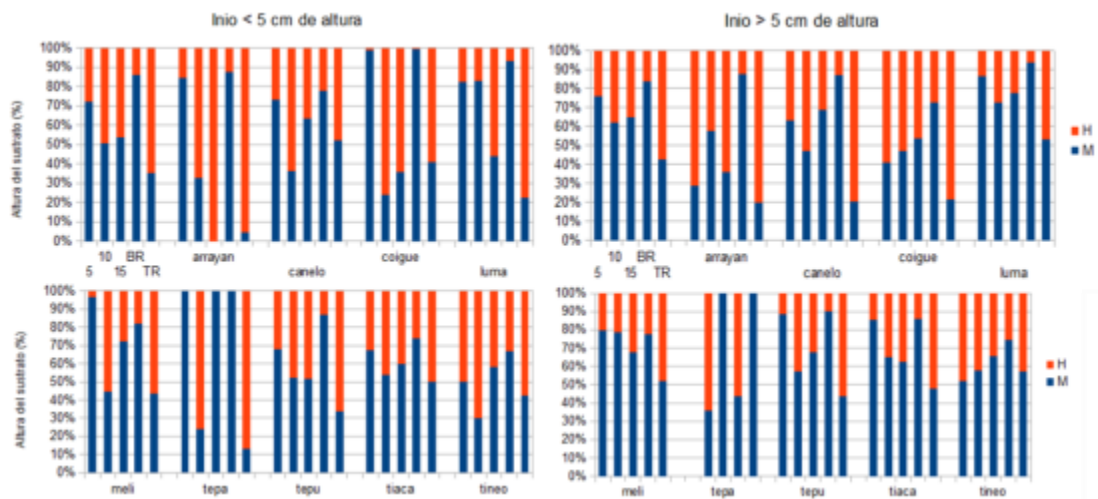


Figura 6.15 Distribución de la regeneración (%) en Inío para cada factor y por especie, según la altura de las plantas y altura del sustrato: H = Hendidura (rojo), M = Montículo (azul).

6.2.5 Efecto de otros parámetros ambientales en la regeneración

El análisis de correspondencias canónico (ACC) indicó que los parámetros ambientales más importantes para la regeneración natural de los principales especies arbóreas en Butalcura fueron: la distancia a los límites del claro (Distancia), la relación entre carbono y nitrógeno en el suelo (C/N), la luz a 1,3 m de altura desde el suelo (Luz_1,3), la cobertura del suelo por troncos (T) y el calcio (Ca) (Figura 6.16). En Inío los parámetros ambientales más importantes fueron: la relación entre carbono y nitrógeno en el suelo (C/N), el pH del suelo (pH), la luz en la superficie del sustrato (Luz_sustrato), los elementos nutritivos boro (B), sodio (Na), magnesio (Mg), fósforo (P) y nitrógeno (Nt) y la materia orgánica en el suelo (H.org) (Figura 6.16).

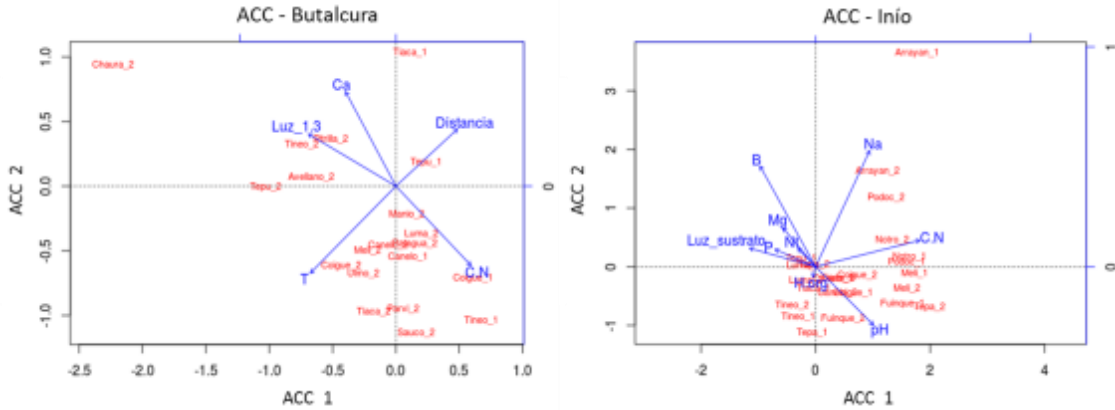


Figura 6.16 Biplot de ACC para el sector de Butalcura e Inío en el que se representan las especies y las variables ambientales según los valores de sus coeficientes en las relaciones lineales con los dos ejes.

6.2.6 Efecto de los tratamientos sobre las condiciones nutritivas del suelo

En general no existió un efecto de los tratamientos, tamaño de claro (5, 10 y 15 m de diámetro) y biomasa residual (con y sin biomasa) sobre las condiciones nutritivas del suelo. Esto es válido tanto para el sector de Butalcura como Inío (Tabla 6.6 y 6.7). Lo que si existió fue un cambio en las condiciones nutritivas del suelo entre la condición pre-intervención (año 2014) y la condición post-intervención (año 2016) que no fue debido a los tratamientos aplicados. En ambos sectores se pudieron observar las mismas tendencias, es decir, una baja significativa del pH y un aumento significativo del fósforo (mg/Kg), potasio (mg/kg y cmol/kg) y nitrógeno total (%) luego de las intervenciones realizadas. Sin embargo las diferencias fueron más altas en Butalcura. Además en el caso de Butalcura, donde se midieron elementos extras (las muestras de suelo no presentaron problemas durante los dos años de medición) hubo un aumento significativo del carbono total (%), materia orgánica (%) y una baja significativa de la relación carbono nitrógeno (Figura 6.17 y 6.18).

Tabla 6.6 Comparación entre los niveles de pH y nutrientes del suelo según el tratamiento aplicado de tala raza (TR) y bosque residual (BR) en los años 2014 y 2016 en sector de Butalcura.

Periodo	2014			2016		
	Prueba	Estadístico	Valor p	Prueba	Estadístico	Valor p
pH (Agua)	Wilcoxon rank sum test	W = 132.5	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = -1.4428 df = 27.534	>0.05
P (mg/kg)	Wilcoxon rank sum test	W = 89.0	>0.05	Wilcoxon rank sum test	W = 89.0	>0.05
K (mg/kg)	Welch Two Sample t-test	t = -0.32733 df = 26.913	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = 0.32055 df = 25.844	>0.05
K (cmol+kg)	Welch Two Sample t-test	t = -0.34762 df = 26.877	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = 0.29249 df = 25.709	>0.05
Ct (%)	Welch Two Sample t-test	t = -0.98462 df = 27.982	>0.05	Wilcoxon rank sum test	W = 130	>0.05
Nt (%)	Welch Two Sample t-test	t = -0.97606 df = 27.011	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = 0.59729 df = 27.993	>0.05
MO (%)	Welch Two Sample t-test	t = -0.9981 df = 27.989	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = 0.80505 df = 24.568	>0.05
C/N (%)	Welch Two Sample t-test	t = 0.23725 df = 27.979	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = -0.044934 df = 24.156	>0.05

Tabla 6.7 Comparación entre los niveles de pH y nutrientes del suelo según el tratamiento aplicado de tala raza (TR) y bosque residual (BR) en los años 2014 y 2016 en sector de Inío.

Periodo	2014			2016		
	Prueba	Estadístico	Valor p	Prueba	Estadístico	Valor p
pH (Agua)	Wilcoxon rank sum test	W = 101.0	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = 0.95759 df = 23.821	>0.05
P (mg/kg)	Wilcoxon rank sum test	W = 125.0	>0.05	Wilcoxon rank sum test	W = 94.0	>0.05
K (mg/kg)	Wilcoxon rank sum test	W = 136.0	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = 1.0186 df = 23.438	>0.05
K (cmol+kg)	Wilcoxon rank sum test	W = 136.0	>0.05	Welch Two Sample t-test	t = 0.93819 df = 23.294	>0.05
Nt (%)	Wilcoxon rank sum test	W = 119.0	>0.05	Wilcoxon rank sum test	W = 88.5	>0.05

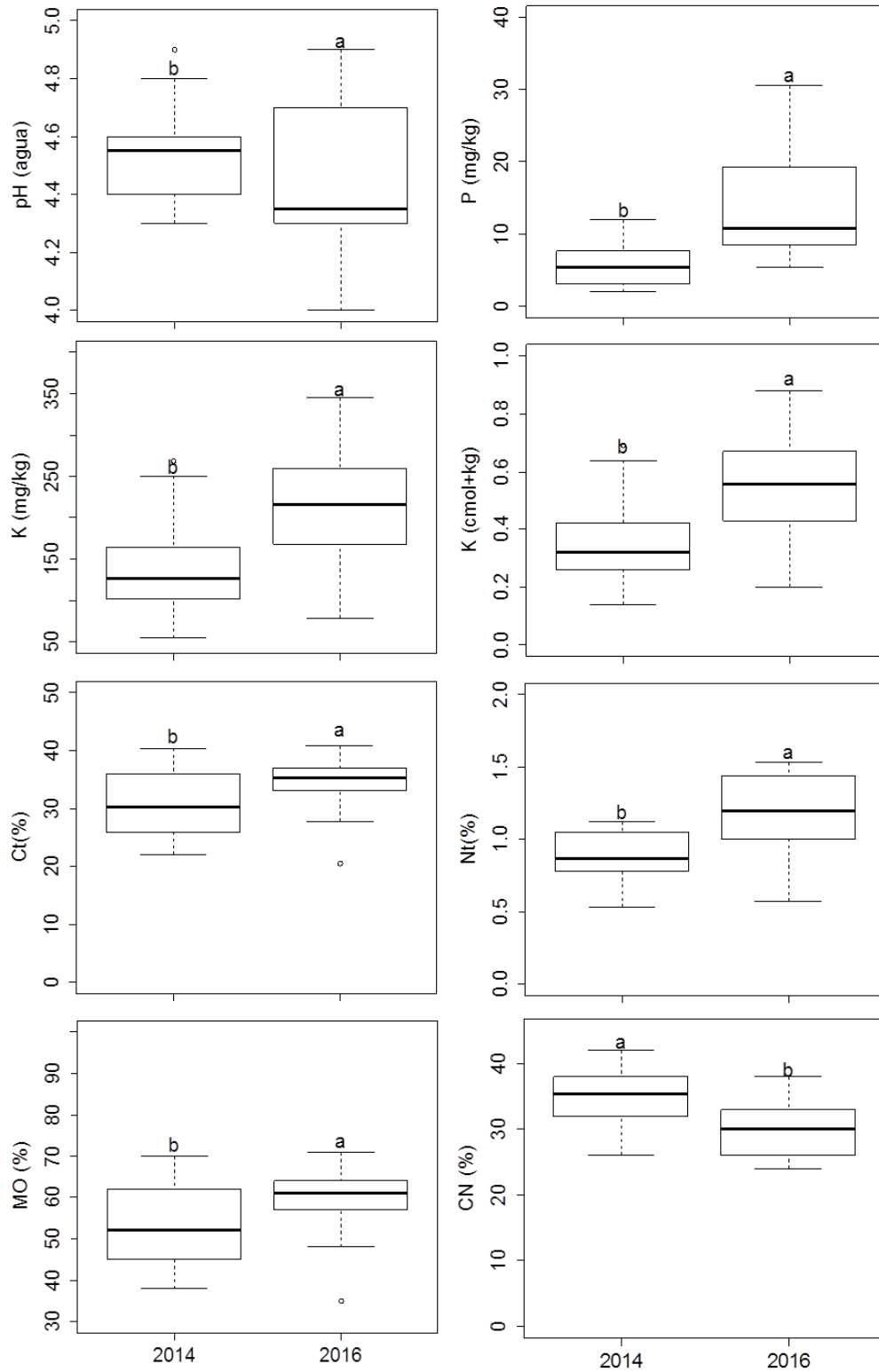


Figura 6.17 Comparación del pH y nutrientes del suelo entre el periodo 2014 y 2016 para el sector de Butalcura.

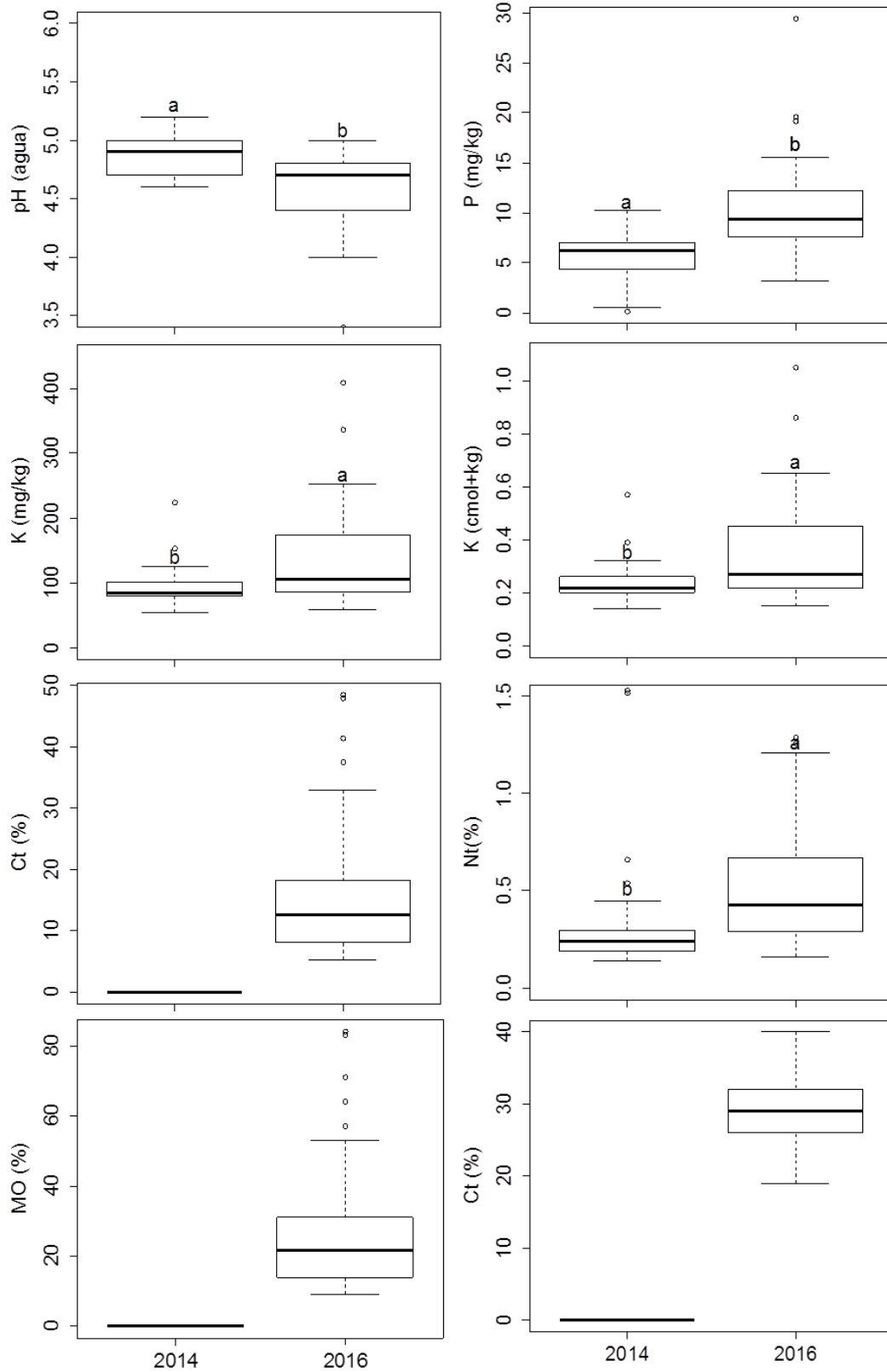


Figura 6.18 Comparación del pH y nutrientes del suelo entre el periodo 2014 y 2016 para el sector de Iníó.

6.3 Comparación de la respuesta de la regeneración natural entre claros y cortas de tala rasa en fajas alternas

6.3.1 Caracterización de las fajas estudiadas

Todas las fajas estudiadas presentaron similares características abióticas (Tabla 6.8). Sólo PRIC presentó diferencias significativas, aunque con valor p muy cercano a 0,05 ($P = 0,495$), y desestimadas por la prueba post hoc ($P > 0,05$; método Bonferroni).

Tabla 6.8 Resumen de estadísticos descriptivos para variables abióticas de las fajas. No existieron diferencias significativas ($P > 0,05$).

	Faja	Media	Desv. típica	Mínimo	Máximo
PRIC (%)	1	75,45	9,08	54,50	84,30
	2	78,93	12,59	58,60	103,50
	3	66,39	11,54	55,10	91,30
PRIM (%)	1	67,37	12,20	47,30	81,60
	2	73,97	10,19	56,10	89,20
	3	60,43	15,05	45,00	91,90
AF (m)	1	9,00	1,56	6,00	12,00
	2	8,30	2,21	5,00	12,00
	3	8,10	2,02	5,00	11,00
ABB (m)	1	8,60	1,26	7,00	10,00
	2	8,30	0,67	7,00	9,00
	3	7,40	1,43	6,00	10,00

En cuanto a los atributos de la regeneración, el 47,5 % del total de parcelas no presentó plántulas, explicando, que las medias de riqueza total y otros valores, estén debajo de 1 (Tabla 6.9). La media máxima de riqueza (0,9 especies/m²) corresponde a la faja 1, y el máximo observado fue 4, en la faja 1 y 3. La media de densidad total varió entre 22,2 (F2) y 25,6 (F1) plantas/m². La máxima de densidad estuvo en F3 con 564 plantas/m².

