



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA**  
**NATURALEZA**

---

**EFECTO DE LA CORTA DE PROTECCIÓN EN FAJAS SOBRE**  
**PATRONES DE PLANTAS DE REGENERACIÓN EN UN BOSQUE**  
**DEL TIPO FORESTAL ROBLE, RAULÍ Y COIHUE EN LA REGIÓN**  
**DEL BIOBÍO**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**VICTORIA BERNARDITA PULIDO GONZÁLEZ**

Profesor Guía: Sr. Álvaro Promis Baeza. Ingeniero Forestal,

Doctor en Recursos Naturales

---

**Santiago, Chile**

**2018**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA**  
**NATURALEZA**

---

**EFFECTO DE LA CORTA DE PROTECCIÓN EN FAJAS SOBRE**  
**PATRONES DE PLANTAS DE REGENERACIÓN EN UN BOSQUE**  
**DEL TIPO FORESTAL ROBLE, RAULÍ Y COIHUE EN LA REGIÓN**  
**DEL BIOBÍO**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Forestal

**VICTORIA BERNARDITA PULIDO GONZÁLEZ**

Calificaciones:	Nota	Firma
Profesor Guía: Dr. Álvaro Promis Baeza	5,5	.....
Profesor consejero: Sr. Patricio Corvalán	6,5	.....
Profesor consejero: Sr. Antonio Vita	7,0	.....

## DEDICATORIA

*A mi padre Hugo,  
a mi madre Bernardita,  
a mi hermano Hugo,  
que en este viaje son  
mi paracaídas.*

## AGRADECIMIENTOS

De una manera muy especial le doy las gracias a mi Padre que fue el responsable que eligiera esta carrera, por transmitirme todo su conocimiento y vocación por el bosque nativo. Le doy las gracias a mi Madre por apoyarme en todo momento, por su infinito cariño, amor, consejos y paciencia. Le doy las gracias a mi hermano, por ser mi partner y mi amigo, por sopórtame en estos años universitarios.

A Ema Pantoja, Gladys Chávez y René Vidal y a mi familia (tías y primos) por ser parte de mi vida, brindarme consejos, alegrías y buenos momentos.

A la Sra. Elna Von Harpe, por compartir siempre su conocimiento, buenos deseos y por permitirme realizar esta memoria en Bosque Nativo Elnahue, lugar al cual le tengo mucho cariño.

Agradezco a mi profesor guía Álvaro Promis, por su disposición a ayudarme a realizar este proyecto, por sus consejos y conocimiento. Como también a mis profesores consejeros Patricio Corvalán y Don Antonio Vita, por lo aportes de conocimiento brindados.

Doy las gracias a mi familia adoptada, mis amigos, que ingresaron a mi vida durante este proceso, a los que les tengo un cariño muy grande, María José Román, Constanza Quiroga, Catalina Cifuentes, Paula Correa, Ariel Petit-Breuilh, Sebastián Galaz, Magda Orell y Natalia Álvarez por todo su apoyo, confianzas, risas y recuerdos hermosos.

Agradezco a María José Gatica, por estar conmigo en todas mis aventuras desde primer año, por todos los buenos momentos que hemos compartido, espero que sean más, y que alcances todas tus metas. A Carolain Badaracco por apoyarme, aconsejarme siempre y darme ánimos en esta etapa final

Y a todos los que colaboraron de alguna forma a la realización de esta memoria, entre ellos, Danira Pineida, Sofía Olivares, Daniela Mardones y Cristina Aravena.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Págs.

## RESUMEN

## ABSTRACT

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes generales .....	1
1.2 Silvicultura en el tipo forestal.....	1
1.3 Método de Protección en Faja .....	2
1.4 Regeneración natural en el tipo forestal .....	2
1.5 Variación de radiación solar e influencia en el proceso de regeneración arbórea... 3	
1.6 Ecofisiología de las especies <i>N. obliqua</i> , <i>N. alpina</i> y <i>N. dombeyi</i> .....	3
<b>2. MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Material .....	5
2.1.1 Área de Estudio .....	5
2.1.2 Clima .....	5
2.1.3 Suelo.....	5
2.1.4 Vegetación.....	6
2.1.5 Estructura del bosque .....	6
2.1.6 Cortas de Protección.....	6
2.2 Método.....	7
2.2.1 Diseño del muestreo .....	7
2.2.2 Fotografía hemisférica y estimación de radiación solar .....	9
2.2.3 Caracterización de la regeneración.....	11
2.2.4 Análisis estadístico .....	12
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
3.1 Caracterización del ambiente lumínico .....	14
3.1.1 Comportamiento de la radiación solar a lo largo de las fajas e interfajas .....	14
3.1.2 Transmisión de radiación solar en fajas e interfajas.....	15
3.2 Desarrollo de plantas de regeneración.....	17
3.2.1 Regeneración por semillas.....	17
3.2.2 Regeneración vegetativa.....	22
3.3 Influencia de la radiación solar sobre los patrones de regeneración de <i>N. obliqua</i> , <i>N. alpina</i> y <i>N. dombeyi</i> en faja – interfaja.....	26
<b>4. DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
4.1 Ambiente lumínico en el interior de las fajas – interfajas .....	30
4.2 Plantas de regeneración establecidas en las fajas e interfajas respecto a densidad, diámetro, altura, especie y tipo de regeneración .....	30
4.3 Influencia del aumento de radiación solar sobre los patrones el patrón de crecimiento.....	31
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>40</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Págs.
Cuadro 1: Valores dasométricos medios de las especies <i>N. obliqua</i> , <i>N. alpina</i> y <i>N. dombeyi</i> presentes en el área de estudio antes de la intervención silvícola de cortas de regeneración en fajas. ....	6
Cuadro 2: Valores descriptivos de densidad (pl/m <sup>2</sup> ) para regeneración proveniente de semillas en las diferentes posiciones. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, $p > 0,05$ ). ....	17
Cuadro 3: Porcentaje total de plantas encontradas en dos condiciones de micrositio, para las especies <i>N. obliqua</i> , <i>N. alpina</i> y <i>N. dombeyi</i> . ....	18
Cuadro 4: Valores descriptivos de densidad (pl/m <sup>2</sup> ) de regeneración de otras especies arbóreas para las diferentes posiciones estudiadas. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, $p > 0,05$ ). ....	19
Cuadro 5: Altura promedio (cm) de las plantas de regeneración para las diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, $p > 0,05$ ). ....	20
Cuadro 6: Diámetro a la altura del cuello promedio (DAC; mm) para plantas de regeneración en diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, $p > 0,05$ ). ....	21
Cuadro 7: Crecimiento en altura relativo de las plantas de regeneración en diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, $p > 0,05$ ). ....	22
Cuadro 8: Valores descriptivos de densidad (pl/m <sup>2</sup> ) de regeneración vegetativa para diferentes posiciones. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, $p > 0,05$ ). ....	23
Cuadro 9: Valores descriptivos de densidad (pl/m <sup>2</sup> ) de regeneración vegetativa para otras especies arbóreas para las diferentes posiciones estudiadas. Letras idénticas indican que no	

existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ). 24

Cuadro 10: Altura promedio (cm) de las plantas de regeneración para las diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ). ..... 24

Cuadro 11: Diámetro a la altura del cuello promedio (DAC; mm) para plantas de regeneración en diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ). ..... 25

Cuadro 12: Crecimiento en altura relativo de las plantas de regeneración en diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ). ..... 26

Cuadro 13: Coeficiente de correlación de Spearman entre la densidad ( $\text{pl}/\text{m}^2$ ) y la transmisión de radiación solar directa, difusa y global. .... 27

Cuadro 14: Coeficiente de correlación de Spearman entre el crecimiento relativo en altura de la planta más alta por parcela y la transmisión de radiación solar directa, difusa y global. .... 28

Cuadro 15: Coeficiente de correlación de Spearman entre el crecimiento en altura relativo promedio por parcela y la transmisión de radiación solar directa, difusa y global. (\*) correlación significativa a  $P < 0,05$ ..... 28

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1: Ubicación del área estudio; Región del Biobío, Provincia de Ñuble, Comuna de Coihueco. ....	5
Figura 2: Visualización de las fajas establecidas entre 2014 y 2015 en bosque Ro-Ra-Co. La línea amarilla corresponde a los límites del predio Pierna Blanca. ....	7
Figura 3: Esquema representativo del posible cambio en la transmisión solar al interior de fajas de corta de regeneración. Zonas oscuras corresponden a sombra, zonas blancas a mayor radiación solar (Modificado de Marquis, 1965). ....	8
Figura 4: Transecto a lo largo de la faja-interfaja, donde se ubicaron las parcelas de muestreo. Cada una de las hileras de cinco parcelas representa una posición distinta: Interfaja (I), Borde oeste (Bo), Centro (C) y Borde este (Be).....	9
Figura 5: Fotografías hemisféricas capturadas en la posición de interfaja (izquierda) y en la posición de faja (derecha). ....	10
Figura 6: Visualización de los instrumentos empleados, montaje y nivelación de cámara fotográfica con lente hemisférico.....	10
Figura 7: Fotografías hemisféricas después de la asignación del umbral automático, con el programa SideLook.....	11
Figura 8: Izquierda planta de regeneración de <i>N. alpina</i> proveniente de semilla, derecha planta <i>D. winteri</i> proveniente de regeneración vegetativa.....	12
Figura 9: Diagrama que representa la distribución de radiación solar difusa (%) en el interior de la faja – interfaja. La posición de cada parcela en el diagrama representa la ubicación en donde se tomaron los datos, las parcelas superiores e inferiores se posicionaron en la zona donde termina el dosel arbóreo y empieza la faja. Los rangos presentados corresponden a los cuartiles de los datos obtenidos, para cada una de las posiciones.....	14
Figura 10: Diagramas de cajas y bigotes con prueba de Tukey para la distribución de: a) radiación solar directa (%), b) radiación solar difusa (%) y c) radiación solar global (%) en faja-interfaja. Las cajas muestran el rango intercuartílico, valores extremos (*), al interior la mediana (-) y la media (●). Las cajas se extienden a los máximos y mínimos. Las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre las posiciones (ANOVA y posterior prueba de comparaciones de Tukey; $p < 0,05$ ). ....	16
Figura 11: Representación del patrón de distribución de la densidad de plantas de regeneración de <i>N. obliqua</i> , <i>N. alpina</i> y <i>N. dombeyi</i> respecto a los porcentajes (en cuartiles) de radiación solar difusa incidente de las distintas posiciones en faja – interfaja. La posición de cada parcela en el diagrama representa la ubicación en donde se tomaron los datos, las	

parcelas superiores e inferiores se posicionaron en la zona donde termina el dosel arbóreo y empieza la faja..... 27

Figura 12: Relación entre crecimiento en altura relativo promedio por parcela y la radiación solar global de *N. dombeyi*. La línea punteada representa la regresión logarítmica entre ambas variables. .... 29

## RESUMEN

Algunos tratamientos silviculturales intentan imitar procesos de sucesión influidos por la acción de disturbios. Uno de los mayores cambios que se provoca, después de la remoción de dosel arbóreo, es el incremento de la luz en el piso del bosque. *Nothofagus obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi* son especies de comportamiento colonizador, aun así, las plantas de regeneración pueden responder de diferente forma a las nuevas condiciones creadas.

Durante los años 2014 – 2015 se realizaron cortas de regeneración en faja en un bosque de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi* en la región del Biobío. Con el objetivo de analizar el efecto de la intervención sobre los patrones de regeneración de las especies *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*, después de dos años de realizada la intervención se seleccionaron cuatro fajas y cuatro zonas de interfaja, con un ancho de 20 m y 40 m respectivamente. En cada faja se establecieron tres transectos con cinco parcelas de 4 m<sup>2</sup>, al mismo tiempo en las interfajas se estableció un transecto de cinco parcelas de 4 m<sup>2</sup>. En total se instalaron 60 parcelas en fajas y 20 parcelas en interfajas. Sobre cada una de las parcelas se tomaron fotografías hemisféricas para estimar la transmisión de radiación solar. Se contaron todas las plantas de regeneración arbórea encontradas en las parcelas y se les midió el diámetro de la altura del cuello, la altura y el crecimiento del último periodo vegetativo. Además, se describió del sustrato en que se encontraban creciendo (hojarasca o suelo mineral). Para analizar la respuesta de las plantas de regeneración al incremento de la radiación solar se correlacionó esta variable con la densidad, con el crecimiento relativo en altura de la planta más alta por parcela y con el crecimiento relativo en altura promedio por parcela.

La transmisión de radiación solar en la faja aumenta entre un 25 y 30% en promedio con respecto a la radiación solar que incide en el piso del bosque bajo el dosel arbóreo. La remoción de dosel arbóreo permitió la ocupación del espacio por las plantas de regeneración de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*, en conjunto de las especies *Gevuina avellana*, *Drimys winteri*, *Podocarpus saligna* y *Lomatia dentata*, que aprovechan las nuevas condiciones de sitio. El crecimiento en altura de *N. dombeyi* se ve beneficiado por el aumento de radiación solar global. En cambio, las plantas de regeneración de *N. alpina* y *N. obliqua* no mostraron relación con la radiación solar.

La corta de regeneración en fajas de 20 m de ancho favorece el aumento de radiación solar en el piso del bosque, permitiendo el establecimiento de las tres especies en estudio. Este método silvicultural puede presentarse como una alternativa de manejo para bosques adultos del tipo forestal Roble, Raulí y Coihue. No obstante, habría que continuar monitoreando el comportamiento de las plantas de regeneración de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi* a lo largo de los años, incluyendo variables microclimáticas y de suelo.

**Palabras clave:** *Nothofagus obliqua*, *Nothofagus alpina*, *Nothofagus dombeyi*, corta de regeneración, patrones de regeneración, transmisión radiación solar, Región del BioBío.

## ABSTRACT

Some silvicultural treatments try to emulate succession processes, which are influenced by disturbance. One of the major changes that they cause, besides the release of forest canopy, is the increase of light to the forest floor. *Nothofagus obliqua*, *N. alpina* and *N. dombeyi* are pioneer species, however, seedlings can respond differently to new conditions.