Tabla 6.9. Riqueza y densidad total de plantas. No existieron diferencias entre fajas ($P > 0,05$).

Variable	Faja	Media	Desv. típica	Mínimo	Máximo
Riqueza (sp/m ²)	1	0,90	1,15	0,00	4,00
	2	0,80	0,76	0,00	3,00
	3	0,73	0,99	0,00	4,00
Densidad (plantas/m ²)	1	25,58	58,68	0,00	264,00
	2	22,18	40,22	0,00	179,00
	3	24,53	90,16	0,00	564,00

La densidad de regeneración no presentó diferencias significativas entre fajas (Tabla 6.10). La media del rango < 5 cm varió entre 21,7 y 24,3 plantas/m², similar a lo observado en medias de densidad total, ya que esta clase posee el 96,61 % del total de plantas. El rango de 5 a 50 cm presentó la media máxima en la faja 1 con 1,23 plantas/m². La clase de 50 a 100 cm presentó media máxima en la faja 3, de 0,08 plantas/m².

Tabla 6.10 Densidad de plantas por clases de altura. No existieron diferencias entre fajas ($p > 0,05$).

Rango	Faja	Media	Desv. típica	Máximo
< 5 cm de altura	1	24,30	57,90	264,00
	2	21,70	39,96	176,00
	3	23,80	90,23	564,00
5 - 50 cm de altura	1	1,23	3,03	18,00
	2	0,45	0,93	4,00
	3	0,65	1,53	6,00
50 - 100 cm de altura	1	0,03	0,16	1,00
	2	0,03	0,16	1,00
	3	0,08	0,35	2,00

En cuanto al sustrato de la regeneración, el 74,4 % del total de plantas regeneró en hondonadas, y el 26,5 % sobre troncos. Entre fajas hubo diferencias que no fueron significativas ($p > 0,05$). Se ignoraron datos de sustrato indeterminado para el cálculo de diferencias. En cuanto a la altura de sustrato, gran parte de la regeneración se encontró en sustratos entre 0 a 50 cm de altura. Esta variable no presentó diferencias significativas entre fajas ($p > 0,05$). El origen de la regeneración fue mayoritariamente de semilla (Tabla 6.11). El origen vegetativo fue mínimo en todas las fajas y no hubo diferencias significativas entre ellas ($p > 0,05$)

Tabla 6.11 Densidad de regeneración según sustrato, altura de sustrato y origen. Sólo se encontraron diferencias en la categoría sustrato ($p < 0,05$).

Variable	Faja	Media	Desv. típica	Máximo	Dunn test		
Sustrato	Hondonada	1	21,10	56,12	264,00	ab	
		2	19,23	38,90	179,00	a	
		3	6,28	18,88	78,00	b	
	Tronco	1	4,45	19,44	92,00	b	
		2	2,95	14,31	88,00	ab	
		3	18,25	89,03	564,00	a	
Indet.	1	0,03	0,16	1,00			
Altura sustrato	0-50	1	20,85	20,75	264,00	-	
		2	18,45	14,31	179,00	-	
		3	21,10	5,64	564,00	-	
	50-100	1	4,73	20,75	96,00	-	
		2	3,03	14,31	88,00	-	
		3	2,15	5,64	24,00	-	
	100-150	3	1,28	7,59	48,00	-	
	Origen	Semilla	1	22,65	57,47	264,00	-
			2	21,20	40,00	176,00	-
3			24,35	90,18	564,00	-	
Vegetativo		1	2,93	14,98	95,00	-	
		2	0,98	4,14	24,00	-	
		3	0,18	0,59	3,00	-	

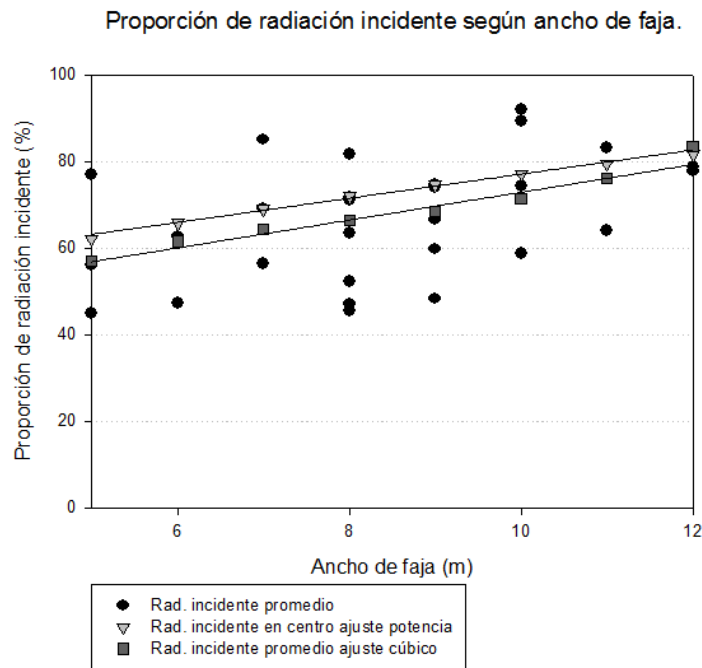


Figura 6.19 Relación entre proporción de radiación incidente promedio y en el centro y el ancho de faja ($r: 0,44$; $p < 0,05$).

6.3.2 Relación entre variables abióticas

Se encontró correlación positiva significativa entre PRIM y AF y entre PRIC y AF ($p < 0,01$). No existió correlación significativa entre AAB con PRIM ni PRIC ($p > 0,05$) (Figura 6.19).

6.3.3 Respuesta de la regeneración según variables abióticas

La densidad total de regeneración natural no presentó correlación significativa con AF ni con PRIM ($p > 0,05$) (Figura 6.20).

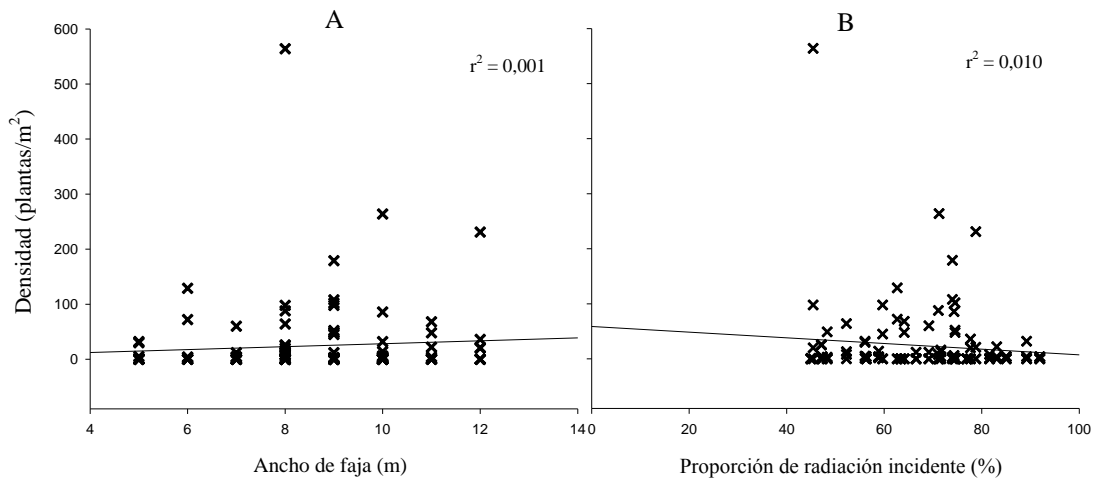


Figura 6.20 Dispersión de valores de densidad total de regeneración según AF (A) y PRIM (B).

En cuanto a las relaciones entre los atributos de la regeneración y AF y PRIM, sólo existió correlación significativa entre sustrato tronco y PRIM ($p < 0,05$) con $\rho = -0,2$, lo que se interpretó como una correlación negativa nula o débil.

6.3.4 Sustratos y composición de especies

Los sustratos con mayor regeneración total fueron, en primer lugar, sustratos de borde (B), seguido de los montículos sin ramas (MSR). Se presentaron diferencias significativas, no entre aquellos mencionados, pero sí entre éstos con centro (C) y montículo con ramas (MCR), que también se agruparon entre sí (Figura 6.21). La especie más frecuente en las mediciones fue tepú con una frecuencia relativa de 96,1 % con respecto al total de regeneración medida. Aquella especie tuvo media máxima de 56,8 plantas/m² en B y media mínima en MCR con 6,9 plantas/m². Presentó diferencias significativas, siendo su mejor desempeño en B, y peor en C y MCR ($p < 0,05$). La segunda especie más frecuente fue canelo con frecuencia relativa de 1,8 %. Presentó diferencias significativas, con preferencia al sustrato MSR donde tuvo una media de 1,1 plantas/m², y al

igual que tepú, fue menos frecuente en sustratos C y MCR ($p < 0,05$). Coigue de Chiloé, mañío de hoja corta y *Amomyrtus sp.* fueron las especies menos frecuentes, con una frecuencia relativa de 0,23 %, 0,15 % y 0,13 %, respectivamente (Figura 6.22). Coigue de Chiloé y *Amomyrtus sp.* no tuvieron diferencias entre sustratos ($p > 0,05$). Por su parte mañío de hoja corta también presentó diferencias significativas, que se encontraron entre los sustratos donde tuvo mayor y menor frecuencia, los cuales son MSR (media de 0,3 plantas/m²) y C (sin plántulas) respectivamente ($p < 0,5$).

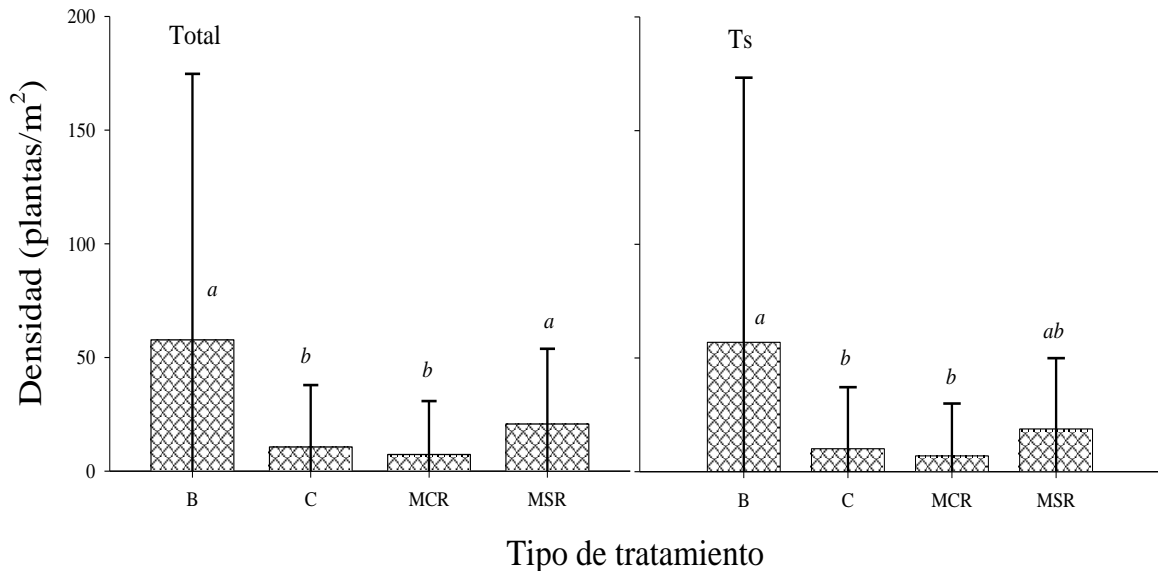


Figura 6.21 Regeneración total (izquierda) y de tepú (derecha) en respuesta a los diferentes sustratos estudiados. Ambos casos presentaron diferencias significativas al nivel $p < 0,001$.

La regeneración > 5 cm (Figura 6.23 I-b) se presentó en mayor cantidad en los sustratos MSR y B con diferencias significativas ($p < 0,001$). El origen semilla (Figura 6.23 II-a) fue en mayor cantidad en el tratamiento B y MSR, con diferencias entre sustratos ($P < 0,001$). El origen vegetativo (Figura 30 II-b) cambió entre sustratos ($p > 0,05$), aunque el promedio mínimo es en B (0,56 plantas/m²) y el máximo es MCR (3,33 plantas/m²). En cuanto a la posición del sustrato (hondonada-montículo), en ambas situaciones se obtuvieron diferencias significativas, hondonada (Figura 6.23 III-a) con $p < 0,001$ y tronco (Figura 6.23 III-b) con $p < 0,01$. Para altura del sustrato (Figura 6.23 IV) hubo diferencias significativas ($p < 0,001$) en ambos casos; donde B es mayor y distinto al resto. No se registró regeneración a alturas > 50 cm en B ni en C, dado que no se presentaron sustratos a esa altura, en diferencia a los montículos, la mayor regeneración a esta altura fue en MSR, difiriendo de los ya nombrados (Figura 6.23).

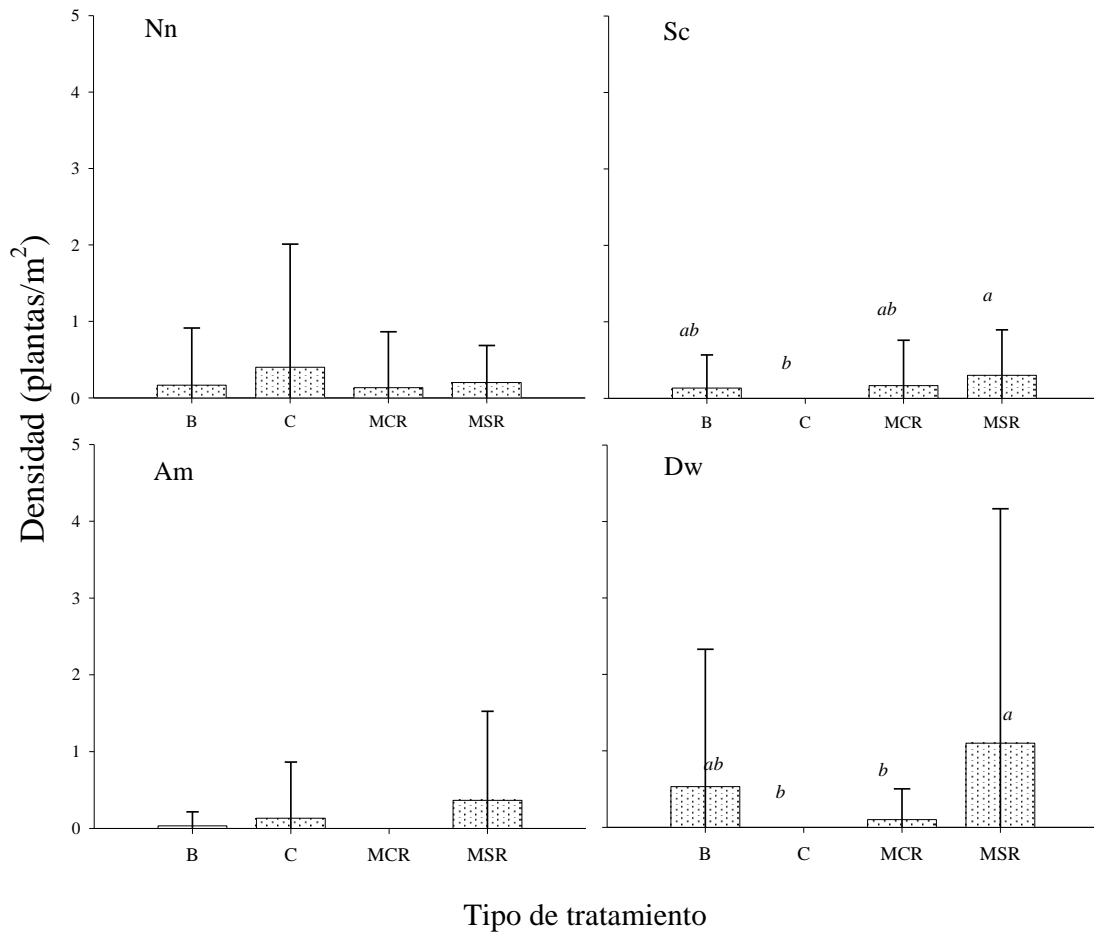


Figura 6.22 Regeneración por especie en respuesta a los sustratos (Nn = coigue de Chiloé, Sc = mañío de hoja corta, Am = Amomyrtus sp. y Dw = canelo). Sólo Dw y Sc presentaron diferencias significativas, $p < 0,01$ y $p > 0,05$, respectivamente.

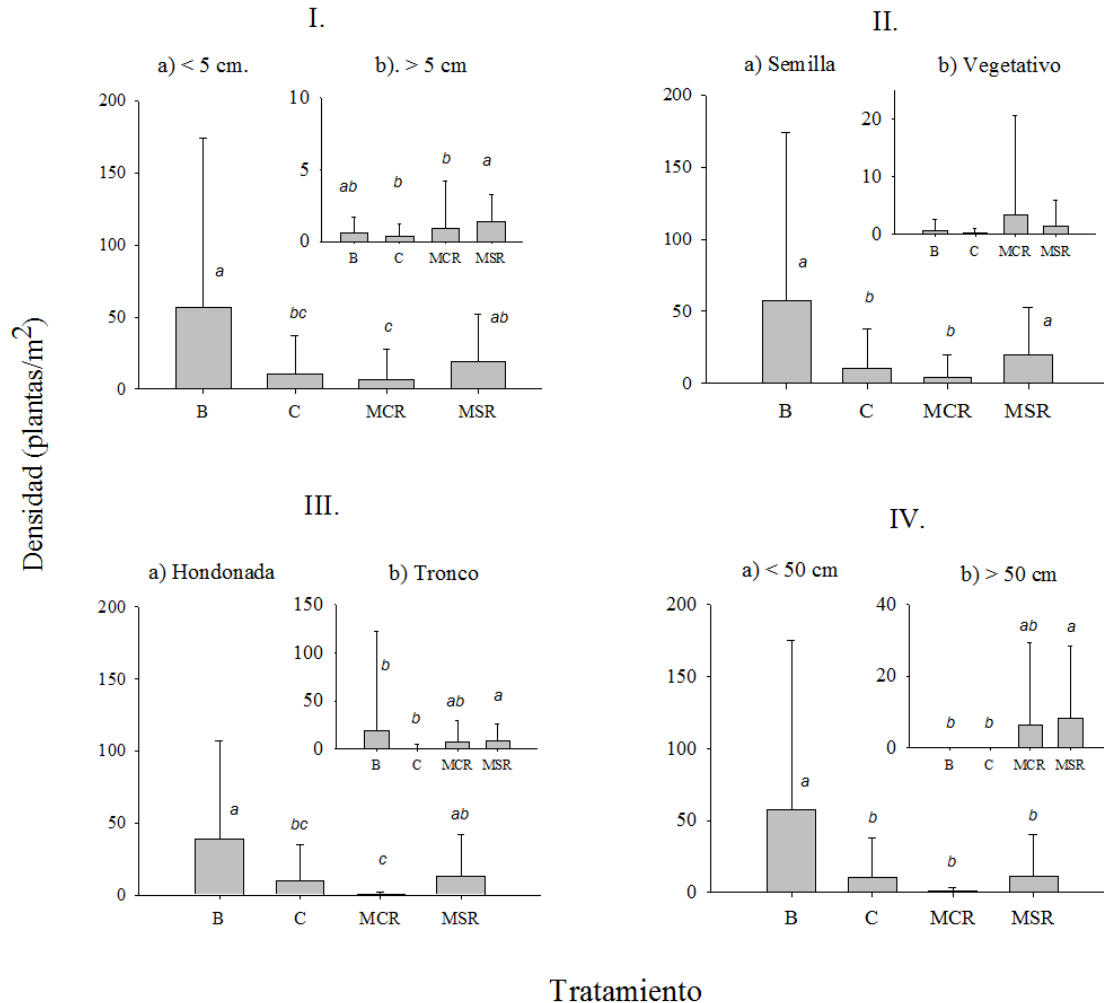


Figura 6.23 Atributos de la regeneración total ante los tratamientos: I) altura de planta, II) origen, III) posición del sustrato, y IV) altura del sustrato. Todos los casos presentaron diferencias significativas, excepto II-b: origen vegetativo ($p > 0,05$).

6.3.5 Comparación entre métodos de cosecha

En los sectores de Butalcura, Inío y Leuquetro, se realizaron distintos métodos silviculturales. Inío resultó como el sector con mayor regeneración total, y para los dos rangos de altura analizados (Figuras 6.24 a 6.26). Inío presentó el máximo de regeneración total en el ensayo sin biomasa residual con 2.254.000 plantas/ha (figura 6.24). Por su parte Leuquetro con 240.000 plantas/ha presentó mayor regeneración total que Butalcura, que tuvo entre 60.000 y 86.000 plantas/ha, siendo esta diferencia aún mayor al momento de analizar la regeneración de tamaños menores a 5 cm de altura. Sin embargo, Butalcura en promedio con 47.000 plantas/ha posee más regeneración mayor a 5 cm.

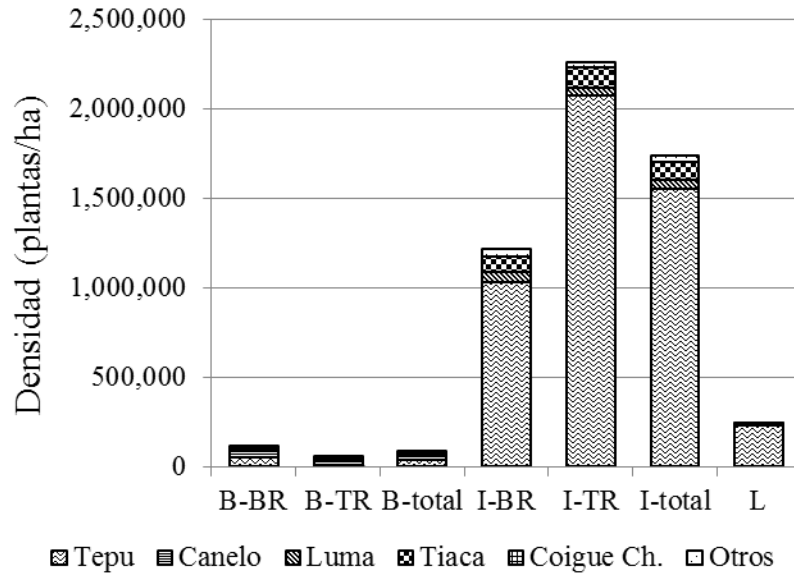


Figura 6.24 Regeneración total por especie de los métodos silviculturales de cosecha en Butalcura, Inío y Leuquetro. Tratamientos: B-BR: Butalcura con biomasa residual, B-TR: Butalcura sin biomasa residual, B-total: promedio de ambos tratamientos en Butalcura, I-BR: Inío con biomasa residual, I-TR: Inío sin biomasa residual, Inío-total: promedio de ambos tratamientos en Inío, y finalmente, L: tala rasa en fajas en Leuquetro.

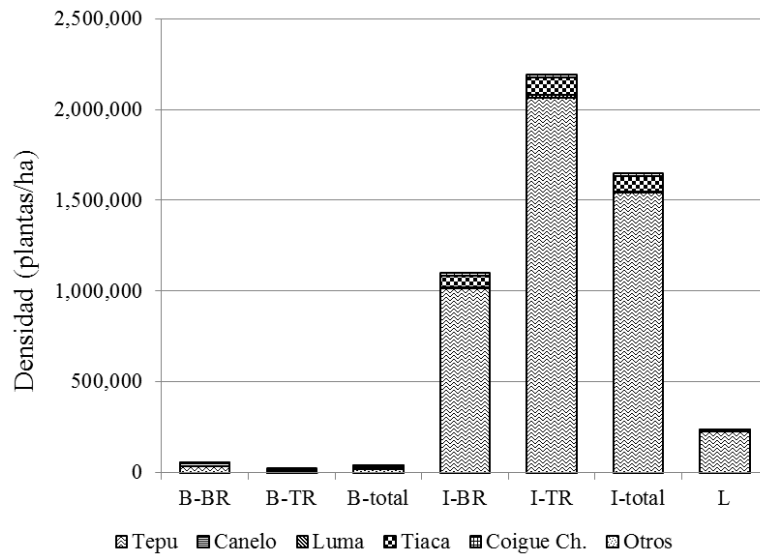


Figura 6.25 Regeneración de altura < 5 cm por especie de los métodos silviculturales de cosecha en Butalcura, Inío y Leuquetro. Tratamientos: B-BR: Butalcura con biomasa residual, B-TR: Butalcura sin biomasa residual, B-total: promedio de ambos tratamientos en Butalcura, I-BR: Inío con biomasa residual, I-TR: Inío sin biomasa residual, Inío-total: promedio de ambos tratamientos en Inío, y finalmente, L: tala rasa en fajas en Leuquetro.

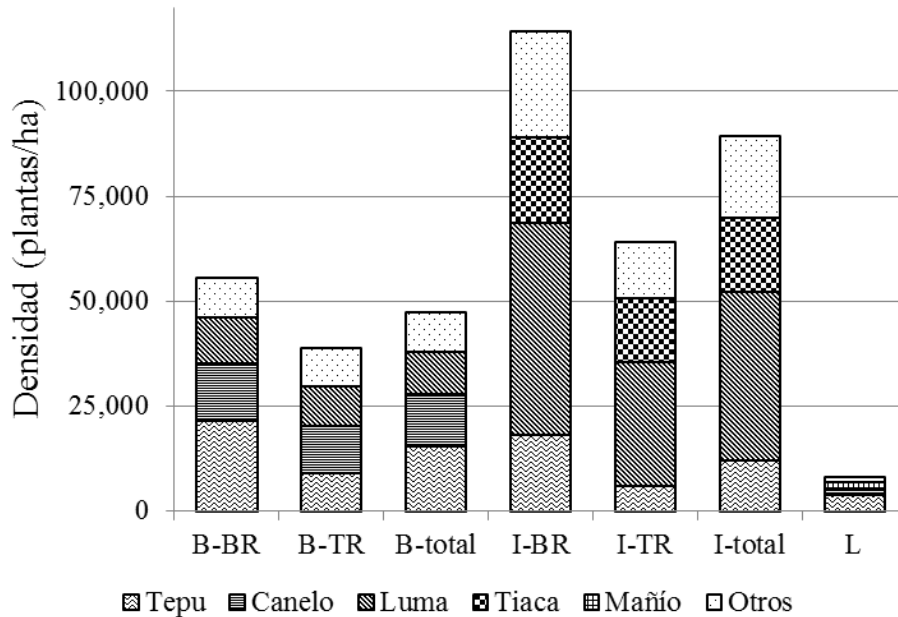


Figura 6.26 Regeneración de altura > 5 cm por especie de los métodos silviculturales de cosecha en Butalcura, Inío y Leuquetro. Tratamientos: B-BR: Butalcura con biomasa residual, B-TR: Butalcura sin biomasa residual, B-total: promedio de ambos tratamientos en Butalcura, I-BR: Inío con biomasa residual, I-TR: Inío sin biomasa residual, Inío-total: promedio de ambos tratamientos en Inío, y finalmente, L: tala rasa en fajas en Leuquetro.

6.4 Evaluación económica de los costos de las actividades silvícolas aplicadas

Del experimento de Inío se extrajeron un total de 143 mst de leña (Tabla 6.12). Al dividir los claros intervenidos entre aquellos con y sin biomasa residual se obtuvo 50,75 mst y 92,25 mst respectivamente. Esto es equivalente a una extracción de 407,9 mst y 656,0 mst por hectárea, respectivamente. A esto hay que sumar 7 mst provenientes de las fajas entre claros (total 150 mst). La leña proveniente de la vía de seca central no fue contabilizada ya que esta existía desde antes del establecimiento del ensayo. El costo total de la faena fue de \$3.750.000 pesos. Este valor incluye el trabajo de tres personas, todos los costos de operación necesarios de la intervención (motosierras, bencina, cadenas, materiales para operación, alimentación, etc) y la leña era apilada de forma ordenada en la vía de saca central. Este costo no incluye implementos de seguridad ya que estos eran proporcionados por el contratista. Todo el maderero fue con carretilla sobre tabloncitos de pino impregnado. De esta forma el costo total por metro estéreo fue de \$25.000 pesos/mst. El precio final de la leña en el pueblo de Inío fue de aproximadamente 40.000 pesos por mst y toda la producción fue vendida a los lancheros del sector.

Tabla 6.12 Volumen de leña extraído por claro en el sector de Inío. Nota: Se extrajeron 7 mst de fajas realizadas entre claros. No incluye volumen extraído de vía de saca.

Nº Claro	Tipo	Diámetro (m)	Volumen Leña Claro (m st)
C1	Tala Rasa	15	16
C2	Tala Rasa	10	6
C3	Tala Rasa	5	1,5
C4	B. Residual	5	1,5
C5	B. Residual	10	4
C6	B. Residual	15	13
C7	Tala Rasa	15	10
C8	Tala Rasa	10	4,5
C9	Tala Rasa	5	1,5
C10	B. Residual	5	1
C11	B. Residual	10	4
C12	B. Residual	15	3
C13	Tala Rasa	15	8
C14	Tala Rasa	10	2
C15	Tala Rasa	5	0,33
C16	B. Residual	5	0,33
C17	B. Residual	10	1,5
C18	B. Residual	15	4,5
C19	Tala Rasa	15	12
C20	Tala Rasa	10	9
C21	Tala Rasa	5	1
C22	B. Residual	5	1
C23	B. Residual	10	3
C24	B. Residual	15	4
C25	Tala Rasa	15	12
C26	Tala Rasa	10	7
C27	Tala Rasa	5	1,5
C28	B. Residual	5	1
C29	B. Residual	10	3
C30	B. Residual	15	6
Total	Área total (m ²)	2748,28	143

La pregunta que resalta luego de analizar los resultados anteriores, es cuál es la participación de la biomasa horizontal en relación a la biomasa total de los tepuales, de tal forma de explorar la opción de fomentar la retención de éstas en las prescripciones silviculturales que se recomiendan y que éstas sean viables económicamente. En este sentido, el aporte en área basal de los troncos horizontales tanto en Butalcura como Inío raramente supera el 20 % del total de área basal del bosque. Además, el 92 % de estos troncos

corresponden a tepú y luma. Tanto en Inío como Butalcura sobre 50 % de los árboles tienen una forma de crecimiento vertical (Figura 6.27). Los tepuales de Inío presentaron una mayor área basal horizontal-oblicua que los de Butalcura, lo que se debe al carácter más “arrastrado” de los primeros.

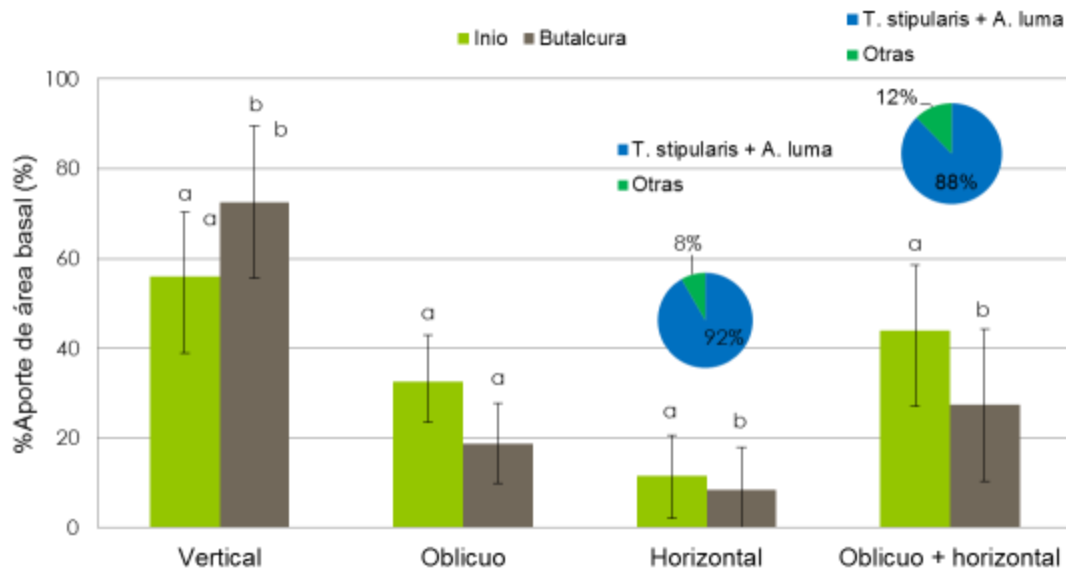


Figura 6.27 Aporte en área basal relativa según forma de crecimiento para el total de especies por sector de estudio.

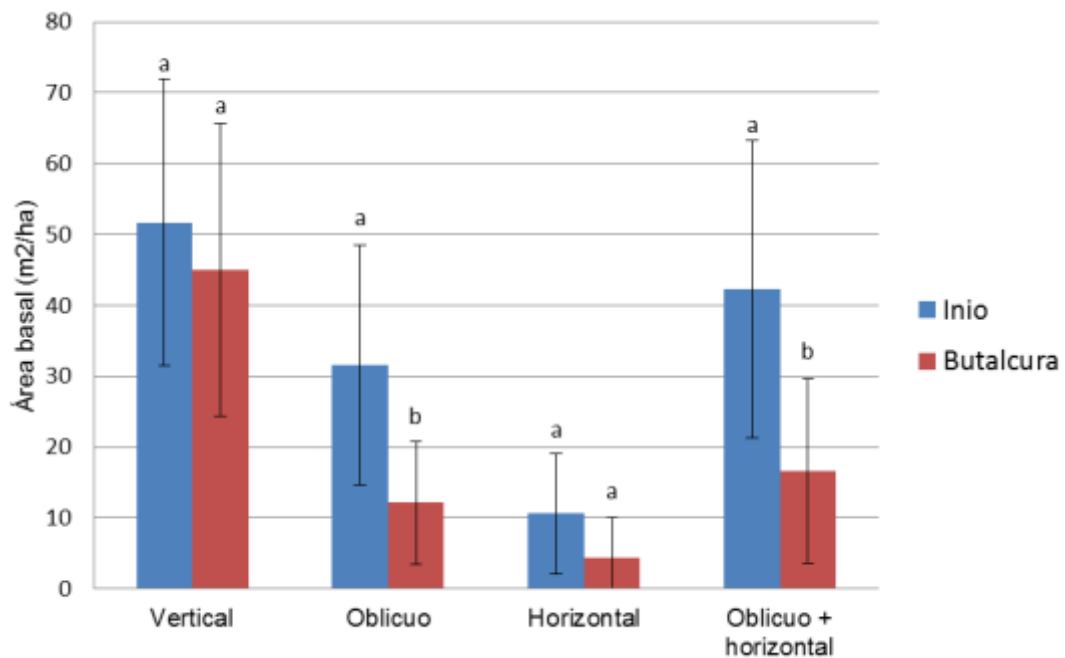


Figura 6.28 Aporte en área basal absoluta según forma de crecimiento para el total de especies por sector de estudio.