During 2014 – 2015 a strip shelterwood cutting was developed in a forest of *N. obliqua*, *N. alpina* and *N. dombeyi* in the Biobio region. The objective of this research was to analyze the effect of the intervention on regeneration patterns of *N. obliqua*, *N. alpina* and *N. dombeyi*, after two years of the intervention. Four strips (20 m) and four uncut strips (40 m) were selected. In each strip three transects were established, where five plots of 4 m<sup>2</sup> were systematically distributed. At the same time in each uncut strip one transect was established, where five plots of 4 m<sup>2</sup> were established. A total of 60 plots in strips and 20 plots in uncut strips were established. On each plot hemispherical photographs were taken to estimate solar transmittances to the forest floor. In each plot, all tree seedlings were counted and root collar diameter, height and length growth during the last growing season were measured. The substrate, where seedlings were established, was characterized (litterfall or mineral soil). To analyze the response of seedlings to the increase in solar radiation transmittance, this variable was correlated with density, relative growth in height of the highest plant per plot and the averaged relative growth in height per plot.

The transmission of solar radiation in the strip was higher than which was estimated below canopy (uncut strips), by an average of 25 - 30%. The strips not only promoted the establishment of *N. obliqua*, *N. alpina* and *N. dombeyi* seedlings, but also seedlings of *Gevuina avellana*, *Drimys winteri*, *Podocarpus saligna* and *Lomatia dentata* were favored by the new site conditions. The relative height growth of *N. dombeyi* was positively affected by the transmission of global solar radiation, however seedlings of *N. alpina* and *N. obliqua* were not affected.

Shelterwood strip cuttings (20 m width) increased solar radiation transmittances to the forest floor, enhancing the establishment of the three *Nothofagus* species. This silvicultural treatment can be considered as an alternative treatment to manage mature forests of the forest type Roble, Raulí and Coihue. However, the response of *N. obliqua*, *N. alpina* and *N. dombeyi* seedlings should be monitored over years.

**Key words:** *Nothofagus obliqua*, *Nothofagus alpina*, *Nothofagus dombeyi*, shelterwood, regeneration patterns, solar radiation transmittances, Biobio Region.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes generales

Por definición, el tipo forestal roble – raulí – coihue (Ro-Ra-Co) engloba los bosques que se encuentran representados por cualquiera de las especies *Nothofagus obliqua* (roble), *N. alpina* (raulí) o *N. dombeyi* (coihue) o una combinación de ellas, en donde más del 50% de los individuos pertenecientes a las especies nombradas tengan un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a los 10 cm por ha. Este tipo forestal se desarrolla entre las latitudes 36°30' S y el 40°30' S, a una altitud variable entre los 100 y 1.000 m.s.n.m, particularmente en las laderas interiores y valles de ambas cordilleras. A medida que se avanza hacia el sur, los bosques de este tipo se desarrollan a menor altitud (Donoso, 1981).

A nivel nacional existen 1.468.476 ha de este tipo forestal, de las cuales el 4,5% está representado en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas por el Estado (SNASPE). Desde el punto de vista de desarrollo, el bosque del tipo forestal se encuentra caracterizado por 87% de renoval y 12% de bosque adulto (CONAF, 2011).

## 1.2 Silvicultura en el tipo forestal

La primera aplicación conocida de manejo silvicultural en un rodal del tipo forestal Ro-Ra-Co fue realizada por Rocuant el año 1969, con el objetivo de optimizar el crecimiento en renovales de *Nothofagus* (Del Fierro, 1998; Morales, 2003). A partir de ese entonces y debido a la estructura típica de estos bosques (renoval y bosques secundarios), la mayoría de las experiencias silvícolas se ha concentrado en renovales (Del Fierro, 1998). En general, los tratamientos silviculturales corresponden a raleos donde se ha potenciado principalmente el crecimiento volumétrico de los individuos y no la regeneración natural del mismo. Hasta la fecha existe un escaso nivel de investigaciones sobre tratamientos silviculturales en bosque adulto, dirigidos principalmente al establecimiento de regeneración natural.

Según la legislación de Chile, los tratamientos silviculturales que favorecen la regeneración en bosque adulto del tipo forestal Ro-Ra-Co son: corta a tala rasa, método del árbol semillero, corta de protección y la corta selectiva (MINIAGRI, 1980). Se ha indicado que el resultado de una intervención silvícola, de algún método de regeneración depende no tanto del método a utilizar, sino de cómo se aplica correctamente y qué debiera considerar las relaciones ambientales y la dinámica de crecimiento de las especies (Quiroz *et al.*, 2010a). En general, después de la aplicación de alguno de estos tratamientos silviculturales en la precordillera de la Región del Biobío y la Araucanía, se registraron entre los años 1975 – 2009, los siguientes valores en densidad de plantas de regeneración: corta de protección 23.611 plantas/ha (23.028 vegetativas y 583 de semilla); corta selectiva 282.500 plantas/ha (13.030 vegetativa y 269.470 de semillas); árbol semillero 0 plantas/ ha; tala tasa en fajas 20.139 plantas/ha (20.139 vegetativas y 0 de semillas) (Quiroz *et al.*, 2010b).

### 1.3 Método de Protección en Faja

El método de protección en fajas tiene dos variantes de aplicación una de ellas es en forma progresiva y la otra en forma alterna, esta última consiste en alternar franjas de bosques con franjas de corta, en las cuales se extrae la totalidad del dosel; el ancho de la faja corresponde a múltiplos de la altura promedio del dosel, mientras que el largo es variable y depende de las condiciones topográficas (Otero *et al.*, 1994). Este método permite que uno de los dos bordes de árboles proyecte una sombra sobre la faja en cualquier momento del día, lo que genera una protección lateral del bosque hacia el sector intervenido (Marquis, 1965; Otero *et al.*, 1994). Esto posibilita mantener las condiciones ambientales de humedad y temperatura del bosque original y la protección del suelo, ya que permite la penetración adecuada de luz para, inducir la regeneración facilitar el establecimiento inicial y promover el crecimiento (Marquis, 1965), especialmente para especies que pueden reproducirse bajo condiciones naturales después de un incendio u otras perturbaciones a pequeña escala, que concuerda con las características de las especies dominantes del Ro-Ra-Co (Marquis, 1965; Hawley y Smith, 1972; Otero *et al.*, 1994; Pollmann y Veblen, 2004).

El método de cortas de protección, a nivel internacional, ha sido más aplicado. Un caso que se puede tomar como ejemplo es el de *Fagus sylvatica*, donde dicho método es utilizado para potenciar la regeneración en el piso del bosque, y de esa manera ser capaz competir con otras especies (Schmaltz, 1993; Troncoso, 2004); otro caso es en Dinamarca, Suecia y Finlandia donde este método es usado para regenerar *Pinus silvestris* y *Picea abies*; y por último en Nueva Zelanda fue ocupado para regenerar *Nothofagus* (Vita, 1996).

En Chile existen experiencias similares de corta de protección en fajas de: Tipo forestal siempreverde en la Cordillera de Costa y de los Andes, en donde se recomienda fajas de ancho variable que dependerán de la especie objetivo y orientadas para que la regeneración sea protegida de la radiación (Donoso, 1989). En bosques de composición coihue – raulí – mañío, este método incrementó la sobrevivencia y altura de las plántulas (Schmidt *et al.*, 1991). En lenga se ha experimentado con este método, pero no se adapta a la forma tradicional de aprovechamiento habitual para este tipo de bosque (Schmaltz, 1993). En el tipo forestal coigüe – raulí – tepa, la regeneración luego de cortas de protección en fajas indica un mayor crecimiento y densidad de regeneración (Vita, 1996; Otero y Bonfi, 1999). En especies introducidas en Chile también se ha ocupado este método, un caso es el pino oregón, que si bien hubo regeneración el área fue invadida de forma explosiva por arromo australiano (Weber, 2004).

### 1.4 Regeneración natural en el tipo forestal

La dinámica regenerativa de las especies arbóreas del tipo forestal Ro-Ra-Co se basa en disturbios de características catastróficas, donde las especies colonizan rápidamente los sectores afectados (Donoso, 1985). Se ha constatado que las tres especies son intolerantes a la sombra (Donoso, 1994). Sin embargo, existen apreciaciones en que *N. alpina* se comporta de manera más semitolerante a la sombra respecto a las otras (Donoso, 1981; Weinberger *et al.*, 2001).

De esta forma, las especies arbóreas que conforman el tipo forestal Ro-Ra-Co responden de manera diferenciada a estímulos del ambiente. Existen investigaciones que establecen que el establecimiento del *N. obliqua* y *N. alpina* ocurre dentro de un periodo de diez años luego de la tala rasa (Donoso *et al.*, 2015). Para *N. dombeyi* en conjunto con *N. alpina*, se han realizado estudios a través de claros de dosel en donde se ha evidenciado que, en un periodo de seis años, *N. alpina* es más dependiente de la luz, además *N. dombeyi* posee un rápido crecimiento, que solo se ve afectado si es expuesto a un porcentaje superior a 40% de luz solar directa (Donoso *et al.*, 2013a; Soto *et al.*, 2015).

### **1.5 Variación de radiación solar e influencia en el proceso de regeneración arbórea**

La radiación solar que incide en el bosque disminuye de forma gradual desde el dosel (90% de radiación solar) al piso del bosque (5% de radiación solar), de tal forma, que las copas arbóreas se quedan con el 80% de la energía, aun así, su reducción dependerá principalmente de la densidad de la vegetación (Donoso, 2008; Donoso *et al.*, 2014).

Uno de los mayores cambios que presenta un bosque posterior a un disturbio es el incremento sustancial de la luz. La modificación de la intensidad lumínica tiene repercusiones importantes sobre el funcionamiento de la comunidad, debido a que cambia drásticamente la tasa de fotosíntesis, productividad primaria neta, temperatura del suelo y aire, disponibilidad de agua y actividad de microorganismos del suelo (Schmidt *et al.*, 1991; Chen *et al.*, 1993; Dai, 1996; Carlson, 1997; Caldentey *et al.*, 1999).

El tamaño de los disturbios determinará la cantidad de luz que entra en el ambiente. En función de esto, los métodos de regeneración difieren entre sí por su efecto sobre la exposición a la luz en las áreas intervenidas, por tanto, el método a utilizar debe considerar las relaciones ambientales y la dinámica de crecimiento de las especies (Marquis, 1965; Quiroz *et al.*, 2010a). En este sentido, claros o fajas menores a 0,4 ha, ofrecen buenas oportunidades para obtener condiciones de luz que van desde incidencia total de radiación solar directa a zonas de penumbra, siendo útil para la regeneración de especies, con distintos porcentajes de requerimientos lumínico (Marquis, 1965; Busing, 1994).

### **1.6 Ecofisiología de las especies *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi***

*N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*, a pesar de poder coincidir en las mismas latitudes y longitudes, dentro de sus distribuciones, poseen requerimientos distintos, entre ellos suelo, luz, agua, temperatura del suelo y del aire.

En ese sentido, *N. obliqua* prefiere suelos profundos, fértiles y bien drenados. Por otra parte, obtiene la mayor densidad regeneracional en condiciones de altas tasas de luminosidad, comportándose como intolerante a la sombra. Prefiere zonas en donde la temperatura del suelo frecuentemente sobrepase la del aire, pudiendo soportar déficit hídrico en su zona de distribución, por esta razón, la especie logra establecerse mejor con cierta protección (Weinberger *et al.*, 2001; Donoso *et al.*, 2004a; Donoso *et al.*, 2013b).

*N. alpina* se presenta en suelos moderadamente profundos, al ser una especie de comportamiento semitolerante a la sombra, más condicionada por los factores ambientales

como temperatura y estrés hídrico. Prefiere zonas en que la temperatura del suelo es menor a la del aire, soportando precipitaciones entre 1500 a 4000 mm, con algunas precipitaciones nivales en el invierno (Weinberger *et al.*, 2001; Gallo *et al.*, 2004; Donoso *et al.*, 2013c).

Finalmente, *N. dombeyi* requiere de suelos delgados y de mal drenaje. Esta especie se clasificada como una especie altamente intolerante a la sombra, de modo que, sólo regenera en sectores abiertos luego de la ocurrencia de perturbaciones de gran escala o abandonos de terrenos agrícolas o ganaderos, principalmente en sector sur del claro, asociada a cursos agua y quebradas (Weinberger *et al.*, 2001; Donoso *et al.*, 2004b; Donoso *et al.*, 2013a).

En función de lo señalado, el retiro del dosel superior en la corta de protección altera principalmente la incidencia de la luz en el piso forestal y esta incidencia en la cantidad y calidad de la regeneración de las especies. Es por ello que el objetivo principal de este estudio es “Analizar el efecto de la corta de protección en fajas sobre patrones de plantas de regeneración en un bosque de *Nothofagus obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*, en la Región del Biobío”.

Los objetivos específicos considerados son:

- 1) Caracterizar y analizar el ambiente lumínico en el interior de las fajas
- 2) Caracterizar las plantas de regeneración establecidas en las fajas e interfajas respecto a densidad, diámetro, altura, especie y tipo de regeneración
- 3) Analizar la influencia del aumento de radiación solar en las fajas sobre patrones de regeneración.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Área de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el Predio Pierna Blanca, perteneciente a la empresa Bosque Nativo Elnahue SPA, en la Comuna de Coihueco, Provincia de Ñuble, Región del Biobío (Figura 1).