Los troncos horizontales no son los de mayores dimensiones en diámetro, existiendo mayor cantidad de árboles verticales en todas las clases diamétricas (Figura 6.28). Los troncos horizontales llegan en promedio hasta los 60 cm de diámetro. Las clases diamétricas que más aportan área basal son entre 10 y 30 cm y sobre 70 cm DAP (Figura 6.28). En este contexto, se estima que para crear un método silvicultural alternativo para bosques dominados por tepú, es indispensable que éste considere la retención del primer nivel de troncos horizontales que existe en estos bosques. Como se dijo anteriormente, sobretodo en bosques "arrastrados" como los de Inío y ciertos sectores de Butalcura, la mayor parte de la regeneración arbórea se encuentra ubicada sobre un sustrato de troncos horizontales entre 50 y 100 cm. Este tipo de sustrato es vital para la germinación y posterior desarrollo de semillas y brotes vegetativos, posiblemente por ser sitios seguros en cuanto al anegamiento invernal típico de estos bosques.

Uno de los principales problemas potenciales al promover la retención de los troncos horizontales al momento de cosechar tepuales, es el hecho que los usuarios pueden ser contrarios a perder volúmen de cosecha y por consiguiente ingresos importantes, sobretodo en el dosel inferior que muchas veces es visto en estos bosques como el de mayor biomasa. Sin embargo, nuestros resultados muestran que los troncos horizontales no representan más del 20 % del área basal del bosque, no superan los 10 a 20 m² de área basal por hectárea (tepuales, "levantados" y "arrastrados", respectivamente), y no se ubican en las clases diamétricas superiores. En otras palabras, nuestros resultados nos indican que el retener reestructuras horizontales en el sitio no lleva a perder significativamente biomasa cosechable. Es más, existe una gran area basal vertical y oblicua posible de aprovechar, de diámetros pequeños (10-30 cm de DAP) y grandes (>60 cm de DAP) que puede proporcionar varios tipos de productos, entre los cuales se pueden contar leña para cocina (árboles de 10 a 30 cm de DAP), postes y leña gruesa (árboles de mayores dimensiones). Esto se puede observar en las figuras 6.29 y 6.30. En el caso del experimento de Inío, donde se extrajo un promedio de 407,9 mst de claros con retención de biomasa residual y 656,0 mst de claros a tala rasa, la disminución de volumen equivale solamente a un 37 % menor, es decir un 37 % de reducción de ganancias al dejar un suelo con biomasa residual para favorecer la regeneración natural de las distintas especies.

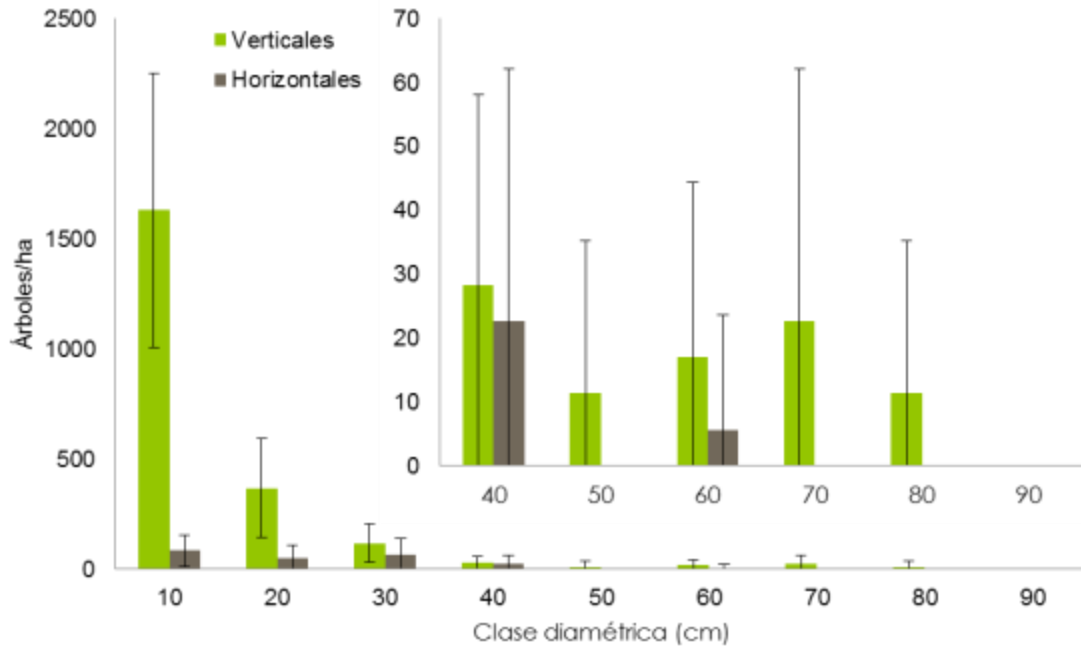


Figura 6.29 Estructura diamétrica del total de especies arbóreas para el sector de Inío, según forma de crecimiento. En detalle se muestran clases diamétricas superiores.

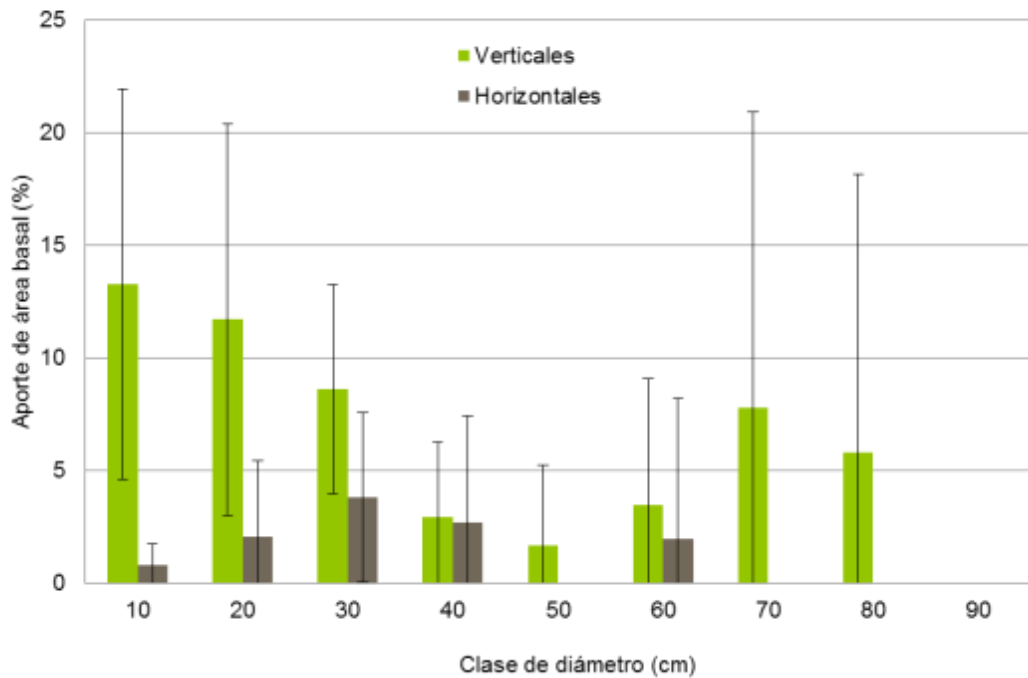


Figura 6.30 Aporte en área basal de cada clase diamétrica para el total de especies arbóreas según forma de crecimiento en el sector de Inío.

7. Discusión de resultados

7.1 Composición, estructura y dinámica de tepuales en condiciones inalteradas.

7.1.1 Estructura y composición de bosques dominados por tepú

Los bosques dominados por tepú en la Isla de Chiloé son bosques típicamente Norpatagónicos (Gutiérrez et al. 2009), con una baja influencia antrópica (no se encontraron especies vasculares de origen exótico) y con una importante riqueza de especies (37 especies por sector). Los tepuales estudiados presentaron mayor riqueza de especies vasculares que varios bosques pantanosos adultos o maduros alrededor del mundo (ver revisión de Lugo et al. 1988), pero menor riqueza arbórea que bosques pantanosos de Guyana Francesa (Koponen et al. 2004). Resalta la gran cantidad de especies de herbáceas, anuales y helechos, los cuales en conjunto presentaron una riqueza similar al grupo de especies arbóreas. Por ejemplo, se registraron 12 especies del género *Hymenophyllum*, cuyo hábitat ideal es la compleja estructura de troncos horizontales y suelos aéreos que es característica de los tepuales. Pese a que los dos sectores de estudio presentaban drenajes restringidos y una riqueza vascular similar, éstos presentaron una composición diferente, lo que probablemente se debe a su ubicación geográfica (135 km de diferencia) y a las diferentes condiciones de sitio (Butalcura: origen fluvio-glaciar, suelo delgado; Inío: origen sedimentario, suelo profundo).

Los bosques del área de estudio presentaron pese a la baja altura, una estructura extremadamente compleja caracterizada por elevadas densidades y áreas basales. La densidad media y área basal media de ambos sectores fue notoriamente superior a otros bosques húmedos de áreas tropicales (Koponen et al. 2004; Sherman et al. 2000) y a la mayoría de otros bosques húmedos del mundo (Lugo et al. 1988). Resalta el alto porcentaje de árboles con crecimiento horizontal u oblicuo que en conjunto llegaron en área basal a un 44 % en Inío y 27,4 % en Butalcura. Las diferencias entre sectores de estudios se deben probablemente a las condiciones de sitio, las cuales eran más favorables en Inío que Butalcura (profundidad de suelo, origen), por lo que en el primer sector se podía desarrollar una estructura más compleja. En ambos sitios la especie más importante tanto en densidad como en área basal es tepú, la cual le da el nombre a estos bosques (*tepuales*), ocupando el dosel medio e inferior del bosque junto a luma, tiaca y canelo. De forma emergente sobresalen algunos individuos de coigue de Chiloé y tineo. La estructura multiestratificada, con una distribución diamétrica exponencialmente negativa, con un gran rango de diámetros y valores del factor c de Weibull que muestran una leve asimetría positiva (c: 1-2), indica que estos bosques están sujetos a una dinámica de claros, la cual permite que coexistan a lo largo de los siglos tanto especies tolerantes como

intolerantes a la sombra (Gutiérrez et al. 2008; Bannister & Donoso 2013). Esto concuerda con lo señalado por Bond (1989) y Coomes et al. (2005), en cuanto a que algunas especies arbóreas, en particular coníferas, están adaptadas para crecer y persistir pese a las desfavorables condiciones que puede presentar un sitio. Lo anterior queda demostrado en que todas las especies dominantes a nivel arbóreo (tolerantes como intolerantes a la sombra) presentan abundante regeneración en todas las clases de altura.

7.1.2 Influencia de la estructura en la riqueza de especies y nichos de regeneración

Diversas variables estructurales influyen los nichos de regeneración de las especies arbóreas, sobre todo el área basal oblicua y total. Sin embargo el tipo de influencia (positiva o negativa) y su significancia dependerá de la especie. Sin embargo, las variables estructurales no influyen significativamente la riqueza total de especies arbóreas y no arbóreas, pero sí la abundancia de varias especies de tal forma que la relación (positiva o negativa) es a nivel de especie. Esto indicaría que en bosques pantanosos adultos inalterados dominados por tepú, la compleja estructura existente en ellos influye la riqueza de especies y los nichos de regeneración de las distintas especies arbóreas que allí habitan. En este contexto sorprende la importancia de variables nutricionales como el nitrógeno total sobre la abundancia de cada especie arbórea y no arbórea.

El 80,8 % de la regeneración en Inío y el 46,8 % de la regeneración en Butalcura se encontraron sobre troncos, lo que demuestra la importancia de este tipo de estructuras horizontales y oblicuas como sustrato para la regeneración de diversas especies. Esto indica que micrositios elevados favorecen el desarrollo de la regeneración arbórea en bosques de drenaje restringido como son los tepuales. Esto es especialmente importante en bosques pantanosos en época invernal donde los troncos o montículos representan sitios seguros para que las especies arbóreas se desarrollen mientras los micrositios bajos están cubiertas de agua (Koponen et al. 2004; Duberstein 2009; Sherman et al. 2000, Vivian-Smith 1997). En Inío, este patrón se repitió a nivel de especies donde todas las especies, excepto pitra y avellano presentaron una mayor regeneración sobre troncos que otro tipo de sustratos como musgos y hojarasca. En Butalcura existió de forma similar regeneración sobre musgo- hojarasca y sobre tronco. Esto puede ser debido a las condiciones de sitio más restrictivas y por consiguiente al menor desarrollo estructural (menor área basal en todas sus formas), lo que deja mayor espacio para sustratos compuestos por musgos y hojarasca. A pesar de esto especies como tepú, coigue de Chiloé, tiaca, sauco, avellano y chaquihue presentaron igualmente mayor regeneración sobre troncos. Es importante mencionar que en ambos sectores de estudio se encontró significativamente una mayor cantidad de regeneración por semilla que vegetativa para el total y cada una de las especies arbóreas. La única excepción fue tiaca en Inío. Lo anterior indica que los troncos, donde se establece la regeneración representan sustratos ideales para la germinación de semillas (suelos aéreos, camas de semillas) y no solo fuentes de

regeneración vegetativa. Es más, muchas de las especies presentan adaptaciones para desarrollarse y persistir sobre estas estructuras, como raíces adventicias que pueden bajar sobre sobre 1 m hasta tocar suelo mineral. En el caso de tepú, estos resultados concuerdan con Christie & Armesto (2003), en cuanto al sustrato preferido por la especie, pero contrasta con reportado por Donoso (2006) quien señala que esta especie presenta una regeneración mayoritariamente vegetativa.

7.2 Efecto de la luminosidad y biomasa residual en la regeneración natural post-cosecha

Uno de los objetivos específicos de este proyecto fue el de evaluar el efecto de la luminosidad y biomasa residual en la regeneración natural post-cosecha, tanto vegetativa como de semilla en bosques adultos dominados por tepú en la Isla Grande de Chiloé. Para esto se trabajó con la hipótesis de que un método silvicultural basado en alteraciones de pequeña escala (claros), mantiene las condiciones nutritivas del sitio y las condiciones lumínicas necesarias para la regeneración de tepú, incrementando la habilidad de la especie para re-organizarse y adaptarse a las nuevas condiciones post-manejo, lo cual aumenta su resiliencia a las intervenciones y asegura su estabilidad a futuro (H1). Aparte, se hipotetizó que en los claros creados, la regeneración natural post-cosecha de tepú es afectada negativamente por una mayor luminosidad (> tamaño de claros) y positivamente por una mayor biomasa residual retenida.

Luego de dos años de monitoreo de los ensayos de Butalcura e Inío se puede tener una buena idea de la respuesta de los tratamientos de distintos niveles de tamaño de claro y biomasa residual. En general, luego de las intervenciones ambos sectores presentan grandes densidades totales de regeneración natural (promedio 209.000 pl/ha en Butalcura y 1.304.000 pl/ha en Inío) y en general hubo buenas densidades de la mayor parte de las especies arbóreas. Sin embargo, la mayor parte de la regeneración tenía bajo 5 cm de altura lo que no representa una regeneración establecida sino más bien densidades de germinación. Esto debido a que aún puede haber gran mortalidad por competencia. Los tratamientos aplicados en los ensayos tuvieron efectos diferentes según sector de estudio y por especie. El tamaño de claro tuvo un efecto significativo sobre la regeneración total en Butalcura (todas las clases de altura, a menor diámetro de claro una mayor densidad de regeneración) y sobre la regeneración > 5 cm de altura en Inío con una tendencia contraria. La biomasa residual tuvo un efecto significativo sobre la regeneración < y > 5 cm de altura en Butalcura con mayor regeneración donde se hizo tal rasa y sobre todas las clases de altura en Inío. Por otro lado, la regeneración > 5 cm de altura en Inío fue favorecida en claros con biomasa residual. La interacción de estos dos factores no tuvo un gran efecto sobre la regeneración aunque si a nivel de especie.

Lo interesante de estos resultados es que en el caso del tamaño de claro, en el caso de Butalcura mientras más pequeño el claro había una mayor regeneración en cambio en Inío existió una mayor regeneración en los claros más grandes (para plantas > 5 cm de altura). En cuanto a la biomasa residual, se da otra tendencia interesante, ya que en Butalcura y parte de Inío los claros a tala rasa presentaron mayor regeneración, pero este resultado estaba muy influenciado por la regeneración por semilla que representa en realidad germinación (< 5 cm de altura). Por ejemplo en Inío que es un tepual arrastrado la regeneración > 5 cm de altura se estableció mayoritariamente en claros con biomasa residual. En el caso específico de tepú, en Butalcura hubo mayor regeneración en los claros más pequeños y en Inío en claros a tala rasa, pero nuevamente muy influenciado por la enorme densidad de plantas con origen de semilla que representan un proceso de germinación más que de regeneración establecida. En cuanto al efecto de los tratamientos sobre las condiciones nutritivas del suelo, no existió un efecto de éstos en ambos sectores. Sin embargo, se observaron cambios nutritivos entre la condición pre-intervención (año 2014) y la condición post-intervención (año 2016), que no se debieron a los tratamientos sino que a otros factores que se deben estudiar a futuro. En ambos sectores se vio una baja significativa del pH y un aumento significativo de varios nutrientes (fósforo, potasio y nitrógeno) luego de las intervenciones realizadas. Además, en el caso de Butalcura, las intervenciones produjeron un aumento significativo del carbono total, materia orgánica y una baja de la relación carbono/nitrógeno. Por este motivo al hacer intervenciones en estos bosques aunque sean mínimas (claros de pequeño diámetro) se tiene un efecto significativo en las condiciones nutritivas.

En este contexto, los efectos de los tratamientos aplicados a bosques adultos dominados por tepú lograron captar parcialmente los efectos de este tipo de intervenciones y por eso no hubo resultados con tendencias generales a nivel de experimento. Esto se puede deber a dos factores, en primer lugar por la corta duración de este estudio (2 años de monitoreo) por lo que se pretende realizar un monitoreo a los 5 años para evaluar el desarrollo de la regeneración. En segundo lugar, debido a que el tamaño de las unidades experimentales era demasiado grande y no captaban los procesos de regeneración que se da en estos bosques y que funcionan a escala de micrositio (Bannister et al. 2017). De esta forma, al analizar los resultados a escala de parcelas de regeneración (1m²) se pueden observar interesantes y concluyentes resultados. Por ejemplo, gran parte de la regeneración arbórea < 5 cm de altura es por semilla, en cambio las plantas de > 5 cm de altura son de origen vegetativo, especialmente tepú, tiaca y tinea. La regeneración por semilla < 5cm se establece en general sobre suelos de hondonadas cubiertos de musgos ya que representan camas de semillas ideales para la germinación, sin embargo presentan los mayores problemas por anegamiento invernal. Por el contrario la regeneración de semilla y vegetativa > 5 cm de altura se estableció en montículos sobre troncos con y sin musgos. Este patrón es similar al observado en la situación pre-intervención y resalta a nivel de micrositio la importancia de las

estructuras horizontales. Además, también a nivel de micrositio, se observó que los parámetros ambientales más importantes para la regeneración natural de las principales especies arbóreas fueron diferentes para cada uno de los sectores de estudio. En este sentido, sobresaltan la importancia de la distancia a los límites del claro, la cobertura del suelo por troncos, la luz a 1,3 m de altura desde el suelo y la relación C/N. En Inío los parámetros ambientales más importantes fueron: la luz en la superficie del sustrato y diversas variables nutritivas. Estas relaciones debieran ser estudiadas en mayor profundidad en los próximos años. En el caso de tepú su regeneración se vio favorecida positivamente por una mayor distancia al borde del claro y una mayor luminosidad a 1.3 m de altura (Butalcura) y por un mayor pH (Inío).

Finalmente a nivel general, la totalidad de las especies arbóreas originales de estos bosques se encontraban presentes en la regeneración de los claros. Las únicas especies que no se encontraron presentes regenerando y que eran parte del bosque original fueron olivillo, avellano y pitra en Inío y *C. hookerianum*, tepa y mañío de hojas punzantes en Butalcura. Sin embargo al considerar la enorme riqueza de especies no arbóreas en los bosques pre-intervención es necesario mayor estudio sobre el efecto de las intervenciones en este tipo de formas de crecimiento de la flora.

En este contexto, los resultados de este estudio confirman parcialmente las hipótesis planteadas. A nivel de micrositio se puede confirmar la hipótesis de que un método silvicultural basado en alteraciones de pequeña escala mantiene las condiciones lumínicas necesarias para la regeneración de tepú, incrementando la habilidad de la especie para re-organizarse y adaptarse a las nuevas condiciones post-manejo. Además, se confirma que la regeneración natural post-cosecha de tepú es afectada positivamente por una mayor biomasa residual retenida. Por otro, lado, contrario a lo planteado al iniciar esta investigación, las intervenciones realizadas no mantienen las condiciones nutritivas del sitio lo que confirma la fragilidad de estos sitios, y la regeneración natural de tepú no se vio afectada negativamente por una mayor luminosidad (> tamaño de claros). Por último para establecer si estos métodos mantienen la resiliencia de tepú a alteraciones, asegurando su estabilidad a futuro no puede ser comprobado en este estudio. Sin embargo, es importante señalar que a través de cualquier tipo de intervenciones, ya sean estas tradicionales (cosecha en fajas) o alternativas (por claros) se está simplificando un bosque extremadamente complejo, lo que pone en riesgo la estabilidad del bosque a futuro.

7.3 Comparación de la respuesta de la regeneración natural entre claros y cortas de tala rasa en fajas alternas

Otro de los objetivos específicos de este proyecto fue el de comparar la respuesta de la regeneración natural y sustentabilidad general entre los

métodos alternativos propuestos por este estudio y cortas de tala rasa en fajas alternas y hoyos de luz realizadas tradicionalmente en la Isla Grande de Chiloé. Para esto se trabajó en base a la hipótesis que la regeneración natural de tepú, tanto vegetativa como de semilla, es mayor luego de métodos alternativos de este estudio que en métodos tradicionales utilizados en la Isla Grande de Chiloé.

Nuestros resultados indican que la regeneración natural en las fajas estudiadas no presentó gran diversidad de especies arbóreas, siendo tepú la especie más dominante de la regeneración (96 % del total de individuos). El hecho de que tepú fuese tan frecuente condicionó que los valores de regeneración total, dependiesen de su comportamiento. La gran cantidad de plántulas < 5 cm (96 % de la regeneración) y el origen de semilla dominante (96,6 %), da a inferir una buena producción de semillas y condiciones favorables para la germinación de tepú luego de la cosecha en fajas. El origen de semilla se concentró en los bordes y montículos sin ramas, siendo éstos los que además presentaron mayor regeneración en total, pero no lograron desarrollar plantas mayores a 5 cm de altura. En general, la regeneración en este método de cosecha, no alcanzó una buena densidad de plantas mayores a 5 cm en relación a métodos aplicados en Inío y Butalcura, que además tuvieron para ese tamaño una regeneración más bien multiespecífica.

El comportamiento de la regeneración en las fajas no estuvo determinado por variaciones en la disponibilidad de luz que ocurrieron dentro de la faja al aplicarse el método, existiendo nula relación entre luz y regeneración total establecida, presentando una tendencia visualmente negativa. En Inío y Butalcura también ocurrió este comportamiento, aun cuando estos lugares tuviesen condiciones ambientales distintas a las fajas y cada uno fuese más heterogéneo espacialmente. Se debe sumar a aquello la nula relación entre ancho de faja y densidad de regeneración, donde esta primera variable, si bien estuvo relacionada con la luz incidente no fue de mayor importancia. La regeneración varió más por efectos del micro sitio y del manejo. Esto se muestra en la poca respuesta de la regeneración en Leuquetro en sustratos como el centro de la faja y los montículos con ramas que son los que están relacionados a la mala aplicación del método silvicultural, donde la superficie de la faja es la superficie utilizada como vía de saca, y la superficie de montículos con ramas es la utilizada para acumulación de desechos finos que inhiben la regeneración.

En cuanto a tepú, no se comportó mayormente como una especie intolerante a la luz, siendo que así es considerada en otros estudios (Donoso 2006), aun cuando puede crecer bajo su propio dosel. La baja regeneración vegetativa en Leuquetro se explica que al no dejar biomasa residual no se aprovechó la gran capacidad de regeneración vegetativa de esta especie, siendo muy baja en contraste a tratamientos que si dejaron biomasa residual en Butalcura e Inío. En éstos últimos, la regeneración vegetativa fue parte importante de los rangos de tamaños > 5 cm. La situación de la regeneración vegetativa de Leuquetro se asimiló más a lo observado en otras experiencias de tala rasa (Poffet 2007). En este sentido, sería

importante evaluar y conocer los factores que fomentan la regeneración de tipo vegetativa de tepú e incluir estos conocimientos en futuras pautas de manejo para la especie. En este contexto, en las fajas a tala rasa estudiadas de Leuquetro se aseguró la regeneración exigida en el Reglamento Técnico N°259 del Decreto de Ley 701, pero es criticable en cuanto a sustentabilidad, dado que no se observaron fundamentos ecológicos basados en la dinámica regenerativa de especies que componen este tipo de bosques. Además la regeneración establecida (> 5 cm de altura) es muchísimo menor que en los claros de los experimentos de Butalcura e Inío. Por cierto, la riqueza, sobrevivencia y calidad de la regeneración debería seguir evaluándose en el tiempo, ya que habiendo una baja cantidad de regeneración sobre los 5 cm, es más susceptible a daños por pisoteo, ramoneo y muertes por anegamiento hídrico y congelamiento.

De esta forma, se puede confirmar que la regeneración natural de tepú, tanto vegetativa como de semilla, es mayor luego de métodos alternativos de este estudio que en métodos tradicionales utilizados en la Isla Grande de Chiloé. En este sentido, los métodos alternativos en base a claros aseguran una mayor regeneración establecida (>5 cm de altura), una mayor diversidad de especies y por el mismo motivo una mayor complejidad.

7.4 Evaluación económica de los costos de las actividades silvícolas aplicadas

Para proponer un método silvícola alternativo para manejar los bosques adultos dominados por tepú es importante evaluar económicamente los costos de las actividades necesarias para la aplicación de los métodos silviculturales estudiados para de esta forma sustentar una posible inclusión en la ley 20.283. Este fue uno de los objetivos de este estudio. Nuestros resultados indican que los troncos horizontales característicos del dosel inferior en los tepuales son de vital importancia como sustrato para el proceso de regeneración de las especies arbóreas que allí habitan. Por este motivo es importante retenerlos en el bosque al momento de intervenir el dosel. Esto es clave es para lograr la conservación de estos bosques únicos en el largo plazo. Existen dos factores económicos que influyen en el interés o desinterés de ocupar un método en base a cosecha en claros. En primer lugar, el retener estas estructuras y de paso proteger el suelo usando carretillas sobre tablonés de pino impregnado para extraer la leña aumenta los costos de producción. La presente investigación fija el costo por mst en \$25.000 pesos, lo que incluye todos los insumos y el trabajo de corta, transporte y apilado en vía de saca central. Este costo es superior a los \$10.000 a \$12.000 pesos/mst que se cobra por el costo de producción de leña normalmente en Chiloé. El segundo factor económico que influye en la decisión de usar o no usar este método alternativo es el % de pérdida de ingresos que existe al promover la retención de estructuras horizontales en el suelo al momento de cosecha. Nuestros resultados indican que los troncos horizontales no representan más del 20 % del total de área basal lo que

representa una disminución de volumen cosechado de un 37 %. Al entender las externalidades positivas que representa la retención de estructuras para fomentar la regeneración natural existente, el perder un 37 % de las ganancias no es una pérdida significativa. En este contexto, es importante también señalar la importancia de investigar las ganancias económicas provenientes de servicios ecosistémicos provenientes de estos bosques y que se pierden con las cosechas tradicionales que se realizan en Chiloé. Esto cobra relevancia con la importancia que tienen por ejemplo estos bosques pantanosos para el ciclo hídrico de Chiloé que no cuenta con nieves eternas y grandes reservas de agua potable. Además, estos bosques tienen un inmenso potencial turístico. Por ejemplo, el Parque Nacional Chiloé recibe 53.000 visitas al año (CONAF 2016) de las cuales el 80 % realiza el sendero "El tepual" donde se puede ver un bosque inalterado de tepú. Por otro lado, existen experiencias como el área de conservación Bosque Piedra, que anualmente recibe cientos de visitantes para realizar excursiones científicas a los tepuales del Lago Huillinco. Este tipo de indicadores son importantes para entender que probablemente el valor económico de servicios ecosistémicos como la provisión de agua y el turismo sobrepasa enormemente el valor maderero de éstos, por lo que se debiera fomentar un cambio de paradigma en su uso.

7.5 Manejo de bosques dominados por tepú

El objetivo general de este proyecto de investigación fue el desarrollar métodos silviculturales alternativos para bosques adultos dominados por tepú, para asegurar y apoyar el crecimiento de la regeneración natural post-cosecha de esta especie. Para lograr esto se propuso elaborar pautas de manejo para bosques adultos dominados por tepú las cuales fueran aplicables en terreno.

Para definir una pauta para su manejo es indispensable entender la dinámica de estos bosques (primera parte de este proyecto). Nuestros resultados indican que al entender estos bosques como un ciclo adaptativo complejo (Holling 2001), durante la lenta secuencia desde la fase de explotación a la de conservación, estos bosques acumulan gran cantidad de biomasa a un punto donde la resiliencia a alteraciones es mínima. En este contexto, bosques como los tepuales, que raramente han experimentado disturbios catastróficos son especialmente sensibles a cualquier tipo de alteración intensa (Burns 1993; Parish & Antos 2006). Los tepuales acumulan a lo largo de miles de años sin grandes alteraciones, grandes cantidades de biomasa con sotobosques densos, complejos y extremadamente combustibles (Bannister et al. 2017). En este contexto, los tepuales, que crecen en sitios altamente limitados en cuanto a drenaje y fertilidad no son capaces de recuperarse de intervenciones de alta intensidad.

Las cortas actuales que se realizan tradicionalmente en este tipo de bosques, consisten justamente en intervenciones de alta intensidad sin base ecológica (tala rasa extensiva), y en el mejor de los casos talas rasa en fajas, teniendo limitados resultados de regeneración post-cosecha. El objetivo de estas cortas es transformar estos bosques en bosques coetáneos con una estructura horizontal homogénea. Esto contrasta enormemente con la compleja estructura original multietánea, multiestratificada y multiespecífica de estos bosques. La baja efectividad de los métodos silviculturales que se ocupan en la actualidad en cuanto a fomentar la regeneración y mantener estructura luego de intervenciones, origina un significativo problema en la sostenibilidad de este recurso a futuro, pero además plantea el enorme desafío de explorar métodos silviculturales alternativos, los cuales se basen en la autoecología de la especie, y que ayuden a mejorar la presente situación.

Los resultados de este estudio indican que la dinámica de los bosques dominados por tepú está asociada a alteraciones de pequeña escala (claros) donde el suelo generalmente no queda al descubierto, y donde la mayoría de las especies dominantes se establecen en su mayoría sobre troncos germinando y creciendo a bajos niveles de luminosidad. Además, no todos los bosques dominados por esta especie presentan la misma composición florística. Por estos motivos no se debieran fomentar los métodos silviculturales aplicados en la actualidad, los cuales abren demasiado el dosel y extraen la totalidad de la biomasa. Por ejemplo en este estudio comprobamos que el uso de tala rasa en fajas no favorece la regeneración natural. En este proyecto demostramos con evidencia que no existe una relación entre el ancho de faja, altura del bosque colindante ni la radiación incidente en la densidad de la regeneración natural, como se creía hasta ahora. Esto se debe principalmente a que los factores que si fomentan la regeneración actúan a nivel de micrositio y no de faja. Además, uno de los más grandes problemas del sistema de fajas es su mal uso, ya que las fajas que tienen por objetivo la regeneración natural, terminan siendo usadas de vías de saca permanente. En este contexto, si es que se desea fomentar un uso silvícola adecuado para los bosques dominados por tepú, este se debe basar en una imitación de las alteraciones naturales que ocurren en estos bosques (Donoso & Lara 1999; Röhrig et al. 2006). La silvicultura a usar en estos bosques, debe reconocer a) la diversidad de especies y estructuras que se encuentran en estos bosques, las cuales son diferentes a lo largo de su distribución, b) la relación entre estructura y los nichos de regeneración de las distintas especies que allí coexisten. De esta forma, se debiera fomentar métodos de cobertura continua en base a la creación de claros envés de talas rasas, y la retención de estructuras (troncos, biomasa), las cuales sirvan de micrositios elevados para la germinación y establecimiento de las distintas especies arbóreas. Esto incrementará la habilidad de las distintas especies (y en especial tepú) para re-organizarse y para adaptarse a nuevas condiciones de manejo, lo cual aumente su resiliencia a las intervenciones y asegure su estabilidad a futuro.

7.5.1 Pauta de manejo para uso maderero de tepuales

Durante el año 2016, la Corporación Nacional Forestal creó una nueva pauta de manejo de tepuales basada en el método de tala rasa en fajas alternas. Según los resultados de esta investigación, ese método no asegura una regeneración adecuada en estos bosques, sin embargo las medidas de protección incluidas son un gran avance en la dirección correcta. La pauta de manejo que se presenta a continuación propone una alternativa basada en la creación de claros y como se verá incluye algunos puntos de la pauta usada por CONAF desde el año 2016.