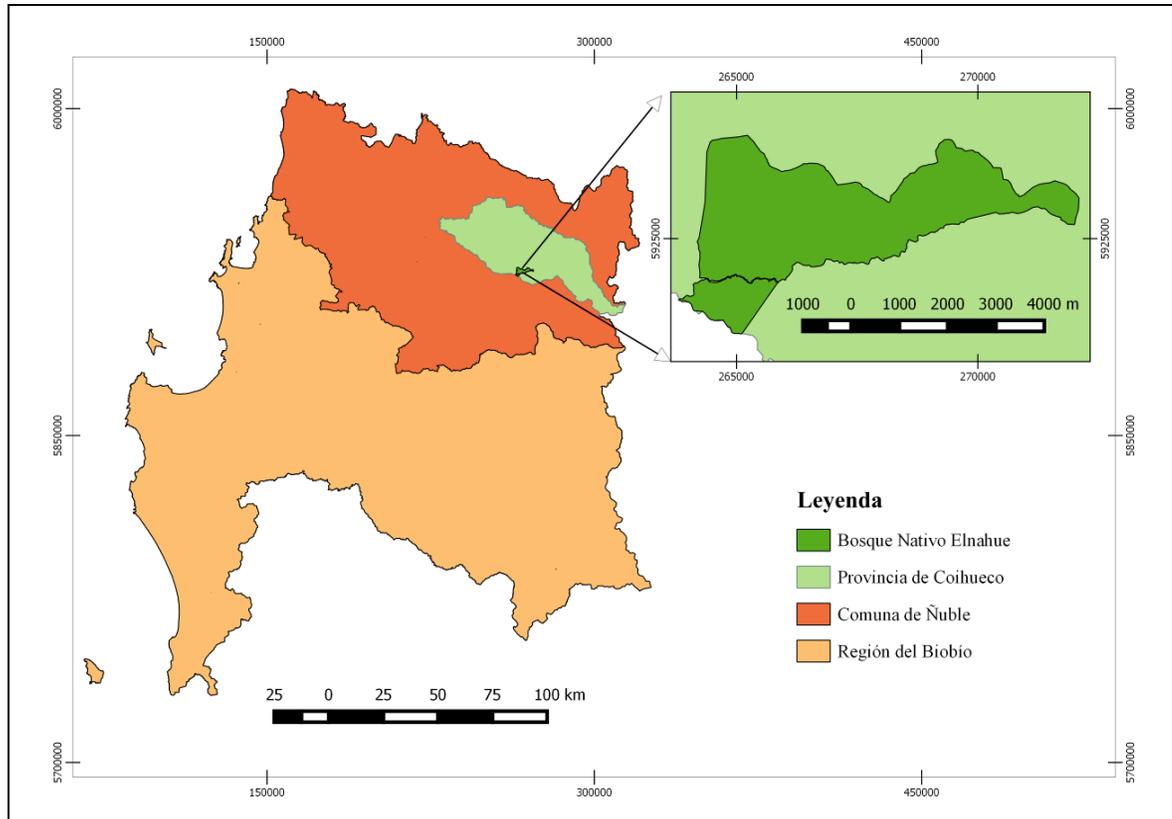


Figura 1: Ubicación del área estudio; Región del Biobío, Provincia de Ñuble, Comuna de Coihueco.

#### 2.1.2 Clima

El área de estudio se inserta en un Clima Mediterráneo subtropical con verano seco (noviembre a febrero), que se caracteriza por ser un ambiente microtermal con temperaturas que oscilan desde 0 a 25 °C, con un periodo libre de heladas de hasta 200 días con una precipitación que puede variar de 1000 a 2000 mm/año. (Uribe *et al.*, 2012).

#### 2.1.3 Suelo

El suelo se encuentra clasificado dentro de la Asociación Santa Bárbara. Estos son suelos poco evolucionados formados sobre cenizas volcánicas recientes depositadas sobre

sustratos fluvioglaciales, son suelos profundos a muy profundos, bien drenados, de texturas medias, generalmente francas a franco limosos (Besoain, 1985; CNR, 1987). Se presenta en una topografía de lomajes y cerros, con permeabilidad moderada (CNR, 1987).

#### 2.1.4 Vegetación

Según la clasificación vegetacional de Gajardo (1994), el área de estudio se inserta en la Región de los Bosques Caducifolios Andinos, donde es posible encontrar a *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*, acompañado por, *Persea lingue* (Lingue), *Lapageria rosea* (Copihue), *Gevuina avellana* (Avellano), *Laurelia sempervirens* (Laurel), *Lomatia dentata* (Piñol), *L. hirsuta* (Radal), *Aristotelia chilensis* (Maqui), *Gaultheria phillyreifolia* (Chaura), *Rhaphitamus spinosus* (Arrayán macho), *Chusquea culeou* (Quila), *Myoschilos oblonga* (Orocoipo), *Ribes glandulosum* (Zarzaparrilla) y *Berberis darwinii* (Michay).

#### 2.1.5 Estructura del bosque

El bosque del área de estudio se originó por la sobreexplotación ocurrida hace 25 años, producido por raleos efectuados de forma permanente para la producción de astillas de exportación, lo que dejó un bosque adulto degradado, con ausencia de regeneración de las especies principales y densidades de 105,5 árb/ha para *N. obliqua*, 101,5 árb/ha para *N. alpina* y con 31,5 árb/ha para *N. dombeyi* (Cuadro 1).

Cuadro 1: Valores dasométricos medios de las especies *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi* presentes en el área de estudio antes de la intervención silvícola de cortas de regeneración en fajas.

<i>Especie</i>	<i>Nº árb/ha</i>	<i>Área Basal (m<sup>2</sup>/ha)</i>	<i>Volumen Basal (m<sup>3</sup>/ha)</i>
<i>Nothofagus obliqua</i>	105,5	12,0	109,4
<i>Nothofagus alpina</i>	101,5	30,8	53,9
<i>Nothofagus dombeyi</i>	31,5	16,2	59,8
Otras especies	683,5	72,0	142,3
TOTAL	922,0	131,0	365,4

(Fuente: Hugo Pulido<sup>1</sup>, comunicación personal).

#### 2.1.6 Cortas de Protección

El área de estudio corresponde a un plan de manejo para un área de 460 ha de bosque adulto degradado. El bosque se intervino a través del método de corta de protección en fajas alternas, cortando anualmente 14 ha en fajas, de 20 m de ancho, separadas por una interfaja de 40 m. Esto significa que al cabo de 11 años se interviene un tercio de la superficie, luego al segundo ciclo de corta se interviene la interfaja en 20 m y finalmente al tercer ciclo las interfajas de 10 m de ancho restante (Anexo 1). Todas las cortas se encuentran en

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal, Bosque Nativo Elnahue SPA.

orientación norte – sur. Se eligieron para trabajar las fajas realizadas en el periodo 2014 – 2015, que están con pendiente entre el 30 – 45% y en la exposición norte de la ladera.

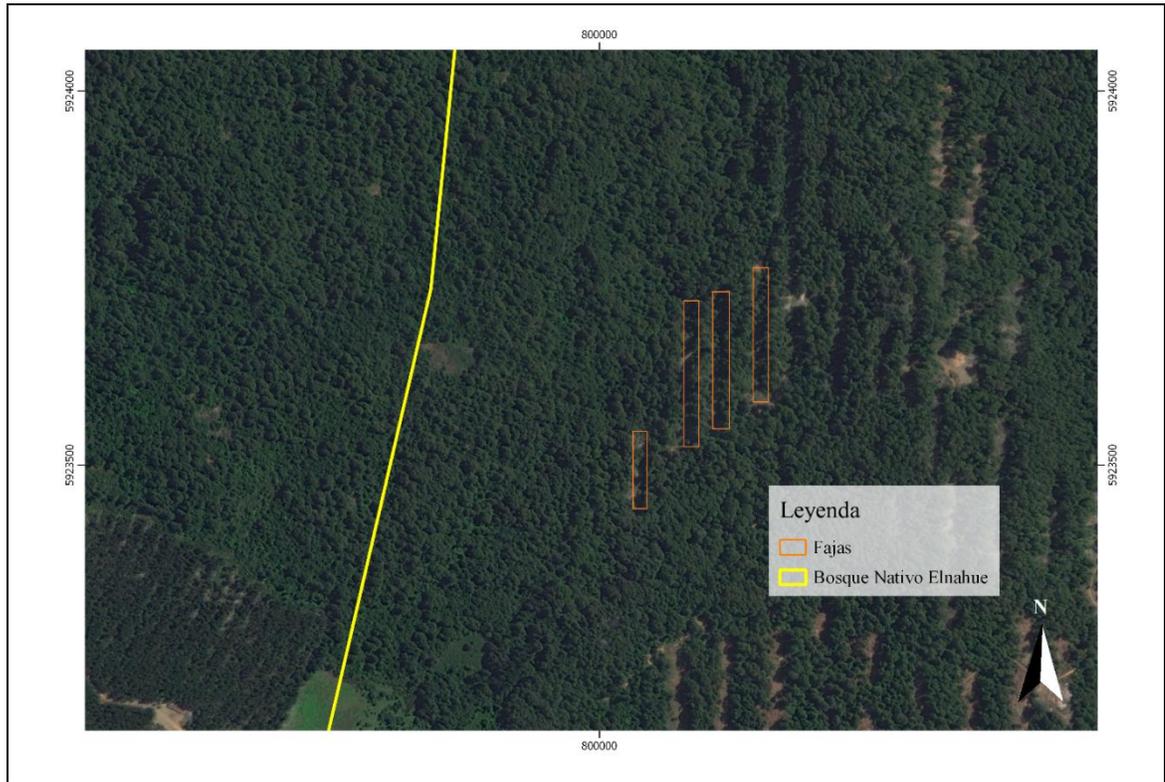


Figura 2: Visualización de las fajas establecidas entre 2014 y 2015 en bosque Ro-Ra-Co. La línea amarilla corresponde a los límites del predio Pierna Blanca.

## 2.2 Método

### 2.2.1 Diseño del muestreo

Debido el posible cambio de luminosidad al interior de la faja (Figura 3), el diseño experimental contempla el establecimiento de puntos de muestreo a lo largo y ancho de las fajas.

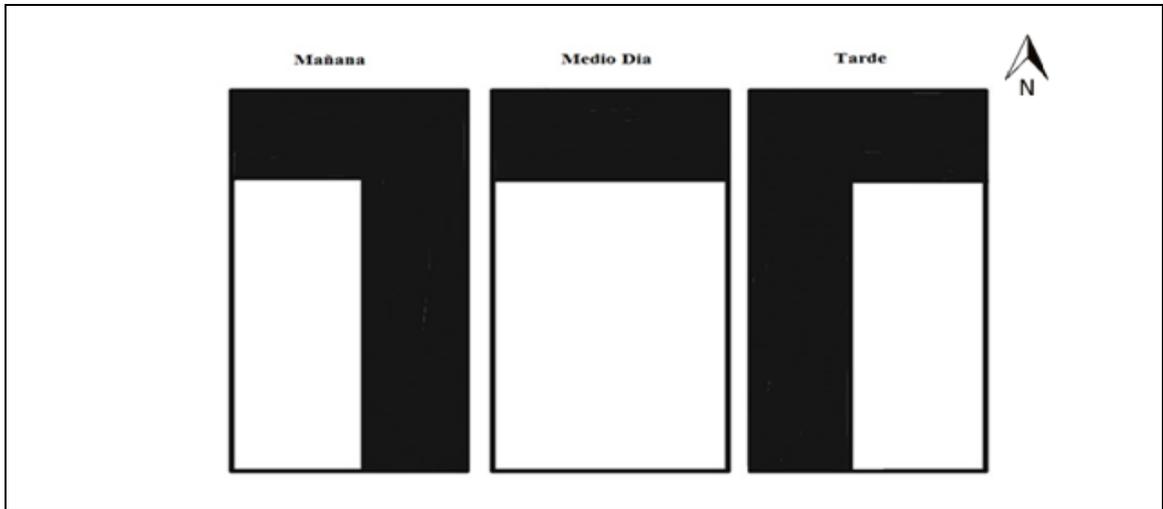


Figura 3: Esquema representativo del posible cambio en la transmisión solar al interior de fajas de corta de regeneración. Zonas oscuras corresponden a sombra, zonas blancas a mayor radiación solar (Modificado de Marquis, 1965).

Para evaluar el efecto de las cortas de protección en faja sobre los patrones de plantas de regeneración, se consideraron cuatro fajas y cuatro interfajas, donde se instalaron 20 parcelas de 4 m<sup>2</sup> (15 en cada faja y 5 en cada interfaja) a lo largo de un transecto, distribuidas como se muestra en la Figura 4. Las parcelas se establecieron después de dos años de realizada la corta de regeneración.

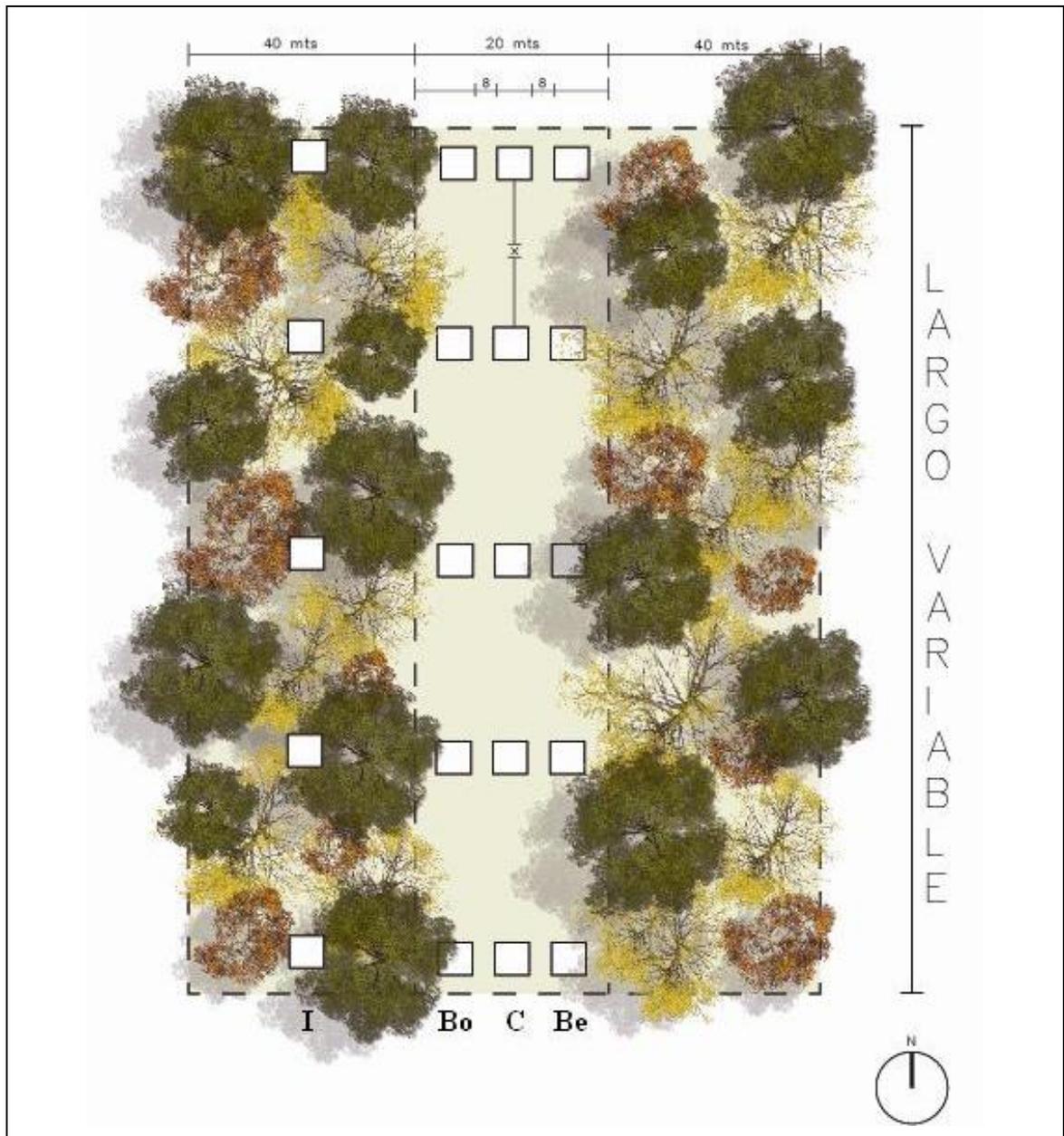


Figura 4: Transecto a lo largo de la faja-interfaja, donde se ubicaron las parcelas de muestreo. Cada una de las hileras de cinco parcelas representa una posición distinta: Interfaja (I), Borde oeste (Bo), Centro (C) y Borde este (Be).

### 2.2.2 Fotografía hemisférica y estimación de radiación solar

Para caracterizar el ambiente lumínico, en cada una de las parcelas de muestreo, se realizó una captura de fotografía hemisférica (Figura 5). Las imágenes fueron tomadas con una cámara digital Canon EOS 60D y un lente ojo de pez marca Sigma modelo 4,5 mm c/2,8 EXDC. La cámara fue montada y nivelada respecto al horizonte en un trípode a una altura aproximada de 1,3 m sobre el nivel del suelo (Figura 6). Se tuvo especial cuidado que

la parte superior de la cámara siempre apuntara hacia el norte. Las fotografías fueron capturadas en alba, al crepúsculo y en días nublados, para evitar problemas de iluminación de las copas arbóreas (Promis *et al.*, 2011; Fournier *et al.*, 2017).



Figura 5: Fotografías hemisféricas capturadas en la posición de interfaja (izquierda) y en la posición de faja (derecha).



Figura 6: Visualización de los instrumentos empleados, montaje y nivelación de cámara fotográfica con lente hemisférico.

El procesamiento fotográfico se realizó mediante los protocolos descritos por Promis *et al* (2011), por medio del programa editor de imágenes Adobe Photoshop ®. Cada fotografía fue procesada luego de definir el campo de la imagen (bordes). Para extraer el umbral de la imagen se utilizó el programa SideLook 1.1.0.1, el cual asigna de manera automática valores binarios a los pixeles que conforman el dosel (=1) y cielo descubierto (=0) (Nobis, 2005) (Figura 7).

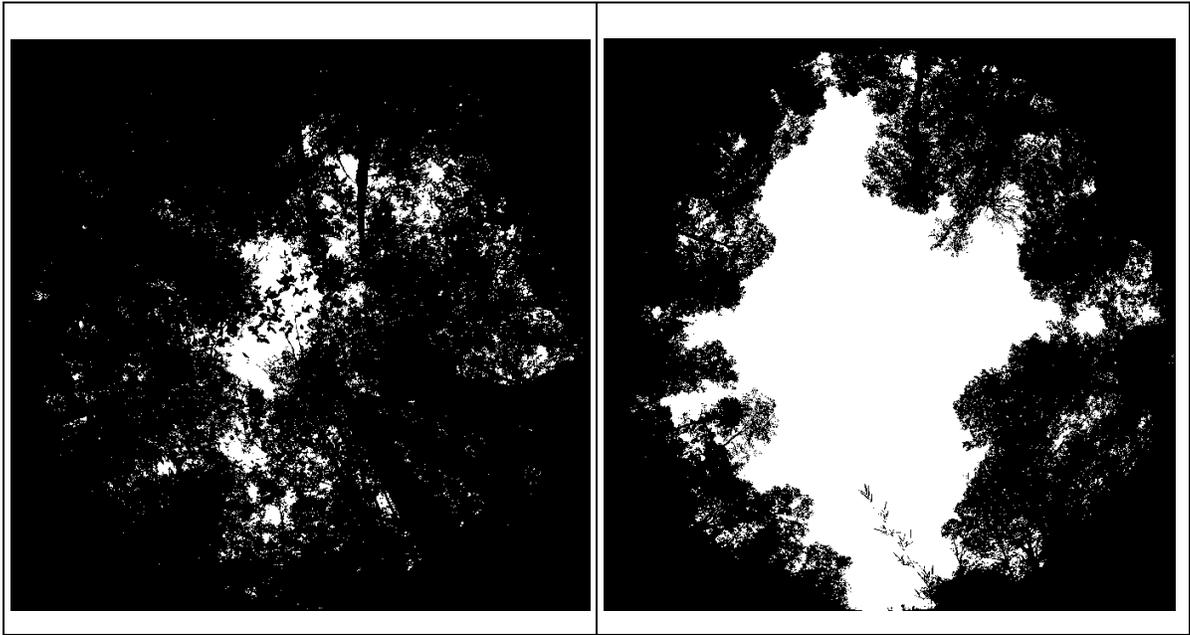


Figura 7: Fotografías hemisféricas después de la asignación del umbral automático, con el programa SideLook.

Las fotografías fueron analizadas con el programa HemiView versión 2.1 (Delta-T, Cambridge, U.K), que permite estimar los porcentajes de radiación solar directa, difusa y global, que llega al piso del bosque por medio de la fracción de éstas bajo el dosel arbóreo.

### 2.2.3 Caracterización de la regeneración

En cada parcela se identificaron las especies observadas, clasificándolas por tipo de reproducción (proveniente de semilla o vegetativa; Figura 8), altura y tipo de sustrato de establecimiento (hojarasca o suelo mineral expuesto). Por último, se calculó la densidad de las especies en cada parcela. Se consideró como planta de regeneración, aquella de altura menor a 1,3 m (altura de obtención de fotografía hemisférica).

En cada parcela, en el caso de observar las especies objetivos (*N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*), se procedió a medir (por tipo de reproducción) la altura, diámetro a la altura del cuello (DAC, mm) y el crecimiento durante el último periodo vegetativo (la distancia en centímetros entre la cicatriz de crecimiento del periodo anterior y el ápice de la planta). Con este último dato se procedió a calcular el crecimiento relativo en altura de la planta más alta por parcela y el crecimiento relativo de la altura promedio por parcela (ecuación 1).

$$\text{Ecuación 1: Crecimiento relativo} = \frac{\ln(H_2) - \ln(H_1)}{T}$$

Donde, Ln (H2) es el logaritmo natural de la altura de la planta en el periodo de medición, Ln (H1) es el logaritmo natural de la altura de la planta en el periodo de crecimiento vegetativo anterior y T como el periodo de tiempo en que ocurrió el ultimo crecimiento vegetativo, para este caso se consideró la fracción de tiempo de los meses de crecimiento vegetativo en el periodo de un año.

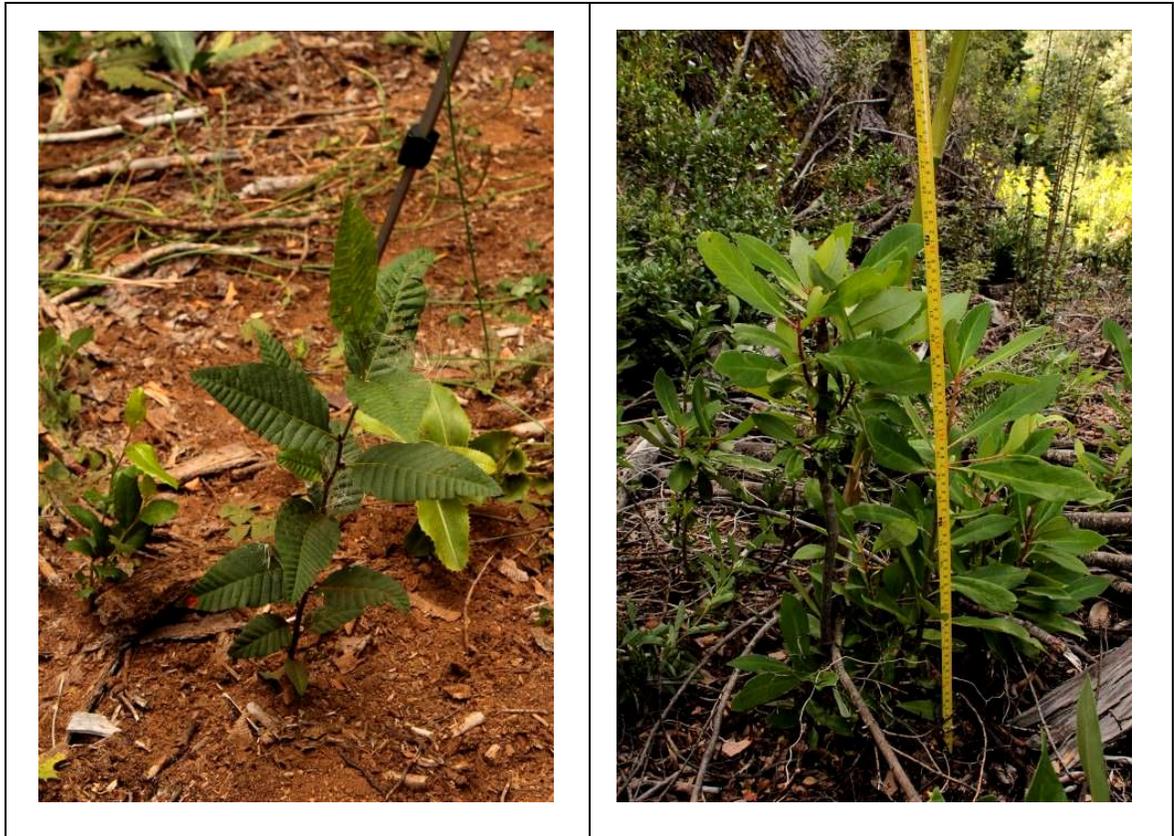


Figura 8: Izquierda planta de regeneración de *N. alpina* proveniente de semilla, derecha planta *D. winteri* proveniente de regeneración vegetativa.

#### 2.2.4 Análisis estadístico

Para el análisis de las diferencias observadas entre radiación solar (directa, difusa y global) respecto a las posiciones interfaja, borde oeste, centro y borde este, se verificaron los supuestos de normalidad por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov y de homogeneidad de las varianzas con la prueba de Levene. Posteriormente se realizó la prueba paramétrica de Tukey dado que se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Hall *et al.*, 2017).

Por otra parte, para ver el comportamiento de las plantas de regeneración a las nuevas condiciones generadas en función de la posición, se efectuaron análisis descriptivos (mediana, promedio, rango y desviación estándar). Al no cumplirse los supuestos de normalidad (prueba Shapiro-wills), se realizó la prueba no-paramétrica de Kruskal Wallis y posteriormente la prueba de U Mann-Whitney para ver la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las de las distintas posiciones de cada especie.

Finalmente, se determinó la correlación de Sperman para verificar la asociación entre la transmisión de radiación solar (directa, difusa y global), la densidad y el crecimiento en altura de las plantas de regeneración según especie de interés (*N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Caracterización del ambiente lumínico

##### 3.1.1 Comportamiento de la radiación solar a lo largo de las fajas e interfajas

Dado la posible variación de las zonas de luz y sombra en el interior de la faja durante el transcurso del día, es posible observar, que la interfaja es la posición que presenta menor incidencia de radiación solar difusa en el piso del bosque, con porcentajes que se sitúan en el rango [7 – 17]%. En el centro es donde se presentan mayores porcentajes de radiación solar difusa con un rango de [35 - 44]%, a lo largo de los bordes de la faja la radiación solar tiende a mantenerse en valores intermedios entre el centro de la faja y el interior (Figura 9).