Figura 7.1 Ciclo del manejo alternativo de tepuales en base a la creación de claros y retención de biomasa residual y considerando las fases de un ciclo adaptativo complejo: fase de conservación (b), liberación (d), reorganización (a), y explotación (c). En el centro de la figura se presenta el modelo conceptual del ciclo.

Para el manejo de tepuales se deberá usar un método de creación de claros con retención de biomasa que está basado en los principios de la "Silvicultura cercana a lo natural (SCN)" (Tabla 1) y que busca favorecer la regeneración natural de las distintas especies originales permitiendo al sistema entrar luego de la intervención en una nueva fase de acumulación y transformación de recursos con la presencia de tepú (Figura 7.1). La SCN busca fomentar la estabilidad, productividad, diversidad y continuidad de

diferentes características de bosques manejados, intentando integrar múltiples objetivos de manejo a pequeñas escalas espaciales (Bauhus et al. 2013).

Sobre los tepuales

Esta pauta de manejo está dirigida al manejo de tepuales. Se entiende por tepual un bosque donde al menos un 40 % de la densidad de árboles verticales y oblicuos es de la especie tepú.

Sobre el inventario forestal

La presente pauta se centra en la descripción del recurso en base a una descripción cualitativa-cuantitativa, la cual debe ser llevada a cabo mediante un recorrido exhaustivo del área afecta, de manera de reflejar adecuadamente sus características estructurales y composicionales. El inventario a realizar deberá incluir a lo menos:

- Parcelas de muestreo donde se cuantifique la totalidad de los individuos verticales y oblicuos de tal forma de obtener el % de participación de cada especie arbórea.
- Se deberá hacer una identificación cualitativa del bosque de al menos:
a) origen (primario, secundario), b) estructura (coetáneo, multietáneo, multietáneo en bosquetes), c) hábito de crecimiento (Vertical: ≥ 70 % de los árboles crecen de manera vertical, Mixto: ≥ 30 % y < 70 % de los árboles crecen de manera vertical, Tendido: < 30 % de los árboles crecen de manera vertical) (Figura 7.2).
- Se deberá marcar en terreno la delimitación de las superficies a intervenir. Se exigirán marcas mediante jalones a lo largo de la vía de saca principal cada 20m y en el centro de cada claro a intervenir. (mínimo).

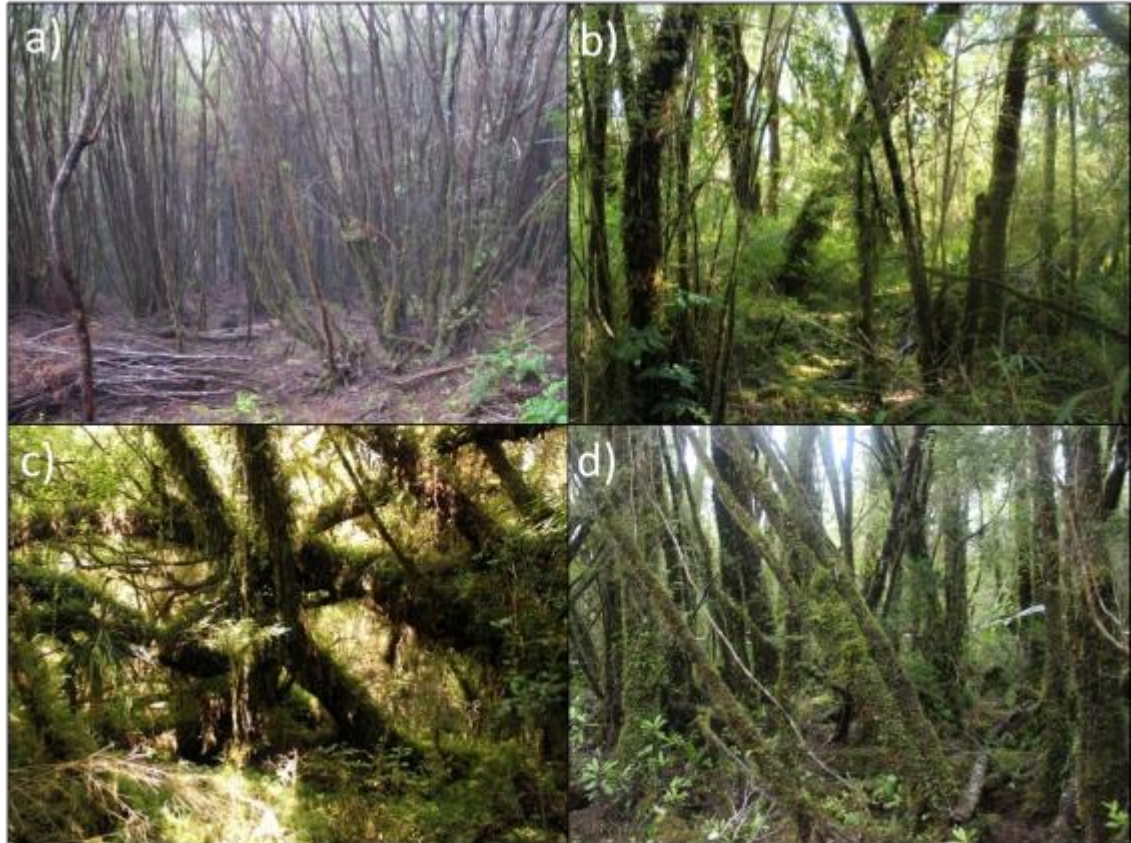


Figura 7.2 Hábitos de crecimiento y orígenes de tepuales: vertical secundario (a), vertical primario (b), tendido primario (c), mixto primario (d).

Sobre el diseño de la extracción:

- Generar claros de 15 m de diámetro, con un área buffer de 5 m y con una separación entre áreas buffer contiguas de 25 m para proporcionar semilla al área intervenida.
- Los claros deben ser unidos a la vía de saca principal a través de vías de saca secundarias de 1 m de ancho.
- Las vías de saca principal, es la única vía permanente y debe tener un ancho máximo de 4 m. Cada 50 m puede tener un ancho superior que permita el giro de una yunta de bueyes o trabajos varios de un maderocarril.
- El segundo ciclo de corta en claros se puede efectuar una vez que la regeneración comprometida presenta una cobertura de copas del 100 % y se debe realizar según Figura 7.3.

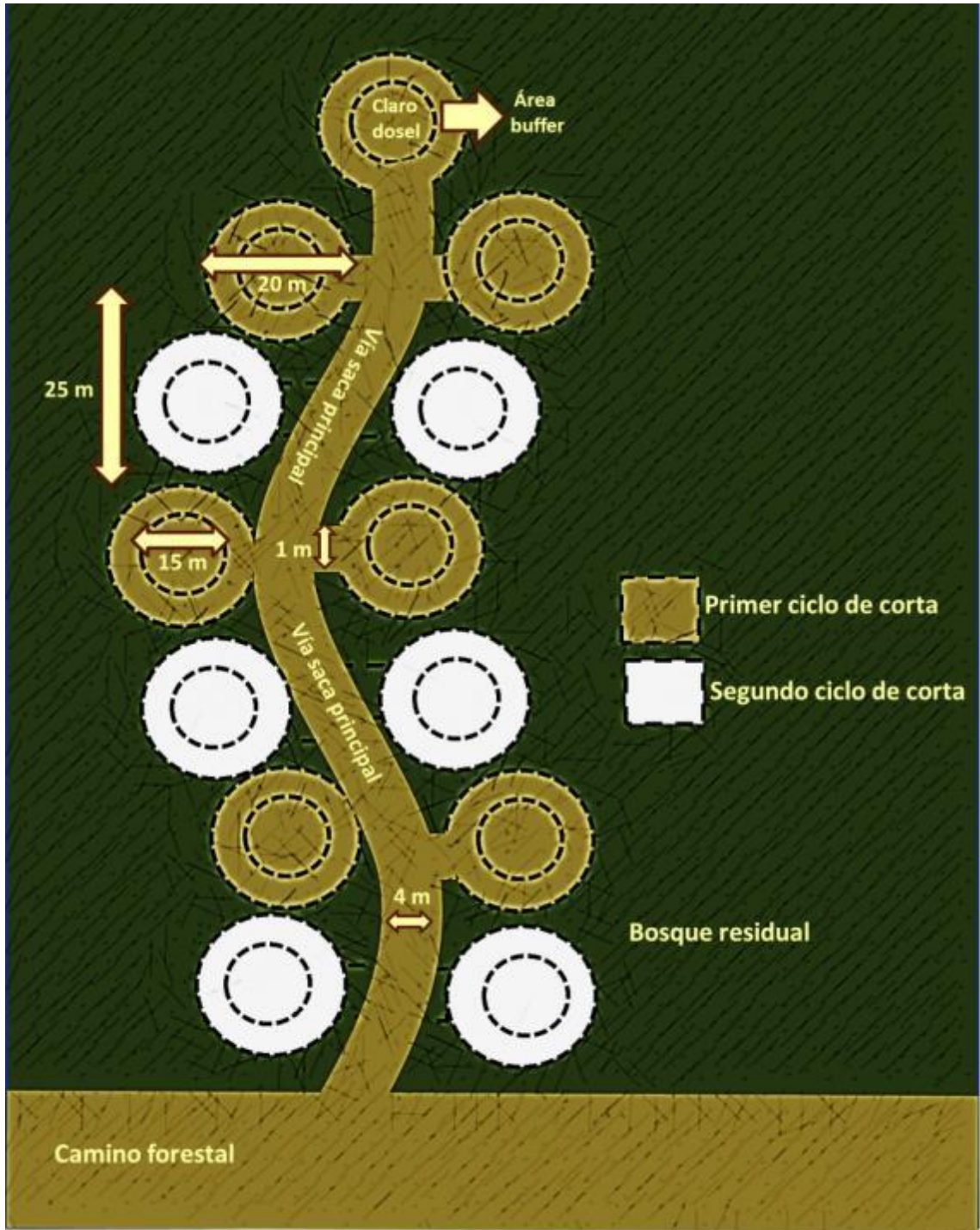


Figura 7.3 Primer y segundo ciclo de corta de la pauta de manejo de tepuales en base a claros con biomasa residual. Esquema: Nicole Galindo

Sobre las medidas de protección:

Las intervenciones silvícolas deberán contemplar las siguientes medidas de protección:

a) *Establecimiento de la regeneración*

- Las intervenciones deben realizarse en la época del año en que los frutos de tepú están maduros (Julio-Noviembre), ya que esta especie no forma un banco de semillas en el suelo (Figura 7.4).
- Se debe asegurar luego de 4 años desde la intervención una densidad de al menos 3.000 pl/ha de > 50 cm de altura, compuesta del total de especies arbóreas originales pre-intervención, y asegurando una densidad relativa de la regeneración de 25 % para tepú, 20 % para luma o melí (juntos), 10 % de canelo, 10 % de coigue o tinea (juntos) y un 35 % de otras especies arbóreas. Lo anterior es entendido como la "regeneración comprometida".

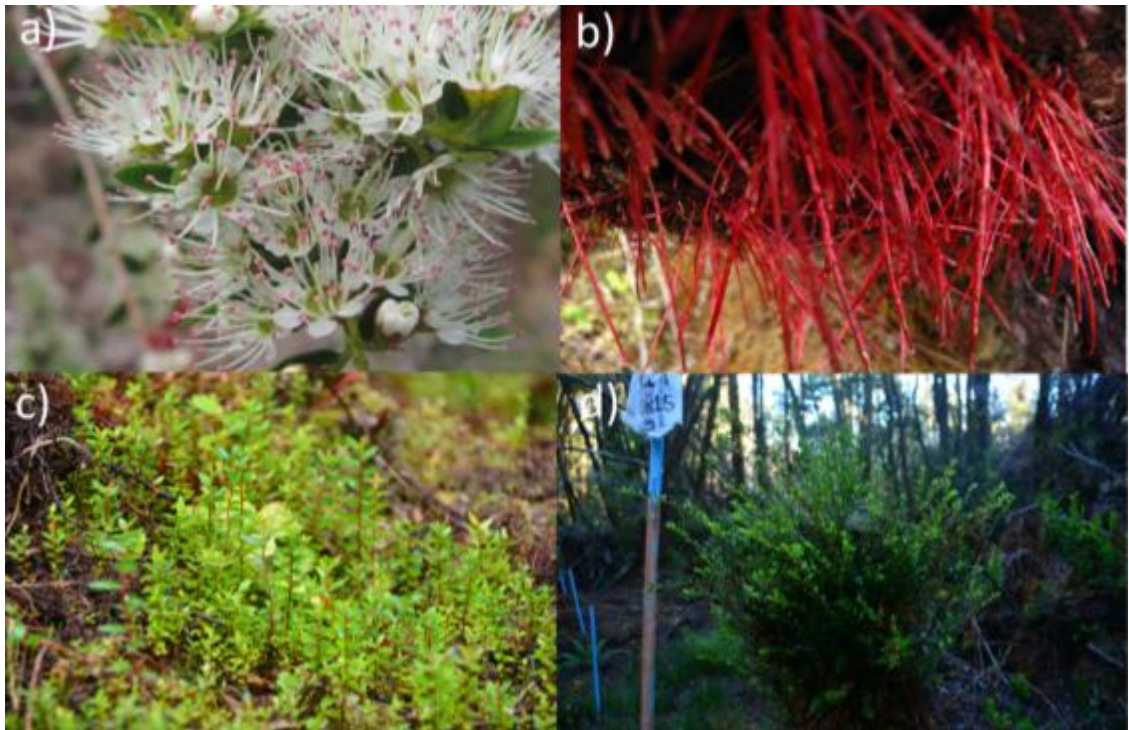


Figura 7.4 Al momento de la cosecha se debe considerar la autoecología de tepú. La floración y fructificación de tepú es en diciembre-abril y julio-noviembre, respectivamente (a). Tepú presenta diversas estrategias de regeneración entre ellas la formación de raíces adventicias desde troncos horizontales (b), la germinación por semilla sobre troncos cubiertos por musgos y la regeneración vegetativa desde tocones.

b) *Madereo*

- Para el transporte de la leña entre los claros y la vía de saca principal se debe usar carretillas sobre tabloncillos de tal forma de no dañar el suelo (alto riesgo de destrucción de la estructura del suelo debido a su fragilidad).
- Se debe fomentar el uso de sistemas tipo Maderocarril en la vía de saca principal. El uso de Maderocarril o yunta de bueyes solo se puede utilizar en la vía de saca principal.
- De los claros no puede salir más de una vía de saca secundaria.

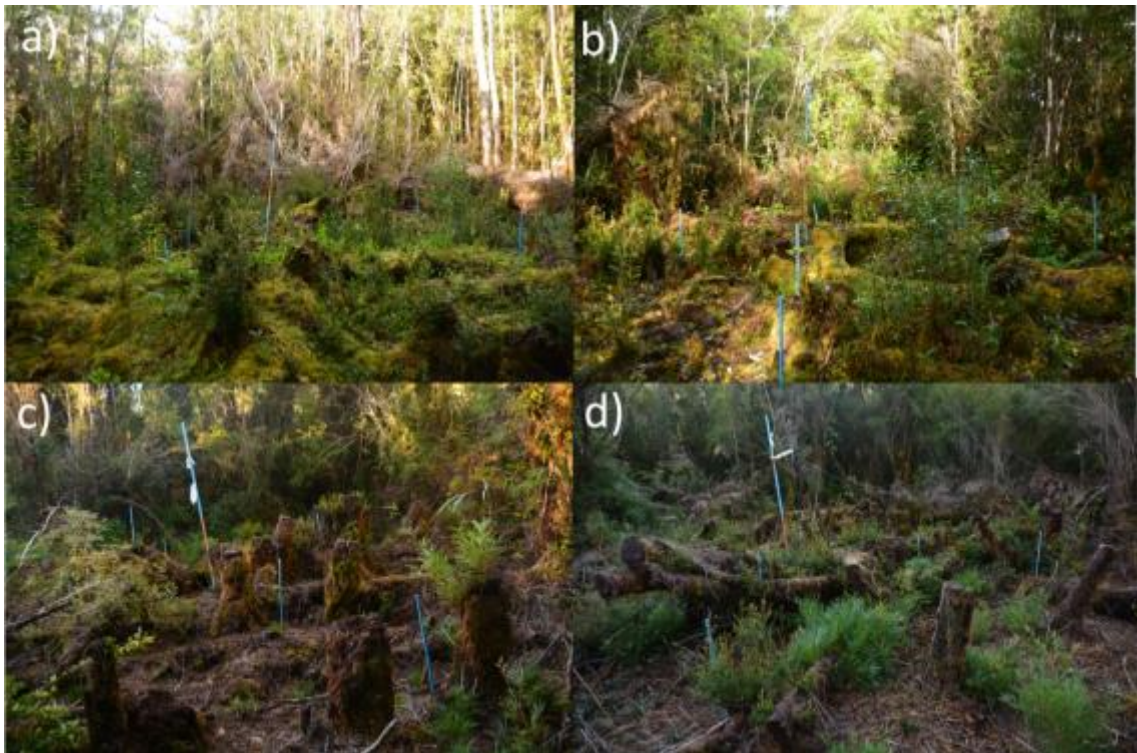


Figura 7.5 Para favorecer la regeneración por semilla y vegetativa se debe dejar biomasa residual en el suelo, tanto horizontal (a y b) como tocones de árboles verticales (c y d).

c) *Tratamiento de desechos*

- En cada claro se debe extraer solamente los árboles con hábito vertical dejando tocones de al menos 30 cm de altura. Todos los troncos horizontales y oblicuos de hasta 1 m de altura deben quedar en el suelo como biomasa residual de tal forma de fomentar la existencia de micrositios adecuados para la regeneración natural por semilla y vegetativa (Figura 7.5, 7.6 y 7.7).