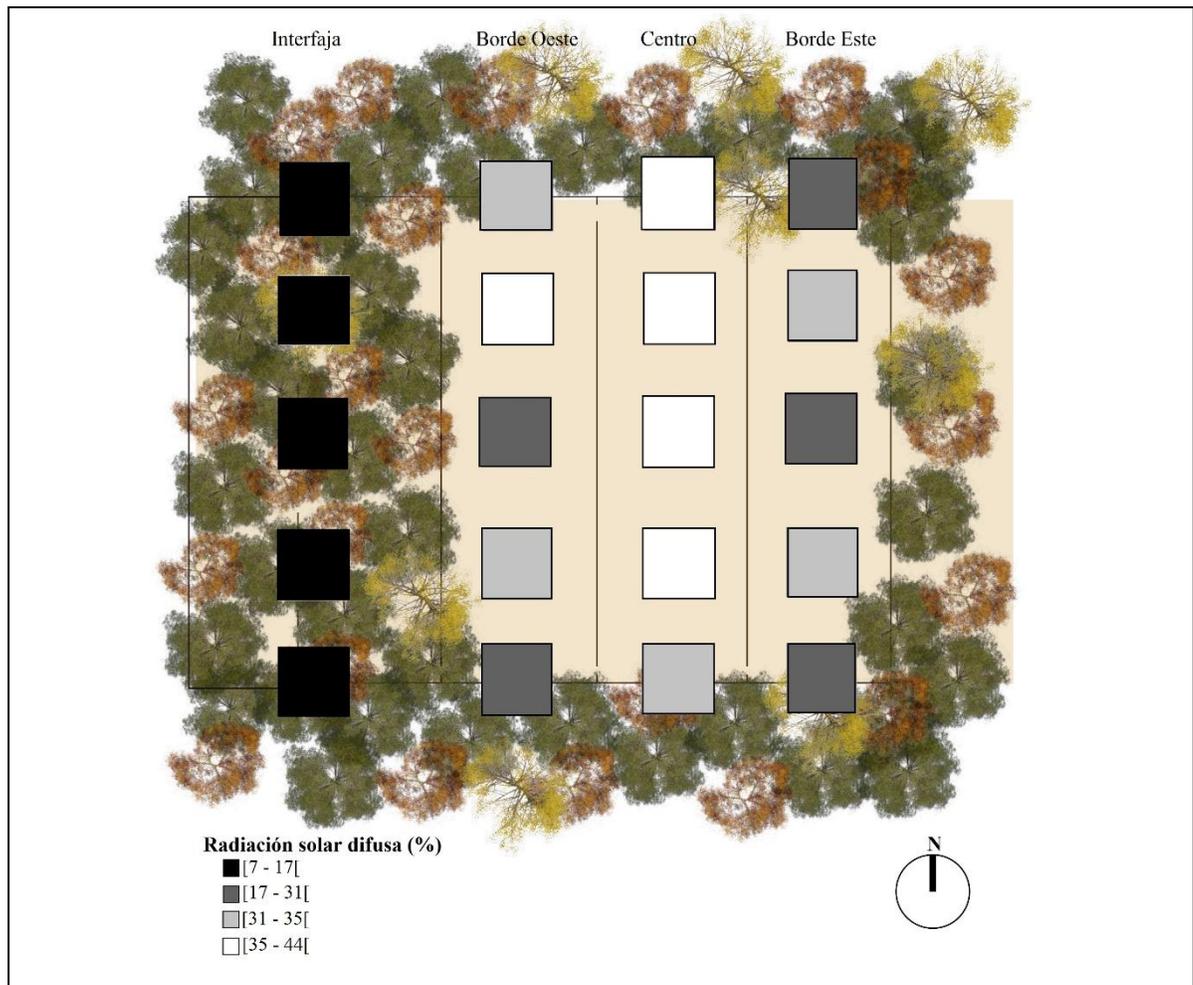


Figura 9: Diagrama que representa la distribución de radiación solar difusa (%) en el interior de la faja – interfaja. La posición de cada parcela en el diagrama representa la ubicación en donde se tomaron los datos, las parcelas superiores e inferiores se posicionaron en la zona donde termina el dosel arbóreo y empieza la faja. Los rangos presentados corresponden a los cuartiles de los datos obtenidos, para cada una de las posiciones.

### **3.1.2 Transmisión de radiación solar en fajas e interfajas**

La radiación solar directa, muestra un incremento de la incidencia de luminosidad en las posiciones borde oeste, centro y borde este, con respecto a la posición de interfaja. Los resultados reflejan que la interfaja, es significativamente inferior (porcentajes menores al 15%), a las posiciones restantes (Figura 10a). Los valores máximos de radiación solar directa (%) se encuentran ubicados en el sector centro, siendo éste significativamente mayor que en el borde este, pero no así al borde oeste, en donde las condiciones de radiación entre sí resultan similares estadísticamente.

Respecto a la radiación solar difusa, se observa que el porcentaje de incidencia es significativamente menor en interfaja ( $< 12\%$ ), mientras que, en la faja hacia los bordes, resultan similares los porcentajes promedios. Por otra parte, en contraste a lo que sucede con la radiación solar directa, la condición lumínica difusa de la zona centro, es significativamente mayor en ambos bordes de la faja (Figura 10b).

Como reflejo del comportamiento de la radiación solar directa y difusa, es posible observar que la radiación solar global que está incidiendo en la zona de interfaja nuevamente presenta valores significativamente inferiores ( $< 25\%$ ,  $p < 0,05$ ), mientras que, la posición central de la faja presenta valores significativamente mayores de radiación solar global respecto a ambos bordes de faja ( $> 60\%$ ,  $p < 0,05$ ) (Figura 10c).

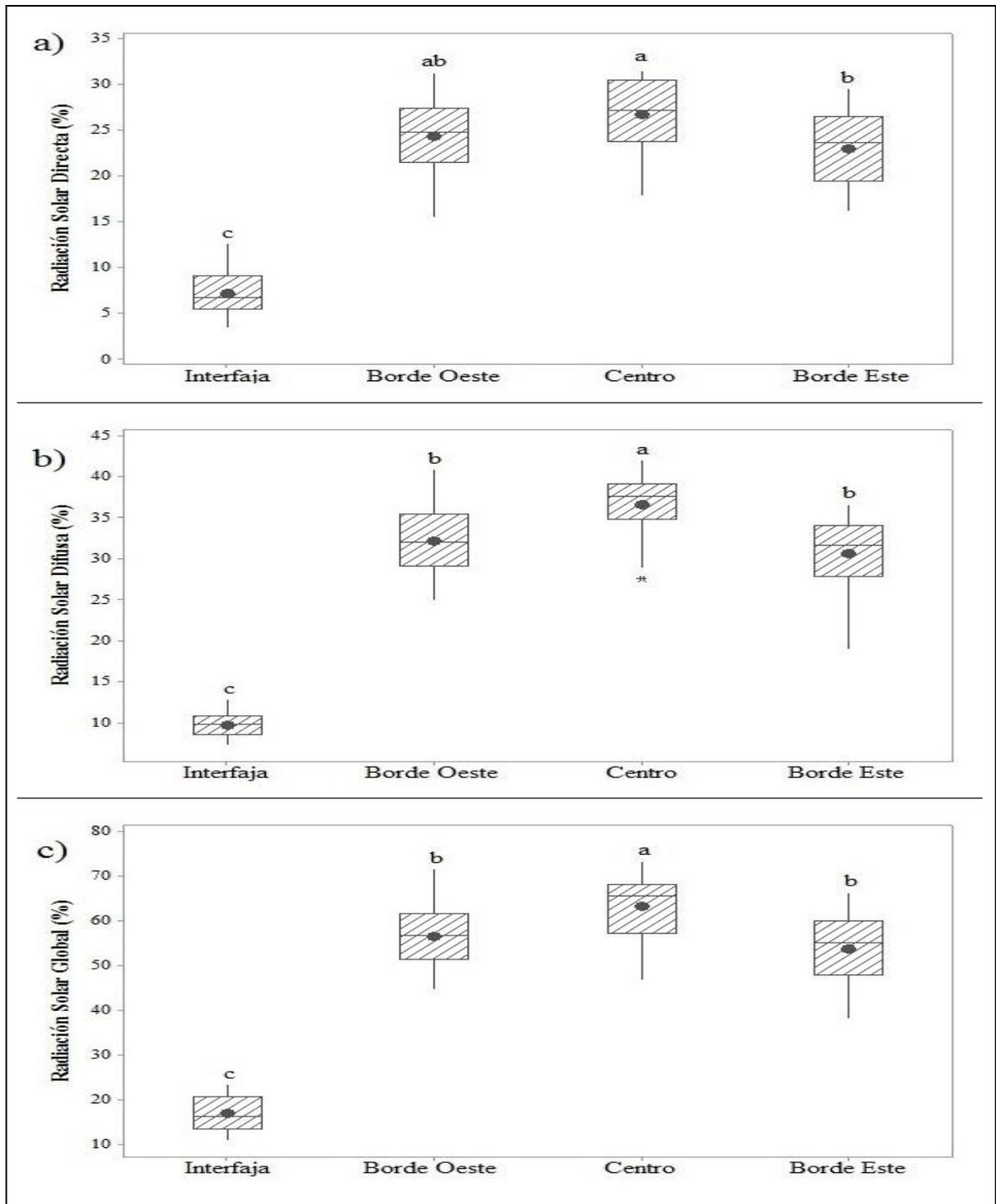


Figura 10: Diagramas de cajas y bigotes con prueba de Tukey para la distribución de: a) radiación solar directa (%), b) radiación solar difusa (%) y c) radiación solar global (%) en faja-interfaja. Las cajas muestran el rango intercuartílico, valores extremos (\*), al interior la mediana (-) y la media (●). Las cajas se extienden a los máximos y mínimos. Las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre las posiciones (ANOVA y posterior prueba de comparaciones de Tukey;  $p < 0,05$ ).

## 3.2 Desarrollo de plantas de regeneración

### 3.2.1 Regeneración por semillas

#### Densidad de regeneración para *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*

No existen diferencias estadísticamente significativas para la densidad de plantas para *N. obliqua* y *N. dombeyi* (Cuadro 2), al comparar las condiciones de centro y borde de la faja con la zona bajo bosque (interfaja). Por otro lado *N. alpina* presenta diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones centro y borde este de la faja con respecto a la zona de interfaja. El mayor registro de plantas es de 2,00 y 1,50 pl/m<sup>2</sup> en borde oeste de la faja, para *N. obliqua* y *N. dombeyi* respectivamente. En cambio, *N. alpina* presentó el valor más alto en densidad en la faja, pero en borde este (1,00 pl/m<sup>2</sup>) (Cuadro 2).

Cuadro 2: Valores descriptivos de densidad (pl/m<sup>2</sup>) para regeneración proveniente de semillas en las diferentes posiciones. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ).

<i>Densidad (pl/m<sup>2</sup>)</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Nothofagus obliqua</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,01	0,19	0,05	0,16
	Rango	0,00 - 0,25	0,00 - 2,00	0,00 - 0,50	0,00 - 1,25
	Desviación estándar	0,06	0,58	0,13	0,37
<i>Nothofagus alpina</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (ab)	0,13 (b)	0,50 (b)
	Promedio	0,04	0,11	0,16	0,35
	Rango	0,00 - 0,50	0,00 - 0,25	0,00 - 0,50	0,00 - 1,00
	Desviación estándar	0,12	0,13	0,19	0,34
<i>Nothofagus dombeyi</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,00	0,33	0,00	0,18
	Rango	0,00 - 0,00	0,00 - 1,50	0,00 - 0,00	0,00 - 1,25
	Desviación estándar	0,00	0,53	0,00	0,38

La mayor cantidad de plantas se presentó en suelo mineral más que en la condición de hojarasca (Cuadro 3). Las plántulas de *N. dombeyi* se establecieron siempre en micrositos de suelo mineral, mientras que el 83,4% de *N. obliqua* y 85,7% de *N. alpina* se establecieron en este tipo de sustrato.

Cuadro 3: Porcentaje total de plantas encontradas en dos condiciones de micrositio, para las especies *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*.

Tipo de suelo	Especie		
	<i>N. obliqua</i> (%)	<i>N. alpina</i> (%)	<i>N. dombeyi</i> (%)
Hojarasca	16,6	14,3	0
Suelo Mineral	83,4	85,7	100
<b>Total (%)</b>	100	100	100

#### Densidad de regeneración para otras especies arbóreas

Otras especies arbóreas que se encontraron en la interfaja y en la faja (borde oeste, centro y borde este) fueron: *Gevuina avellana*, *Drimys winteri*, *Podocarpus saligna*, *Maytenus boaria*, *Aextoxicon punctatum*, *Lomatia dentata*, *Dasyphyllum diacanthoides* y *Sophora cassioides* (Cuadro 4).

Las especies no presentan diferencias estadísticamente significativas al comparar las condiciones de faja y de interfaja. *G. avellana* registra los mayores valores de densidad (2,00 pl/m<sup>2</sup> a 3,00 pl/m<sup>2</sup>) entre la interfaja, borde oeste y centro, *D. winteri* y *D. diacantoides* también una densidad de 2,00 pl/ m<sup>2</sup>, en interfaja y borde oeste respectivamente. *P. saligna*, *M. boaria* y *L. dentata*, su valor mayor ésta en el borde oeste (Cuadro 4).

Cuadro 4: Valores descriptivos de densidad (pl/m<sup>2</sup>) de regeneración de otras especies arbóreas para las diferentes posiciones estudiadas. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, p > 0,05).

<i>Densidad (pl/m<sup>2</sup>)</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Gevuina avellana</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,26	0,25	0,24	0,06
	Rango	0,00 – 2,00	0,00 – 3,00	0,00 - 2,25	0,00 - 0,75
	Desviación estándar	0,57	0,68	0,69	0,18
<i>Drimys winteri</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,11	0,14	0,00	0,05
	Rango	0,00 – 2,00	0,00 - 1,50	0,00 – 0,00	0,00 – 1,00
	Desviación estándar	0,45	0,38	0,00	0,22
<i>Podocarpus saligna</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,00	0,06	0,01	0,01
	Rango	0,00 – 0,00	0,00 – 1,25	0,00 – 0,25	0,00 – 0,25
	Desviación estándar	0,00	0,28	0,06	0,06
<i>Maytenus boaria</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,00	0,09	0,00	0,00
	Rango	0,00 – 0,00	0,00 – 1,75	0,00 – 0,00	0,00 – 0,00
	Desviación estándar	0,00	0,39	0,00	0,00
<i>Aextoxicon punctatum</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,01	0,03	0,00	0,00
	Rango	0,00 - 0,25	0,00 – 0,50	0,00 – 0,00	0,00 – 0,00
	Desviación estándar	0,06	0,11	0,00	0,00
<i>Lomatia dentata</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,03	0,14	0,03	0,03
	Rango	0,00 – 0,50	0,00 - 1,25	0,00 – 0,25	0,00 – 0,25
	Desviación estándar	0,11	0,38	0,08	0,08
<i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,00	0,11	0,00	0,04
	Rango	0,00 – 0,00	0,00 – 2,00	0,00 – 0,00	0,00 – 0,25
	Desviación estándar	0,00	0,45	0,00	0,09
<i>Sophora cassioides</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,00	0,00	0,00	0,01
	Rango	0,00 – 0,00	0,00 – 0,00	0,00 – 0,00	0,00 – 0,25
	Desviación estándar	0,00	0,00	0,00	0,06

### Altura de plantas de regeneración de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*

Para las tres especies de *Nothofagus* existió variación en las alturas de las plantas de regeneración, él que varía entre 5,0 y 128,0 cm de altura promedio de las plantas por parcela (Cuadro 5). La altura de plantas de *N. obliqua* es mayor estadísticamente en borde este de la faja (40,0 cm de mediana), la altura de plantas de *N. alpina* es estadísticamente mayor en el centro de la faja (69,7 cm de mediana), mientras que las plantas de *N. dombeyi* no muestran diferencias entre las posiciones (Cuadro 5).

Cuadro 5: Altura promedio (cm) de las plantas de regeneración para las diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ).

Altura (cm)		Posición			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Nothofagus obliqua</i>	Mediana	■	■	13,0 (a)	40,0 (b)
	Promedio	■	■	34,3	39,8
	Rango	■	■	5,0 - 85,0	35,0 - 44,0
	Desviación estándar	■	■	44,1	3,7
<i>Nothofagus alpina</i>	Mediana	■	18,0 (a)	69,7 (b)	31,8 (ab)
	Promedio	■	26,9	68,5	53,9
	Rango	■	11,0 - 59,0	15,0 - 120,0	10,0-128,0
	Desviación estándar	■	17,48	36,55	45,81
<i>Nothofagus dombeyi</i>	Mediana	■	66,0 (a)	■	81,0(a)
	Promedio	■	52,7	■	80,0
	Rango	■	13,0 – 80,0	■	48,0-110,0
	Desviación estándar	■	26,3	■	34,7

### Diámetro a la altura del cuello (DAC) de plantas de regeneración de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*

En las tres especies de *Nothofagus* existió una variación de en el DAC de las plantas de regeneración, el cual varía de 1,00 a 21,35 mm de DAC promedio de las plantas por parcela (Cuadro 6). El DAC de las plántulas de *N. obliqua* es mayor estadísticamente en borde este (8,07 mm de mediana), las plántulas de *N. alpina* presentan un DAC estadísticamente mayor en el centro de la faja (7,04 mm de mediana), por otro lado, las plantas de *N. dombeyi* no presenta diferencias estadísticas en las distintas posiciones (Cuadro 6)

Cuadro 6: Diámetro a la altura del cuello promedio (DAC; mm) para plantas de regeneración en diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ).

<i>DAC (mm)</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Nothofagus obliqua</i>	Mediana	■	■	3,23 (a)	8,07 (b)
	Promedio	■	■	4,64	7,67
	Rango	■	■	1,35 - 9,35	5,30 - 9,24
	Desviación estándar	■	■	4,18	1,93
<i>Nothofagus alpina</i>	Mediana	■	3,66 (a)	7,04 (b)	5,87 (ab)
	Promedio	■	3,87	9,43	6,09
	Rango	■	1,05 - 6,45	1,15 - 20,09	0,98 - 12,49
	Desviación estándar	■	1,9	6,19	4,26
<i>Nothofagus dombeyi</i>	Mediana	■	4,56 (a)	■	14,60 (a)
	Promedio	■	5,92	■	13,82
	Rango	■	2,43 - 12,58	■	4,75 - 21,35
	Desviación estándar	■	3,50	■	8,78

#### **Crecimiento en altura relativo de plantas de regeneración de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi***

El crecimiento relativo en altura de las plantas de regeneración durante el último periodo de crecimiento fue variable, con plantas creciendo entre 0,00 a 1,20 al año. Ninguna de las tres especies mostró diferencias estadísticamente significativas en su crecimiento de altura relativa promedio por parcela al comparar los registros encontrados entre las posiciones de fajas y bajo el dosel arbóreo (Cuadro 7).

Cuadro 7: Crecimiento en altura relativo de las plantas de regeneración en diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ).

<i>Crecimiento en altura relativo</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Nothofagus obliqua</i>	Mediana	■	■	0,19 (a)	0,49 (a)
	Promedio	■	■	0,41	0,47
	Rango	■	■	0,00 - 1,04	0,23 - 0,69
	Desviación estándar	■	■	0,55	0,25
<i>Nothofagus alpina</i>	Mediana	■	0,34 (a)	0,48 (a)	0,64 (a)
	Promedio	■	0,38	0,52	0,66
	Rango	■	0,08 - 0,70	0,10 - 1,04	0,15 - 1,2
	Desviación estándar	■	0,2	0,34	0,35
<i>Nothofagus dombeyi</i>	Mediana	■	0,11 (a)	■	0,62 (a)
	Promedio	■	0,16	■	0,59
	Rango	■	0,06 - 0,32	■	0,05 - 1,08
	Desviación estándar	■	0,11	■	0,57

### 3.2.2 Regeneración vegetativa

#### Densidad de la regeneración para *N. obliqua* y *N. alpina*

No existen diferencias estadísticamente significativas para la densidad vegetativa, en ninguna de las especies de *Nothofagus* que se encontraron con este tipo de regeneración (Cuadro 8). El mayor registro es de 2,50 y 1,75 pl/m<sup>2</sup>, en centro de la faja para *N. alpina* y en borde oeste de la faja para *N. obliqua* respectivamente.

Cuadro 8: Valores descriptivos de densidad (pl/m<sup>2</sup>) de regeneración vegetativa para diferentes posiciones. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, p > 0,05).

<i>Densidad (pl/m<sup>2</sup>)</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Nothofagus obliqua</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,00	0,09	0,01	0,00
	Rango	0,00 - 0,00	0,00 - 1,75	0,00-0,25	0,00 - 0,00
	Desviación estándar	0,00	0,39	0,06	0,00
<i>Nothofagus alpina</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,0 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,00	0,07	0,31	0,00
	Rango	0,00 - 0,00	0,00 - 1,25	0,00-2,50	0,00 - 0,00
	Desviación estándar	0,00	0,28	0,78	0,00

#### **Densidad de la regeneración otras especies arbóreas**

Las especies que se encontraron regenerando vegetativamente en fajas y zonas bajo dosel arbóreo fueron *G. avellana*, *D. winteri* y *D. diacanthoides*, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre las posiciones en cada una de las especies. La densidad mayor es de 2,75 pl/m<sup>2</sup> perteneciente a la especie *G. avellana* (Cuadro 9).

Cuadro 9: Valores descriptivos de densidad (pl/m<sup>2</sup>) de regeneración vegetativa para otras especies arbóreas para las diferentes posiciones estudiadas. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, p > 0,05).

<i>Densidad (pl/m<sup>2</sup>)</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Gevuina avellana</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,05	0,07	0,17	0,14
	Rango	0,00 – 1,00	0,00 – 0,25	0,00 - 2,75	0,00 - 1,25
	Desviación estándar	0,22	0,12	0,61	0,30
<i>Drimys winteri</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,00	0,00	0,00	0,5
	Rango	0,00 – 0,00	0,00 – 0,00	0,00 – 0,00	0,0 – 1,0
	Desviación estándar	0,00	0,00	0,00	0,22
<i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	Mediana	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)	0,00 (a)
	Promedio	0,04	0,00	0,00	0,01
	Rango	0,00 – 0,75	0,00 – 0,00	0,00 – 0,00	0,00 – 0,25
	Desviación estándar	0,17	0,00	0,00	0,06

#### Altura de plantas de regeneración de *N. obliqua* y *N. alpina*

Los valores mayores en altura se encuentran en borde oeste de la faja, con 120,0 cm para *N. alpina*, la especie no presenta variaciones estadísticamente significativas entre sus medianas (Cuadro 10).

Cuadro 10: Altura promedio (cm) de las plantas de regeneración para las diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney, p > 0,05).

<i>Altura (cm)</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Nothofagus obliqua</i>	Mediana	■	■	■	■
	Promedio	■	■	■	■
	Rango	■	■	■	■
	Desviación estándar	■	■	■	■
<i>Nothofagus alpina</i>	Mediana	■	59,0 (a)	30,0 (a)	■
	Promedio	■	79,3	28,7	■
	Rango	■	59,0 – 120,0	26,0 – 30,0	■
	Desviación estándar	■	35,2	2,31	■

### **Diámetro a la altura del cuello (DAC) de plantas de regeneración *N. obliqua* y *N. alpina***

La variación encontrada en el DAC es de 4,9 a 12,4 mm en promedio de las plantas por parcela, los valores mayores para se encuentran en el borde oeste de la faja. *N. alpina* no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las distintas posiciones (Cuadro 11).

Cuadro 11: Diámetro a la altura del cuello promedio (DAC; mm) para plantas de regeneración en diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ).

<i>DAC (mm)</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Nothofagus obliqua</i>	Mediana	■	■	■	■
	Promedio	■	■	■	■
	Rango	■	■	■	■
	Desviación estándar	■	■	■	■
<i>Nothofagus alpina</i>	Mediana	■	11,3 (a)	4,9 (b)	■
	Promedio	■	11,7	6,3	■
	Rango	■	11,3 - 12,4	4,9 - 9,3	■
	Desviación estándar	■	0,6	2,5	■

### **Crecimiento en altura relativo de plantas de regeneración *N. obliqua* y *N. alpina***

El crecimiento en altura relativo de las plantas en un año varía de 0,17 a 2,96, el mayor crecimiento se da en el borde oeste de la faja y en la especie *N. alpina* la que no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las posiciones (Cuadro 12).

Cuadro 12: Crecimiento en altura relativo de las plantas de regeneración en diferentes posiciones. (■) valores que no se calcularon por la no presencia de plantas o por la falta de repeticiones para el análisis estadístico. Letras idénticas indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las posiciones analizadas (Prueba de Kruskal-Wallis y posterior prueba de U Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ).

<i>Crecimiento en altura relativo</i>		<i>Posición</i>			
		Interfaja	Borde oeste	Centro	Borde este
<i>Nothofagus obliqua</i>	Mediana	■	■	■	■
	Promedio	■	■	■	■
	Rango	■	■	■	■
	Desviación estándar	■	■	■	■
<i>Nothofagus alpina</i>	Mediana	■	0,70 (a)	0,44 (a)	■
	Promedio	■	1,28	0,37	■
	Rango	■	0,17 - 2,96	0,24 - 0,44	■
	Desviación estándar	■	1,48	0,11	■

### 3.3 Influencia de la radiación solar sobre los patrones de regeneración de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi* en faja – interfaja

*N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi* se distribuyen de forma diferenciada en fajas e interfajas. La Figura 11 representa dicho comportamiento a lo largo de las cuatro posiciones respecto a la incidencia de radiación solar difusa. En ella se observa que *N. obliqua* se concentra en las zonas noroeste y noreste de la faja, en dos condiciones, la primera en compañía de *N. alpina* y la segunda con *N. alpina* y *N. dombeyi*.

*N. alpina* se presenta en todas las parcelas de la faja (Figura 11), sin embargo, las densidades más altas se encuentran establecidas en las zonas norte y centro de la faja, zonas en donde se concentra porcentajes de incidencia mayores de radiación solar difusa, las densidades medias se encuentran en el borde este. La especie puede estar o no estar acompañada de *N. obliqua* y/o *N. dombeyi*.

Respecto a la distribución de *N. dombeyi*, ésta se concentra en borde oeste de la faja más que en borde este de la faja (Figura 11), encontrándose en las zonas de porcentajes medios de radiación solar difusa (dentro de la faja), ya que debido a que en la interfaja no es posible encontrar regeneración de la especie. Al igual de *N. obliqua* se presenta en dos formas, acompañado de *N. alpina* o en conjunto de *N. alpina* y *N. obliqua*.

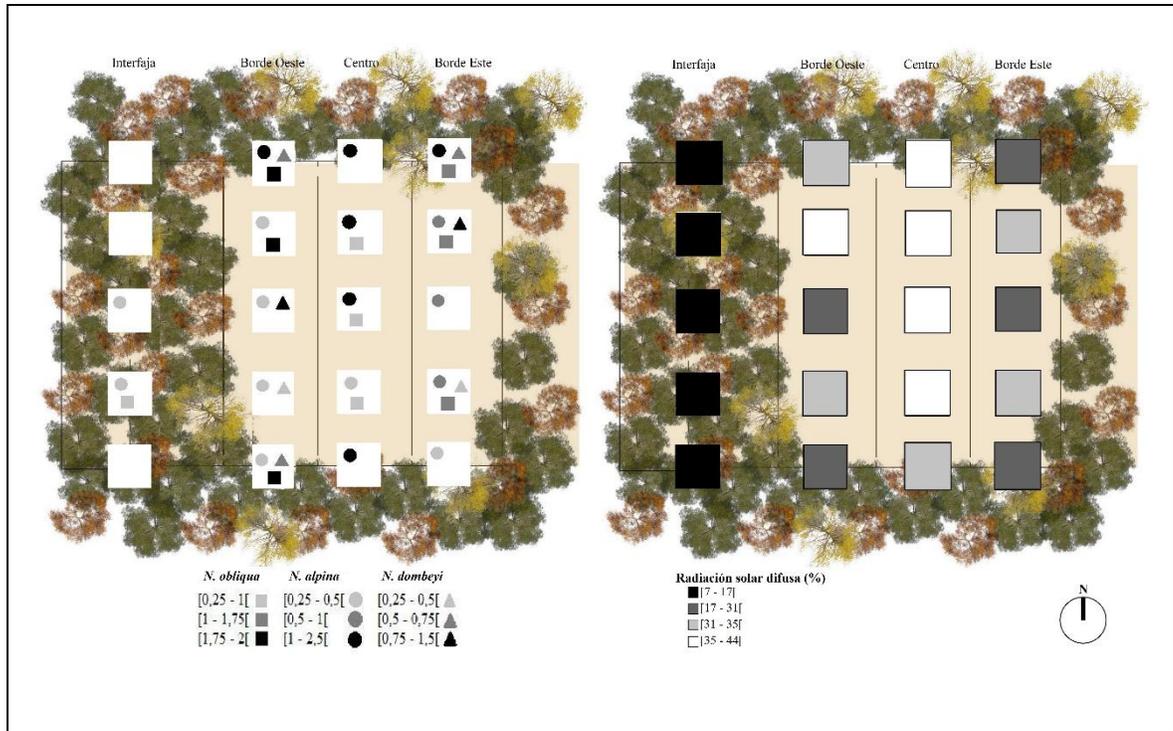


Figura 11: Representación del patrón de distribución de la densidad de plantas de regeneración de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi* respecto a los porcentajes (en cuartiles) de radiación solar difusa incidente de las distintas posiciones en faja – interfaja. La posición de cada parcela en el diagrama representa la ubicación en donde se tomaron los datos, las parcelas superiores e inferiores se posicionaron en la zona donde termina el dosel arbóreo y empieza la faja.