- Hasta asegurar la regeneración comprometida se deberá hacer control manual de brotes de quila durante los primeros 4 años desde la cosecha (Figura 7.5).
- Los desechos finos (ramas y ramillas) deben ser acumulados en el perímetro del claro para que no dificulten la regeneración proveniente de semilla y vegetativa.

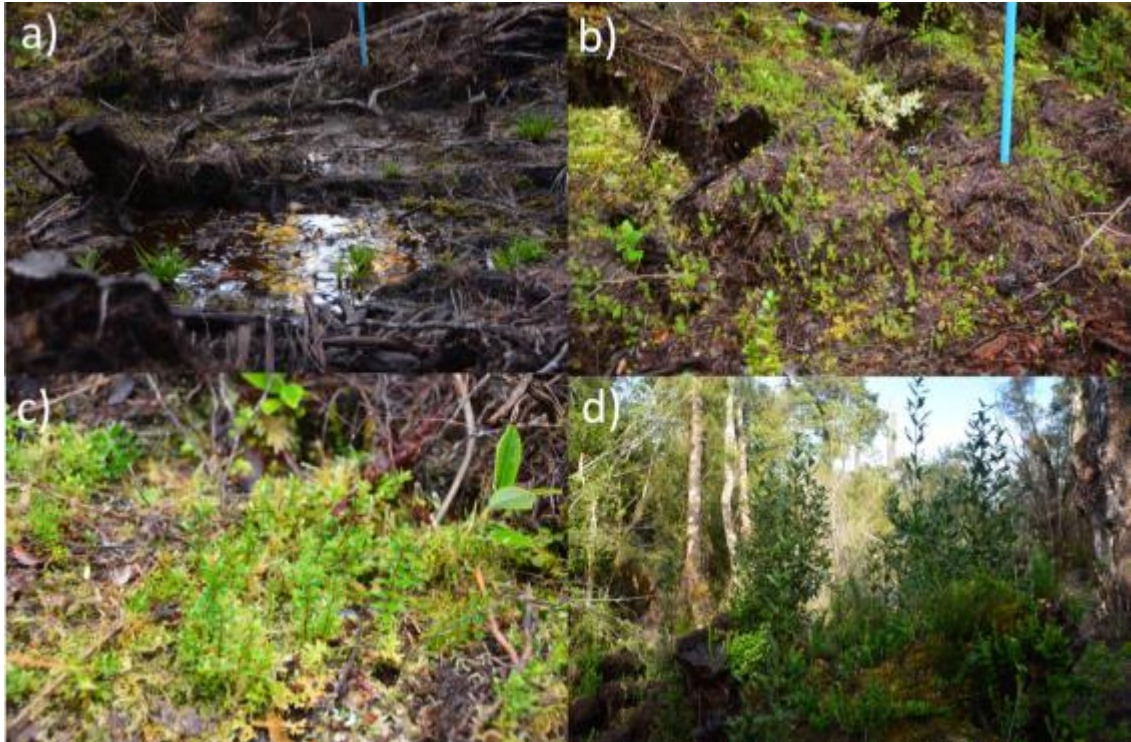


Figura 7.6 Dentro de un claro existen micrositios que gran parte del año permanecen inundados (a) los cuales pese a ser buenos para la germinación de semillas no lo son para su desarrollo posterior. Los micrositios elevados, ya sean troncos cubiertos de musgos (b y c) o tocones son excelentes micrositios para tepú y otras especies arbóreas de estos bosques.

d) Cursos de agua

- Se prohíbe la corta de árboles en bosques ubicados a menos de 10 m de cursos naturales de agua como así a menos de 50 m de humedales, turberas y pomponales. Éstos últimos no pueden ser usados como vía de saca o tránsito, ni tampoco como lugar de acopio de desechos de explotación o del producto extraído.

e) Áreas frágiles

- La presente pauta es válida solamente en terrenos con pendientes iguales o inferiores a 15 %. Se prohíbe el uso del presente instrumento para efectuar corta de bosque nativo ubicado en terrenos

con suelos de profundidad inferior a 50 centímetros. La profundidad del suelo debe ser medida mediante un bastón pedológico, de forma sistemática en el rodal a ser manejado.

f) Exclusión de ganado

- Se deberá excluir el ganado en los rodales afectos en todo momento, incluso una vez se haya establecido la regeneración.
- El uso de bueyes está solamente autorizado en la vía de saca principal.

g) Uso del fuego

- Se prohíbe el uso del fuego en las faenas forestales de los rodales adheridos a esta pauta de manejo.



Figura 7.7 Claro con biomasa residual en que se extraen solamente los árboles con hábito vertical dejando tocones de al menos 30 cm de altura y los troncos horizontales y oblicuos de hasta 1 m de altura para favorecer la regeneración. Dibujo: Nicole Galindo

7.5.2 Hacia un nuevo paradigma de uso de los tepuales

Los tepuales son considerados dentro de los humedales boscosos de agua dulce o bosques pantanosos, los cuales cubren enormes superficies desde zonas tropicales hasta boreales o australes (Bannister et al. 2012; Lugo et al. 1988, Correa-Araneda et al. 2011). Estos ecosistemas forestales tienen un alto valor ecológico y contribuyen significativamente a la productividad

de las áreas en que se ubican debido a una serie de servicios ecosistémicos que proveen a la sociedad (Lugo et al. 1988; Brinson & Malvárez 2002; Correa-Araneda et al. 2011). Específicamente, los tepuales, debido a su alta complejidad estructural y composicional son considerados bosques únicos en el mundo, proveyendo una serie de servicios ecosistémicos de gran importancia para la sociedad. Entre los servicios ecosistémicos más importantes que proveen estos bosques están (Figura 7.8):

- *Regulación de aguas y protección de cuencas hidrográficas:* Bosques como los tepuales son clave para la regulación y protección de las cuencas hidrográficas (Bullock & Acreman 2003). Esto es especialmente relevante en el caso de las islas del Archipiélago de Chiloé, Guaitecas y Chonos.
- *Hábitat para flora y fauna endémica:* Los tepuales representan el hábitat ideal de diversas especies endémicas de flora y fauna (Soto-Azat et al. 2013; Bannister et al. 2017). Además se ubican en uno de los hotspots mundiales de flora no vascular (Rozzi et al. 2009).
- *Carbono:* Un tercio del carbono mundial está captado en turberas y los bosques pantanosos aledaños del hemisferio norte y sur (Shaw et al. 2003).
- *Provisión de leña para calefacción:* Gran parte de la leña que se consume a nivel regional proviene de los tepuales (Neira & Bertín 2009; Neira & Iturriaga 2008).

Como se puede observar, actualmente el paradigma de uso de los tepuales está orientado exclusivamente a uno de estos servicios: provisión de leña para calefacción. Esta situación ha puesto en peligro los otros servicios que estos bosques proveen. Es más, según los resultados de este estudio, tanto el manejo tradicional que se hace de estos bosques, como el manejo basado en el método aquí planteado (generación de claros con biomasa residual), están transformando bosques de enorme complejidad estructural y composicional en bosques coetáneos y de baja complejidad estructural. Además, hasta el momento no existe información sobre el crecimiento de estos bosques, el cual sin duda es extremadamente bajo (< 1 mm por año en diámetro según Cruz & Lara 1981). Esta simplificación de los tepuales a través de su manejo maderero tiene una serie de externalidades negativas que hasta ahora han sido ignoradas por la sociedad. Por ejemplo, se transforma bosques adultos en renovales secundarios de alta densidad que tienen un consumo de agua indudablemente superior a los bosques adultos. Además, el uso actual y propuesto, excluye la provisión de los otros servicios antes expuestos. Por este motivo, más que hablar de "manejo sustentable de tepuales" se debería sincerar los objetivos y hablar de "cosecha controlada" que no está basada en criterios de sustentabilidad. En este contexto, se debería pensar en un cambio de paradigma de uso para estos bosques, así, más que hablar de tepuales para uso maderero se debería hablar de tepuales para provisión de agua, uno de los servicios más demandados por la sociedad chilense actualmente. En este sentido el uso maderero de los bosques de la Región de Los Lagos, y en específico Chiloé,

debiera estar orientado solamente al manejo de los bosques que crecen en sitios productivos, es decir actualmente los renovales secundarios, bosques adultos degradados (rehabilitación productiva) y en el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas. Los bosques adultos primarios, y en general todos los tepuales, se ubican en sitios muy poco productivos y debieran ser destinados a la provisión de los servicios ecosistémicos no madereros.

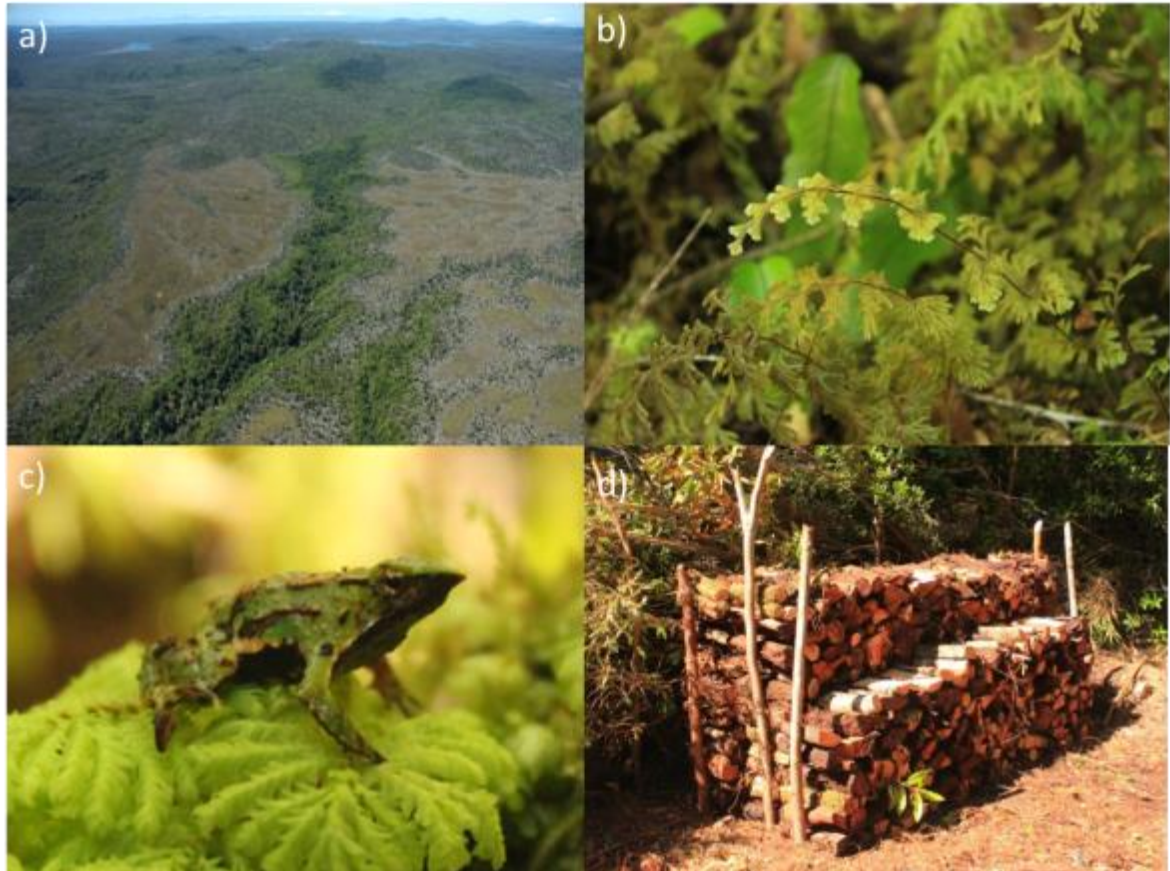


Figura 7.8 Servicios ecosistémicos provenientes de los tepuales. Los bosques pantanosos y turberas (entre ellos los tepuales) son importantes sumideros de carbono (a). Son hábitat importantes para flora y fauna endémica (b,c), y además proveen leña para calefacción (d).

8. Conclusiones

Los bosques pantanosos dominados por tepú en la Isla de Chiloé son bosques Norpatagónicos con una baja influencia antrópica y con una importante riqueza de especies arbóreas la cual es mayor que la presentada por varios bosques pantanosos adultos alrededor del mundo. En estos bosques pantanosos, en los cuales ocurre una dinámica de claros, la compleja estructura existente en ellos influencia los nichos de regeneración de las distintas especies arbóreas que allí coexisten, las cuales prefieren mayoritariamente troncos para germinar y establecerse.

Un método silvicultural basado en alteraciones de pequeña escala (claros) mantiene a nivel de micrositio las condiciones lumínicas necesarias para la regeneración de tepú, incrementando la habilidad de la especie para reorganizarse y adaptarse a las nuevas condiciones post-manejo. Además, la regeneración natural post-cosecha de tepú es afectada positivamente por una mayor biomasa residual retenida. Sin embargo, las intervenciones realizadas no mantienen las condiciones nutritivas del sitio lo que confirma la fragilidad de estos sitios, y la regeneración natural de tepú no se vio afectada negativamente por una mayor luminosidad.

La regeneración natural de tepú, tanto vegetativa como de semilla, es mayor luego de métodos de corta en claros que métodos de tala rasa en fajas alternas (métodos tradicional utilizado). En este sentido, los métodos alternativos en base a claros aseguran una mayor regeneración establecida (>5 cm de altura), una mayor diversidad de especies y por el mismo motivo una mayor complejidad. Sin embargo, es importante señalar que a través de cualquier tipo de intervenciones, ya sean estas tradicionales (cosecha en fajas) o alternativas (por claros) se está simplificando un bosque extremadamente complejo, lo que pone en riesgo la estabilidad del bosque a futuro.

En este contexto, si es que se desea fomentar un uso silvícola adecuado para los bosques dominados por tepú, este se debe basar en una imitación de las alteraciones naturales que ocurren en estos bosques. De esta forma, la silvicultura a usar en estos bosques, debe reconocer la diversidad de especies y estructuras que se encuentran en estos bosques, las cuales son diferentes a lo largo de su distribución, y la relación entre estructura y los nichos de regeneración de las distintas especies que allí coexisten. De esta forma, se debiera fomentar métodos de cobertura continua en base a la creación de claros en vez de talas rasas, y la retención de estructuras (troncos, biomasa), las cuales sirvan de micrositios elevados para la germinación y establecimiento de las distintas especies arbóreas. El costo de aplicación de este método en que se crean claros de 15 m de diámetro y retienen estructuras horizontales en el suelo tiene un costo de \$25.000 pesos/mst y representa una reducción de volumen cosechado por hectárea de un 37 % respecto a las talas rasas tradicionales.

Este trabajo es la primera investigación a fondo sobre la estructura, dinámica regenerativa y manejo de tepuales. Este trabajo representa un primer avance en el conocimiento ecológico de este tipo de bosques pantanosos, únicos en el mundo, que se encuentran bajo una gran presión de uso y cuya sostenibilidad a futuro se encuentra amenazada. Se requiere con urgencia mayor investigación sobre la sustentabilidad de este recurso forestal que es clave para la sostenibilidad de la vida en la región Patagónica Norte.

BIBLIOGRAFÍA

- Armesto JJ, Manuschevich D, Mora A, Smith-Ramirez C, Rozzi R, Abarzúa AM, Marquet PA. 2010. From the holocene to the anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy* 27: 148–160.
- Armesto JJ & Figueroa J. 1987. Stand structure and dynamics in the temperate rain forests of Chiloe Archipelago, Chile. *Journal of Biogeography* 14: 367–376.
- Bailey R. & Dell TR. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19: 97–104.
- Bannister JR & Pyttel P. 2010. Silvicultura cercana a lo natural (SCN): ¿Una nueva visión para el sector forestal chileno? *Bosque Nativo* 46: 26–34.
- Bannister J. 2012. Dynamics and restoration of *Pilgerodendron uviferum* forests on Chiloé Island, North Patagonia, Chile. Freiburg, Alemania: Albert-Ludwig Universität Freiburg.
- Bannister JR, Donoso PJ, Bauhus J. 2012. Persistence of the slow growing conifer *Pilgerodendron uviferum* in old-growth and fire-disturbed southern bog forests. *Ecosystems* 15: 1158-1172.
- Bannister JR, Vidal OJ, Teneb E, Sandoval V. 2012b. Latitudinal patterns and regionalization of plant diversity along a 4270-km gradient in continental Chile. *Austral Ecology* 37: 500-509.
- Bannister JR. & Donoso PJ. 2013. Forest typification to characterize the structure and composition of old-growth evergreen forests on Chiloe Island, North Patagonia (Chile). *Forests* 4: 1087–1105.
- Bannister JR, Coopman R, Donoso PJ, Bauhus J. 2013. The importance of microtopography and nurse canopy for successful restoration planting of the slow-growing conifer *Pilgerodendron uviferum*. *Forests* 4: 85–103.
- Bannister JR. 2015. Recuperar bosques no es solo plantar árboles: lecciones aprendidas luego de 7 años restaurando bosques de *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin en Chiloé. *Anales del Instituto de la Patagonia* 43: 35–51.
- Bannister JR; K Kremer, N Carrasco-Farias, N Galindo. 2017. Importance of structure for species richness and tree species regeneration niches in old-growth Patagonian swamp forests. *Forest Ecology and Management* 401: 33-44.
- Bauhus J, Puettmann K & Kühne C. 2013. Close to nature forest management in Europe: Does it support complexity and adaptability of forest ecosystems? En: *Managing forests as complex adaptive systems:*

- Building resilience to the challenge of global change. New York USA: Routledge Chapman & Hall, pp. 187–213.
- Bauhus J, Puettmann K & Messier C. 2009. Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management* 258: 525–537.
- Bond WJ. 1989. The tortoise and the hare: ecology of angiosperm dominance and gymnosperm persistence. *Biological Journal of the Linnean Society* 36: 227–249.
- Brinson MM. & Malvárez AI. 2002. Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environmental Conservation* 2: 115–133.
- Bullock, A., Acreman, M., 2003. The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 7: 358–389.
- Burns BR. 1993. Fire-induced dynamics of *Araucaria araucana-Nothofagus antarctica* forests in the Southern Andes. *Journal of Biogeography* 20: 669–685.
- Christie DA & Armesto JJ. 2003. Regeneration microsites and tree species coexistence in temperate rain forests of Chiloe Island, Chile. *Journal of Ecology* 91: 776–784.
- CIREN (Centro de Investigación de Recursos Naturales). 2003. Descripciones de suelo y materiales y símbolos. Estudio agrologico de la X Región. Santiago, Chile. Documento N° 123. 379 p.
- CONAF, CONAMA, UACH, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Temuco 1999. Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales. Santiago, Chile.
- CONAF 2016. Superficies catastros usos de suelos y recursos vegetacionales, Enero 2016. Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales. Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile.
- Coomes, D.A. et al., 2005. The hare, the tortoise and the crocodile: The ecology of angiosperm dominance, conifer persistence and fern filtering. *Journal of Ecology* 93: 918–935.
- Correa-Araneda F, Urrutia J. & Figueroa R. 2011. Estado del conocimiento y principales amenazas de los humedales boscosos de agua dulce de Chile. *Revista chilena de historia natural* 84: 325–340.
- Cruz G & Lara A. 1981. Tipificación, cambio de estructura y normas de manejo para Ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum* D. Don Florin) en la isla Grande de Chiloé. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Di Castri F. & Hajek E. 1976. Bioclimatología de Chile, Santiago, Chile: Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile.
- Díaz M & Armesto JJ. 2007. Limitantes físicos y bióticos de la regeneración arbórea en matorrales sucesionales de la Isla Grande de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 13–26.

- Dinno A. 2015. Comparaciones no paramétricas de múltiples pares en grupos independientes usando prueba de Dunn. *Stata Journal* 15:292-300.
- Donoso C. 2006. *Tepualia stipularis* (Hook et Arn.) Griseb. En: Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina, Autoecología. Valdivia, Chile: Marisa Cuneo, pp. 591–592.
- Donoso C. 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. CONAF/PNUD/FAO, Chile: FAO.
- Donoso C & Lara A. 1999. Silvicultura de los bosques nativos de Chile 1era edición., Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Donoso C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina: variación, estructura y dinámica., Santiago, Chile: Universitaria.
- Donoso C, Grez R & Escobar B. 1984. Estructura y dinámica de bosques del tipo forestal siempreverde en un sector de Chiloé Insular. *Bosque* 5: 82–104.
- Donoso PJ, Soto DP & Bertín RA. 2007. Size–density relationships in *Drimys winteri* secondary forests of the Chiloe Island, Chile: Effects of physiography and species composition. *Forest Ecology and Management* 239: 120–127.
- Duberstein, J.A., Conner, W.H., 2009. Use of hummocks and hollows by trees in tidal freshwater forested wetlands along the Savannah River. *Forest Ecology and Management* 258: 1613–1618.
- Echeverria C, Coomes DA, Hall M, Newton AC. 2008. Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modelling* 212: 439–449.
- Figueroa J, Armesto JJ & Hernandez JF. 1996. Estrategias de germinación y latencia de semillas en especies del bosque templado de Chiloé, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 69: 243–251.
- Figueroa JA & Lusk CH. 2001. Germination requirements and seedling shade tolerance are not correlated in a Chilean temperate rain forest. *New Phytologist* 152: 483–489.
- Gamborg C & Larsen JB. 2003. Back to nature: a sustainable future for forestry? *Forest Ecology and Management* 179: 559–571.
- Gutiérrez AG, Armesto JJ, Aravena JC. 2004. Disturbance and regeneration dynamics of an old-growth North Patagonian rain forest in Chiloé Island, Chile. *Journal of Ecology* 92: 598–608.
- Gutiérrez AG, Armesto JJ, Aravena JC, Carmona M, Carrasco NV, Christie DA, Peña MP, Pérez C, Huth A. 2009. Structural and environmental characterization of old-growth temperate rainforests of northern Chiloé Island, Chile: Regional and global relevance. *Forest Ecology and Management* 258: 376–388.

- Hatzfeldt H. 1996. *Ökologische Waldwirtschaft: Grundlagen-Aspekte-Beispiele*, Heidelberg: C.F. Müller Verlag.
- Holling CS. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* 4: 390–405.
- Holz A & Veblen TT. 2009. *Pilgerodendron uviferum*: The southernmost tree-ring fire recorder species. *Ecoscience* 16: 322–329.
- Instituto Nacional de Estadísticas, 2012. Resultados preliminares censo de población y vivienda 2012.
- Jones MD, Durall DM & Cairney JWG. 2003. Ectomycorrhizal fungal communities in young forest stands regenerating after clearcut logging. *New Phytologist* 157: 399–422.
- Koponen P. et al. 2004. Tree species diversity and forest structure in relation to microtopography in a tropical freshwater swamp forest in French Guiana. *Plant Ecology* 173: 17–32.
- Kreft H. & Jetz W. 2010. A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. *Journal of Biogeography* 37: 2029–2053.
- Lara A, Amoroso A, Bannister JR, Donoso C, Gonzalez M, Vargas R, Smith-Ramirez C, Arellano G, Gutiérrez AG. 2014. Sucesión y dinámica de bosques templados en Chile, en: *Ecología Forestal: Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*. Ediciones UACH, Valdivia, Chile, pp. 323–411.
- Lugo AE, Brown S. & Brinson MM. 1988. Forested wetlands in freshwater and salt-water environments. *Limnology and Oceanography* 33: 894–909.
- Lumley S. & Switsur R. 1993. Late quaternary chronology of the Taitao Peninsula, southern Chile. *Journal of Quaternary Science* 8: 161–165.
- Matthew K. & Wobbrock JO. 2016. *ARTool: Aligned Rank Transform for Nonparametric Factorial ANOVAs*. <https://github.com/mjskay/ARTool>
- Messier CH, Puettmann KJ & Coates KD. 2013. *Managing forests as complex adaptive Systems: Building resilience to the Challenge of Global Change*, Routledge Chapman & Hall.
- Neira E & Bertín RA. 2009. Hábitos del uso de la leña en Castro, Isla de Chiloé. *Bosque Nativo* 45: 3–8.
- Neira E. & Iturriaga C. 2008. Utilización residencial de leña como combustible en la ciudad de Puerto Montt. *Bosque Nativo* 43: 3–8.
- Parent S. & Messier C. 1996. A simple and efficient method to estimate microsite light availability under a forest canopy. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 151–154.
- Parish R. & Antos JA. 2006. Slow growth, long-lived trees, and minimal disturbance characterize the dynamics of an ancient, montane forest in

- coastal British Columbia. Canadian Journal of Forest Research 36: 2826–2838.
- Pérez, C.A. et al., 2008. Litterfall dynamics and nitrogen use efficiency in two evergreen temperate rainforests of southern Chile. Austral Ecology, 28: 591–600.
- Poffet L. 2007. Bosque nativo y pequeño propietario Mapuche Huilliche Chiloé Chile. Informe de Práctica. Instituto de París de Tecnología para las Ciencias de la Vida, Alimentación y Medioambiente. Paris, Francia. 62 p.
- Puettmann K, Messier CH & Coates KD. 2013. Managing forests as complex adaptive systems: Introductory concepts and applications. En: Managing Forests as Complex Adaptive Systems: Building Resilience to the Challenge of Global Change. Routledge Chapman & Hall, pp. 3–16.
- Quiroga E. 2016. Nichos de regeneración en bosques de *Tepualia stipularis* luego de intervenciones silviculturales en la provincia de Chiloé. Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile.
- Ramos-Jiliberto R, Albornoz AA, Valdovinos FS, Smith-Ramírez C, Arim M, Armesto JJ, Marquet PA. 2009. A Network Analysis of Plant-Pollinator Interactions in Temperate Rain Forests of Chiloé Island, Chile. Oecologia 160: 697–706.
- Röhrig E, Bartsch N. & Von Lüpke B. 2006. Waldbau auf ökologischer Grundlage 7 Auflage., Stuttgart, Alemania: Eugen Ulmer KG.
- Rozzi R, Armesto JJ, Goffinet B, Buck W, Massardo F, Silander J, Arroyo MT, Russell S, Anderson CB, Cavieres LA, Callicott JB. 2008. Changing lenses to assess biodiversity: Patterns of species richness in sub-antarctic plants and implications for global conservation. Frontiers in Ecology and the Environment 6:131–137.
- Sadzawka, R. et al., 2006. Métodos de análisis de suelos recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006, Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Sanzana J. 2012. Silvicultura en bosques dominados principalmente por tepú (*Tepualia stipularis*). Bosque Nativo 51: 25–29.
- Schütz JPh, Pukkala T, Donoso P & Gadow K. 2012. Historical emergence and current application of CCF. En: Continuous Cover Forestry, Managing Forest Ecosystems. Springer. pp.1-28.
- Shaw AJ, Cox CJ. & Boles SB. 2003. Global patterns in peatmoss biodiversity. Molecular Ecology 12: 2553–2570.
- Sherman RE, Fahey TJ. & Battles JJ. 2000. Small-scale disturbance and regeneration dynamics in a neotropical mangrove forest. Journal of Ecology 88: 165–178.
- Schlatter J, R Grez, V Gerding. 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 114 p.

- Siebert H. 1999. La silvicultura alternativa: un concepto silvícola para el bosque nativo chileno. En: Santiago, Chile: Editorial Universitaria, pp. 381–407.
- Smith-Ramírez C, Armesto JJ. & Figueroa J. 1998. Flowering, fruiting and seed germination in Chilean rain forest myrtaceae: ecological and phylogenetic constraints. *Plant Ecology* 136: 119–131.
- Sokal, R. & Rohlf, F.J., 1995. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*, W.H. Freeman and Company.
- Soto-Azad C, Valenzuela-Sánchez A, Collen B, Rowcliffe JM, Veloso A & Cunningham AA. 2013a. The population decline and extinction of Darwin's frogs. *PLoS ONE* 8:e66957.
- Stewart GH & Veblen TT. 1982. Regeneration patterns in southern rata (*Metrosideros umbellata*) — kamahi (*Weinmannia racemosa*) forest in central Westland, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 20: 55–72.
- Szeicz JM, Haberle SG. & Bennett KD. 2003. Dynamics of North Patagonian rainforests from fine-resolution pollen, charcoal and tree-ring analysis, Chonos Archipelago, Southern Chile. *Austral Ecology* 28: 413–422.
- Ther-Ríos, F. Prácticas cotidianas e imaginarios en sociedades litorales. El sector de Cucao, Isla Grande de Chiloé. *Revista de Antropología de Chile* 40: 67–80.
- Veblen TT & Stewart GH. 1980. Comparison of forest structure and regeneration on Bench and Stewart Islands, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology* 3: 50–68.
- Vivian-Smith G. 1997. Microtopographic Heterogeneity and Floristic Diversity in Experimental Wetland Communities. *Journal of Ecology* 85: 71–82.
- Zarin DJ, Johnson AH & Thomas SM. 1998. Soil organic carbon and nutrient status in old-growth montane coniferous forest watersheds, Isla Chiloé, Chile. *Plant and Soil* 201: 251–258.
- Zuloaga F, Morrone O & Belgrano M. 2008. Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur. *Monographs in Systematic Botany* 107. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.

ANEXOS

Anexo 1. Frecuencias relativas (%) por especie y por forma de vida para cada sector de estudio y para el área de estudio completa. Tamaño muestral: 5m² por 30 parcelas por sector.

Forma de Vida	Especie	Abreviación	Iníó	Butalcura	Total
Arbóreas	<i>Aextoxicom punctatum</i>	Ap	3,3	0,0	1,7
	<i>Amomyrtus luma</i>	Al	100,0	100,0	100,0
	<i>Amomyrtus meli</i>	Am	56,7	3,3	30,0
	<i>Caldcluvia paniculata</i>	Cp	96,7	96,7	96,7
	<i>Crinodendron hookerianum</i>	Ch	0,0	3,3	1,7
	<i>Drimys winteri</i>	Dw	100,0	100,0	100,0
	<i>Embothrium coccineum</i>	Ec	30,0	0,0	15,0
	<i>Eucryphia cordifolia</i>	Euc	0,0	30,0	15,0
	<i>Gevuina avellana</i>	Ga	20,0	66,7	43,3
	<i>Laureliopsis philippiana</i>	Lp	23,3	3,3	13,3
	<i>Lomatia ferruginea</i>	Lf	33,3	0,0	16,7
	<i>Luma apiculata</i>	La	20,0	0,0	10,0
	<i>Myrceugenia exsucca</i>	Me	23,3	0,0	11,7
	<i>Myrceugenia parviflora</i>	Mp	0,0	63,3	31,7
	<i>Nothofagus nitida</i>	Nn	80,0	90,0	85,0
	<i>Podocarpus nubigena</i>	Pn	40,0	46,7	43,3
	<i>Tepualia stipularis</i>	Ts	86,7	100,0	93,3
	<i>Weinmannia trichosperma</i>	Wt	26,7	53,3	40,0
	Arbustivas	<i>Campsidium valdivianum</i>	CaVa	0,0	66,7
<i>Chusquea quila</i>		ChQu	6,7	66,7	36,7
<i>Gaultheria insana</i>		GaIn	26,7	40,0	33,3
<i>Gaultheria phillyreifolia</i>		GaPh	0,0	13,3	6,7
<i>Griselinia racemosa</i>		GrRa	93,3	93,3	93,3
<i>Mitraria coccinea</i>		MiCo	70,0	10,0	40,0
<i>Myrceugenia planipes</i>		MYPI	0,0	3,3	1,7
<i>Myrteola nummularia</i>		MyNu	3,3	0,0	1,7
<i>Phylesia magellanica</i>		PhMa	23,3	0,0	11,7
Subarbustivas	<i>Asteranthera ovata</i>	AsOv	0,0	23,3	11,7
	<i>Blechnum magellanicum</i>	BIMa	6,7	16,7	11,7
	<i>Raukaua laetevirens</i>	RaLa	76,7	76,7	76,7
	<i>Sarmienta scandens</i>	SaSc	43,3	0,0	21,7
Herbáceas, perenes y helechos	<i>Asplenium dareoides</i>	AsDa	16,7	3,3	10,0
	<i>Carex sp</i>	CaSp	0,0	36,7	18,3
	<i>Fascicularia bicolor</i>	FaBi	16,7	0,0	8,3
	<i>Greigia landbeckii</i>	GrLa	23,3	0,0	11,7

<i>Hymenoglossum cruentum</i>	HyCr	73,3	30,0	51,7
<i>Hymenophyllum caudiculatum</i>	HyCa	100,0	16,7	58,3
<i>Hymenophyllum cuneatum</i>	HyCu	56,7	93,3	75,0
<i>Hymenophyllum dentatum</i>	HyDe	33,3	53,3	43,3
<i>Hymenophyllum dicranotrichum</i>	HyDi	96,7	100,0	98,3
<i>Hymenophyllum ferrugineum</i>	HyFe	40,0	13,3	26,7
<i>Hymenophyllum krauseanum</i>	HyKr	20,0	13,3	16,7
<i>Hymenophyllum pectinatum</i>	HyPe	60,0	100,0	80,0
<i>Hymenophyllum peltatum</i>	HyPe	6,7	10,0	8,3
<i>Hymenophyllum plicatum</i>	HyPl	43,3	33,3	38,3
<i>Hymenophyllum secundum</i>	HySec	16,7	100,0	58,3
<i>Hymenophyllum seselifolium</i>	Hy Ses	10,0	3,3	6,7
<i>Hymenophyllum tortuosum</i>	HyTo	0,0	30,0	15,0
<i>Luzuriaga polyphylla</i>	LuPo	100,0	100,0	100,0
<i>Nertera granadensis</i>	NeGr	10,0	0,0	5,0
<i>Serpyllopsis caespitosa</i>	SeCa	6,7	83,3	45,0
Musgos		100,0	100,0	100,0
Hepáticas		3,3	0,0	1,7
Líquenes		66,7	73,3	70,0