La densidad de plantas de regeneración de las tres especies de *Nothofagus* no muestra una relación significativa con las formas de transmisión de radiación solar (directa, difusa y global) (Cuadro 13).

Cuadro 13: Coeficiente de correlación de Spearman entre la densidad ( $\text{pl}/\text{m}^2$ ) y la transmisión de radiación solar directa, difusa y global.

Densidad	Radiación solar directa	Radiación solar difusa	Radiación solar global	N
<i>Nothofagus obliqua</i>	0,037	0,037	-0,107	11
<i>Nothofagus alpina</i>	-0,055	-0,051	-0,071	43
<i>Nothofagus dombeyi</i>	0,037	-0,111	0,000	11

El análisis de correlación entre el crecimiento relativo en altura de la planta más alta por parcela con las formas de transmisión solar no muestra una relación significativa entre las variables en las tres especies de *Nothofagus* (Cuadro 14).

Cuadro 14: Coeficiente de correlación de Spearman entre el crecimiento relativo en altura de la planta más alta por parcela y la transmisión de radiación solar directa, difusa y global.

<b>Crecimiento en altura relativo</b>	<b>Altura de la planta más alta por parcela (cm)</b>	<b>Radiación solar directa</b>	<b>Radiación solar difusa</b>	<b>Radiación solar global</b>	<b>N</b>
<i>Nothofagus obliqua</i>	44	0,021	0,545	0,455	11
<i>Nothofagus alpina</i>	128	-0,145	-0,130	-0,183	43
<i>Nothofagus dombeyi</i>	110	0,419	0,450	0,590	11

El crecimiento en altura relativo promedio por parcela de *N. obliqua* y *N. alpina* no muestran correlaciones positivas con las tres formas de radiación solar (Cuadro 15). Sin embargo, para *N. dombeyi* el crecimiento relativo promedio por parcela tuvo correlación significativa con la radiación solar global (P = 0,029).

Cuadro 15: Coeficiente de correlación de Spearman entre el crecimiento en altura relativo promedio por parcela y la transmisión de radiación solar directa, difusa y global. (\*) correlación significativa a P < 0,05

<b>Crecimiento en altura relativo promedio</b>	<b>Altura promedio por parcela (cm)</b>	<b>Radiación solar directa</b>	<b>Radiación solar difusa</b>	<b>Radiación solar global</b>	<b>N</b>
<i>Nothofagus obliqua</i>	40,58	-0,228	0,524	0,178	11
<i>Nothofagus alpina</i>	51,94	0,195	0,185	0,194	43
<i>Nothofagus dombeyi</i>	66,33	0,551	0,396	0,651*	11

Dado que *N. dombeyi* tiene una correlación significativa, la Figura 12 representa la distribución de crecimiento en altura promedio relativo en función de la radiación solar global en porcentaje. Se observan que existen crecimientos en altura promedio que son mayores entre los porcentajes 55 y 60 de radiación solar global, además de valores que escapan de la concentración principal de datos.

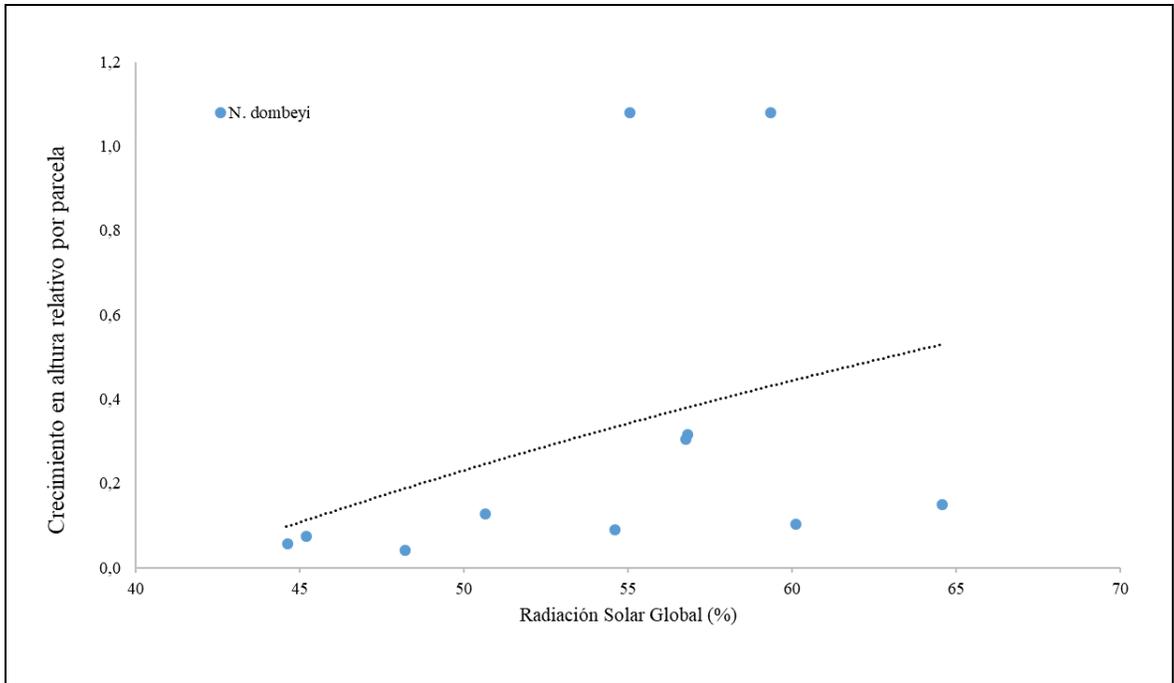


Figura 12: Relación entre crecimiento en altura relativo promedio por parcela y la radiación solar global de *N. dombeyi*. La línea punteada representa la regresión logarítmica entre ambas variables.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1 Ambiente lumínico en el interior de las fajas – interfajas

El análisis de la radiación solar directa y difusa evidencia que existe mayor incidencia de esta última. Esto es debido a que la radiación solar difusa no depende de un ángulo específico para poder alcanzar el piso del bosque, sino que ingresa al dosel arbóreo por todos los ángulos posibles (Runkle, 1995; Parent y Messier, 1995; Valladares, 2006).

La radiación solar directa que incide en el piso del bosque bajo el dosel arbóreo es entre el 5 y 10%, y los valores de radiación solar difusa varían de 5 a 20%, de la que se estaría midiendo sobre el dosel. En cambio, al abrir el dosel arbóreo la radiación solar directa y difusa aumentaron a un 25% y 30% en promedio respectivamente, situación acorde a lo esperado según lo descrito por Canham *et al* (1990) en claros de dosel. Este cambio está relacionado a que el ancho de la faja (20 m) permite que la sombra de los árboles del borde mantenga una influencia en el borde contrario y en la zona centro de la faja, lo que provoca que las nuevas condiciones creadas no sean tan abruptas, caso contrario ocurre al realizar una tala rasa en donde las condiciones que se originan por la extracción del dosel arbóreo son más extremas que la del bosque original (Hawley y Smith, 1972; Childs y Flint, 1987).

### 4.2 Plantas de regeneración establecidas en las fajas e interfajas respecto a densidad, diámetro, altura, especie y tipo de regeneración

Dentro del dosel arbóreo las densidades de las plantas de regeneración encontradas para *N. obliqua* fueron de 0,3 pl/m<sup>2</sup> y para *N. alpina* de 0,5 pl/m<sup>2</sup>, no se encontraron plantas de regeneración de *N. dombeyi*. Después de dos años de realizada la corta de regeneración en fajas, la densidad de plantas de regeneración provenientes de semillas aumenta hasta 2 pl/m<sup>2</sup> para *N. obliqua*, 1 pl/m<sup>2</sup> para *N. alpina* y aparecen plántulas de *N. dombeyi* con una densidad de 1,3 pl/m<sup>2</sup>. Los valores de *N. alpina* y *N. dombeyi* se aproximan a los encontrados por Rosenfeld (1972) en terrenos parcial y totalmente explotados, y a los encontrados en Navarro (1982) con una corta de protección con el 60% del dosel arbóreo extraído. Las densidades obtenidas en este estudio son más bajas que las alcanzadas por Promis *et al.* (2009) con *N. betuloides* y Faúndez (2014) con *N. betuloides* y *N. pumilio*, ambos trabajos desarrollados en claros de dosel naturalmente generados. Sin embargo, los valores obtenidos son mayores a los encontrados Nueva Zelandia en las especies en *N. fusca* (0,2 – 0,5 pl/m<sup>2</sup>) y *N. menziesii* (0,5 pl/m<sup>2</sup>) en claros generados de forma natural (Stewart *et al.*, 1991). Los máximos valores de densidad encontrados para *N. obliqua* y *N. dombeyi* en este estudio se encuentran en los bordes (este y oeste) de la faja y para *N. alpina* en el centro de la faja. Semejante a lo obtenido con las especies *N. betuloides* y *N. pumilio* en claros de dosel, donde las densidades mayores están ubicadas en la zona de borde y centro de los claros (Faúndez, 2014). La escasa presencia de plantas de regeneración de *N. dombeyi*, probablemente se debe a la baja cantidad de ejemplares adultos en las zonas colindantes a la faja, como también que la época de liberación de espacio no fuera un periodo de alta producción de semillas para la especie, esto debido a que los *Nothofagus* en estudio producen semillas de forma abundante en periodos entre 3 y 5 años (Donoso *et al.*, 2013a; Crawley, 2014). Esto último también puede haber afectado a

la densidad de *N. obliqua* y *N. alpina*, dado su característica cíclica de producción de semillas, además de la presión por herbívora que puedan tener (Donoso *et al.*, 2013b; Donoso *et al.*, 2013c).

En la zona de estudio entre el 83,4% y el 100% de las plántulas de regeneración de semilla de las especies se han establecido en suelo mineral. Lo anterior es acorde a lo encontrado en otros estudios, que después de una corta de regeneración, la aplicación de una escarificación en el suelo puede ayudar a la supervivencia y establecimiento de estas tres especies (Burschel *et al.*, 1976; Veblen *et al.*, 1996; Reyes *et al.*, 2013; Soto *et al.*, 2015).

*N. obliqua* y *N. alpina* tienen la capacidad de regenerar vegetativamente desde el tocón (Schmidt *et al.*, 1979; Veblen *et al.*, 1996), es por ello que no es extraño encontrarse con este tipo de regeneración en la zona de estudio. En la faja en promedio 1,5 pl/m<sup>2</sup>, concentradas en la posición centro de la faja (Apéndice 4). Este valor está dentro de los rangos encontrados en otras intervenciones de corta de regeneración (Quiroz *et al.*, 2010b). *N. dombeyi* no regeneró vegetativamente, pues no presenta este tipo de capacidad (Veblen *et al.*, 1996).

Si bien después de una abertura de dosel, en este tipo de bosques, las especies del género *Chusquea sp.* tienden a invadir el espacio (Muñoz y González, 2009; Soto *et al.*, 2014), para este caso en particular, la ocupación del sitio ha sido con especies de *G. avellana*, *D. winteri*, *L. dentata* y *D. diacanthoides* entre las principales provenientes de semillas y *G. avellana* de forma vegetativa (Donoso, 1994; Donoso *et al.*, 2013a; Donoso *et al.*, 2013b; Donoso *et al.*, 2013c). No obstante, aunque *G. avellana* es una especie definida como tolerante a semitolerante (González *et al.*, 2002; Lusk y Corcuera, 2011), es posible encontrarla en zonas de faja e interfaja en densidades similares tanto para regeneración por semillas como para regeneración vegetativa. Lo que puede ser indicio que en bosque original (antes de realizar la corta de regeneración en faja), *G. avellana* haya constituido el dosel dominante dentro del estrato intermedio (Donoso, 1982; Loewe *et al.*, 1997d).

#### **4.3 Influencia del aumento de radiación solar sobre los patrones el patrón de crecimiento**

La densidad de las tres especies de *Nothofagus* no obtuvieron una relación significativa con las distintas formas de transmisión de radiación solar, esto puede ser debido a que la densidad no está influida por la luz, y como se señaló anteriormente los factores que afectan la densidad pueden ser la producción de semillas por parte de las especies, predación por herbívora y factores abióticos (heladas, sequía) (Serrada, 2003). Teniendo en cuenta lo anterior las tres especies se distribuyeron de diferente forma en la faja, *N. obliqua* y *N. dombeyi* se encontraron en los sectores con menores intensidades de radiación solar difusa, mientras que *N. alpina* en los sectores de mayor incidencia de radiación solar difusa lo que concuerda con lo descrito por Weinberger *et al.* (2001) y Sola *et al.* (2015)

*N. dombeyi* presentó una correlación significativa con el crecimiento en altura promedio y la radiación solar global, lo que es similar a lo descrito por Donoso *et al.* (2013d), donde el crecimiento en altura de *N. dombeyi* fue significativo en las tres formas de radiación solar.

La ausencia de correlación entre los crecimientos en altura máximos y promedios de las plantas de regeneración de *N. obliqua* y *N. alpina* con la transmisión radiación solar (directa, difusa y global), puede deberse a que el aumento de la incidencia de la radiación solar por sí misma no es capaz de explicar el crecimiento de las plantas de regeneración, sino que existen otras variables que pueden incidir en los efectos que tiene la radiación solar. Por otro lado, Donoso *et al.* (2013d) documenta que el crecimiento en altura de *N. alpina* es indiferente a la disponibilidad de luz, lo que podría explicar la respuesta de la especie en este estudio. La inclusión de variables microclimáticas y de sitio en próximas investigaciones podrían mejorar los modelos de patrones de crecimiento de la regeneración en bosque de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*. Como lo es en el caso de plantaciones de *N. alpina* y *N. dombeyi* donde los modelos de crecimiento han incluido la radiación solar y la compactación del suelo obteniendo una mejor respuesta para el crecimiento en altura (Soto *et al.*, 2015).

## 5. CONCLUSIONES

La corta de regeneración en fajas de 20 m de ancho favorece el aumento de radiación solar en el piso del bosque, donde la posición centro es la más influenciada por este incremento en las componentes directa y difusa, los bordes tienen porcentajes menores de radiación solar (directa y difusa).

La corta de regeneración permite el establecimiento de las tres especies de *Nothofagus* en estudio. Pero la densidad de regeneración puede estar condicionada a la producción cíclica que tiene estas especies. Podría ser interesante realizar un seguimiento a la producción de semillas y coordinar la corta de regeneración a los años de su mayor producción. Por otro lado, se podría aplicar una escarificación al suelo con la finalidad de exponer el suelo mineral, de esa forma beneficiar la regeneración de las especies arbóreas.

Al igual que en densidad el crecimiento en altura no se ve beneficiado por las tres formas de radiación, excepto en un caso para *N. dombeyi*, en que la respuesta de esta variable con respecto a la radiación solar global sí es significativa. La respuesta de *N. obliqua* y *N. alpina* en crecimiento es indiferente a la incidencia de radiación solar.

Los parámetros de regeneración son una forma de caracterizar la respuesta de una especie al aplicar un tratamiento silvicultural, sin embargo, hay que considerar la competencia por parte de las especies acompañantes que se encuentran en la zona, como también incluir variables microclimáticas y de suelo para analizar el crecimiento durante el último periodo vegetativo.

La corta de regeneración en faja puede presentarse como una alternativa de manejo para bosques adultos del tipo forestal Ro-Ra-Co, ya que facilita y permite la regeneración de plantas de las especies principales que lo componen (*N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- AUSSENAC, G. 1999. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci* 57: 287 – 301.
- BESOAIN, E. 1985. Los Suelos. EN: Tosso, J. (Eds.) Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuario (INIA), Ministerio de Agricultura, Chile. 25 – 108.
- BURSCHEL P., GALLEGOS, C., MARTÍNEZ, O. y MOLL, W. 1976. Composición y dinámica regenerativa de un bosque virgen mixto de raulí y coigüe. *Bosque (Chile)* 1: 55-74.
- BUSING, R. 1994. Canopy cover and tree regeneration in old-growth cove forests of the Appalachian Mountains. *Vegetatio* 115: 19 – 27.
- CALDENTEY, J., PROMIS, A., SCHMIDT, H. e IBARRA, M. 1999. Variación microclimática causada por una corta de protección en un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*). *Ciencias Forestales* 14 (1-2): 51 – 59.
- CANHAM, C., DENSLOW, J., PLATT, W., RUNKLE, J. y WHITE, P. 1990. Light regimes beneath closed canopies and tree – fall gaps in temperate and tropical forests. *Can. J. For. Res.* 20: 620 – 631.
- CARLSON, A. 1997. Microclimate of clear-cut, forest interior and small openings in trembling aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 87: 313 – 329.
- CHEN, J., FRANKLIN, J. y SPIES, T. 1993. Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 63: 219 – 237.
- CHILDS, S. y FLINT, L. 1987. Effects of shadecards, shelterwoods, and clearcuts on temperature and moisture environments. *Forest Ecology and Management* 18: 205 – 227.
- CRAWLEY, M. 2014. Seed predators and plant population dynamics. IN: GALLAGHER, R. *Seeds; the ecology of regeneration in plant communities* (3<sup>rd</sup> ed). CAB international. 94-110.
- COMISIÓN NACIONAL DEL RIEGO [CNR]. 1987. Estudio de suelos, proyecto Itata, etapa I, tomo II. Chile. 336 p.
- CONAF, 2011. Catastro de los recursos vegetacionales Nativos de Chile, Monitoreo de cambios y actualizaciones, Período 1997- 2011. Santiago. Chile. 30 p.
- DAI, X. 1996. Influence of light conditions in canopy gaps on forester generation: a new gap light index and its application in a boreal forest in east central Sweden. *Forest Ecology and Management* 84:187-197.

- DEL FIERRO, P. 1998. Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. Recopilación de antecedentes para 57 especies arbóreas y evaluación de prácticas silviculturales. Proyecto Manejo Sustentable del Bosque Nativo. GTZ, CONAF. Santiago, Chile. 420 p.
- DONOSO, C. 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal. CONAF-FAO-PNUD. Documento de Trabajo N° 38. Santiago, Chile. 70 p.
- DONOSO, C. 1982. Reseña Ecológica de los bosques mediterráneos de Chile. Bosque 4(2): 117 – 146.
- DONOSO, C. 1985. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Ecología Forestal. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 420 p.
- DONOSO, C. 1989. Regeneración y crecimiento en el tipo forestal Siempreverde costero y andino tras distintos tratamientos silviculturales. Bosque 10(2): 69-83.
- DONOSO, C. 1994. Bosques templados de Chile y Argentina: variación, estructura y dinámica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 484 p.
- DONOSO, C. 2008. Ecología forestal. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 372 p.
- DONOSO, C., GALLO, L., DONOSO, P. y AZPILICUETA, M. 2004a. Variación en *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. EN: DONOSO, C., PREMOLI, A., GALLO, L. e IPINZA, R. Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. Pp. 79 – 111.
- DONOSO, C., PREMOLI, A. y DONOSO, P. 2004b. Variación en *Nothofagus* siempreverdes sudamericanos. EN: DONOSO, C., PREMOLI, A., GALLO, L. e IPINZA, R. Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. Pp. 189 - 211.
- DONOSO, C., PROMIS, Á. y COOPMAN, R. 2014. El Clima. EN: DONOSO, C., GONZÁLEZ, M. y LARA, A. Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile. Ediciones Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. Pp. 25 – 132.
- DONOSO, P., DONOSO, C., NAVARRO, C. y ESCOBAR, B. 2013a. *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. EN: DONOSO, C. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Ediciones Marisa Cuneo. Santiago. Chile. Pp. 423 – 432.
- DONOSO, P., DONOSO, C., GALLO, L., AZPILICUETA, M., BALDINI, A. y ESCOBAR, B. 2013b. *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. EN: DONOSO, C. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Ediciones Marisa Cuneo. Santiago. Chile. Pp. 471 – 485.

DONOSO, P., DONOSO, C., GALLO, L., MARCHELLI, P., GALLO, L. y ESCOBAR, B. 2013c. *Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. Et Mil. EN: DONOSO, C. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Ediciones Marisa Cuneo. Santiago. Chile. Pp. 448 - 461.

DONOSO, P., SOTO, D., COOPMAN, R. y RODRÍGUEZ-BERTOS, S. 2013d. Early performance of planted *Nothofagus dombeyi* and *Nothofagus alpina* in response to light availability and gap size in a high-graded forest in the south-central Andes of Chile. *Bosque* 34(1): 23-32.

DONOSO, P., NAVARRO, C., SOTO, D., GERDING, V., THIERS O., PINARES, J., ESCOBAR, B. y SANHUEZA, M. 2015. Manual de plantaciones de raulí (*Nothofagus alpina*) y coihue (*Nothofagus dombeyi*) en Chile. Universidad Austral. 203 p.

FAÚNDEZ, J. 2014. Efecto de transmisión de radiación solar y de la competencia sobre patrones de la regeneración natural de un bosque mixto de *Nothofagus betuloides* y *N. pumilio* en Tierra del Fuego. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 34 p.

FOURNIER, R., MAILLY, D., WALTER, J. y JONCKHEERE, I. 2017. Acquiring Hemispherical Photographs in Forest Environments: From Planning to Archiving Photographs. IN: FOURNIER, R. y HALL, R. Hemispherical Photography in Forest Science: Theory, Methods, Applications. Springer, Berlín. Pp. 85 – 114.

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

GALLO, L., DONOSO, C. y DONOSO, P. 2004. Variación en *Nothofagus nervosa* (Phil) Dim. Et Mil (*N. alpina*, *N. procera*) EN: DONOSO, C., PREMOLI, A., GALLO, L. e IPINZA, R. Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. Pp. 115 - 139.

GONZÁLEZ, M., VEBLEN, T., DONOSO, C. y VALERIA, L. 2002. Tree regeneration response in a lowland *Nothofagus*-dominated forest after bamboo dieback in South-Central Chile. *Plant Ecology* 161: 59-73.

HALL, R., CÔTÉ, J. MAILLY, D. y FOURNIER, R. 2017. Comparison Software tools for analysis of Hemispherical Photographs. IN: FOURNIER, R. y HALL, R. Hemispherical Photography in Forest Science: Theory, Methods, Applications. Springer, Berlin. Pp. 187 – 226.

HAWLEY, R. y SMITH, D., 1972. Silvicultura práctica. Ediciones Omega S.A. España. Barcelona. 544 p.

LOEWE, V., KLEIN, F. y PINEDA, G. 1997d. Monografía de Avellano chileno (*Gevuina avellana*). Silvicultura de especies no tradicionales: una mayor diversidad productiva. INFOR. Santiago. 45 p.

- LUSK, C. y CORCUERA, L. 2011. Effects of light availability and growth rate on leaf lifespan of four temperate rainforest Proteaceae. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 269-271.
- MARQUIS, D. 1965. Controlling light in small clearcuttings. Forest Service Research Paper NE-39. United States. 16 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA [MINIAGRI]. 1980. Decreto Supremo N° 259. Reglamento Técnico Decreto Ley N° 701 de 1974. Santiago, Chile.
- MORALES, L. 2003. Evaluación económica de alternativas de manejo en renovales del tipo forestal Roble – Raulí–Coigüe. (Ro – Ra – Co). Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar el Título de Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 133 p.
- MUÑOZ, A. y GONZÁLEZ, M. 2009. Patrones de regeneración arbórea en claros a una década de la floración y muerte masiva de *Chusquea quila* (Poaceae) en un remanente de bosque antiguo del valle central en el centro-sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 82(2), 185-198.
- NAVARRO, G. 1982. Evaluación natural y artificial en un bosque de coihue, raulí, mañío y tepa. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Escuela de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Agronómicas, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile. 114 p.
- NOBIS, M. y HUNIZIKER, U. 2005. Automatic thresholding for hemispherical canopy photographs based on edge detection. *Agr. For. Meteorol.* 128: 243-250.
- OTERO, L. y BONFI, T. 1999. Silvicultura de los bosques del tipo forestal Coigüe – Raulí – Tepa. EN: DONOSO, C y LARA, A. (Eds.) *Silvicultura de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. Pp. 245 – 272.
- OTERO, L. CONTRERAS, A. y BARRALES, L. 1994. Efectos ambientales de diferentes tipos de cortas en bosque nativo. El caso de las cortas de protección en fajas. *Ciencia e Investigación Forestal* 8(1): 88-118.
- PARENT, S. y MESSIER, C. 1995. A simple and efficient method to estimate microsite light availability. *Can. J. For. Res.* 26: 151 – 154.
- POLLMANN, W. y VEBLEN, T. 2004. *Nothofagus* regeneration dynamics in South-Central Chile: A Test of a General. *Ecological Monographs*, Vol. 74(4): 615 – 634.
- PROMIS, A., GÄRTNER, S., REIF A. y CRUZ, G. 2009. Effects of natural small-scale disturbance on below-canopy solar radiation and regeneration patterns in an old-growth *Nothofagus betuloides* forest in Tierra del Fuego, Chile. *Allgemeine Forest und Jagdzeitung* 181: 53-64.

- PROMIS, A., GÄRTNER, S., BUTLER-MANNING D. y DURÁN-RANGEL, C. 2011. Comparison of four different programs for the analysis of hemispherical photographs using parameters of canopy structure and solar radiation transmittance. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 11: 19 – 33.
- QUIROZ, I., GARCÍA, E. y ORTEGA, M. 2010a. Tipo forestal Roble – Raulí – Coigüe de precordillera de los Andes: Métodos de regeneración. *Chile Forestal* 349: 38 – 43.
- QUIROZ, I. GARCIA, E., ORTEGA, M., LUCERO, A., GUEVARA, H. y VILLARROEL, A. 2010b. Evaluación y análisis de los métodos de regeneración aplicados en el tipo forestal Roble – Raulí- Coigüe de la precordillera de los Andes de las regiones del Biobío y la Araucanía. CTPF-INFOR Sede Biobío. Concepción, Chile. 104 p
- REYES, J., THIERS, O., GERDING, V. y SOTO, D. 2013. Regeneración de Bosques con *Nothofagus spp.*, en Los Andes del sur de Chile: uso de escarificación del suelo como técnica facilitadora para la regeneración. *Bosque* 52: 44 – 49.
- ROSENFELD, J. 1972. Desarrollo de la regeneración de Raulí (*Nothofagus alpina*) y Coihue (*Nothofagus dombeyi*) bajo diferentes grados de luminosidad. Tesis de Grado, Instituto de Silvicultura y Reforestación. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 63 p.
- RUNKLE, J., STEWART, G. y VEBLEN, T. 1995. Sapling diameter growth in gaps for two *Nothofagus* species in New Zealand. *Ecology* 76(7): 2107 – 2117.
- SCHMALTZ, J. 1993. Aspectos de regeneración del haya y de la lenga: una comparación. *Bosque* 14(2): 19-23. Tesis de postgrado de ecología tropical. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Venezuela. 148 p.
- SCHMIDT, H., IPINZA, R. y VIAL, L. 1979. Regeneración en bosque nativo de raulí. I. Estudio bibliográfico. Investigación y desarrollo forestal. FO: DP/CHI/76/003. Documento de Trabajo N24. Santiago, Chile. 124 p.
- SCHMIDT, H., RUSTON, A. y DONOSO, S. 1991. Regeneración natural y artificial en el bosque de Coihue - Raulí - Mañío. Universidad de Chile - Corporación Nacional Forestal. 171 p.
- SERRADA, R. 2003. Regeneración natural: situaciones, concepto, factores y evaluación. Actas de la III reunión sobre regeneración natural, IV reunión sobre ordenación de montes. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 15: 11-15.
- SOLA, G., ATTIS, H., CHAUCHARD, L. y GALLO, L. 2015. Efecto del manejo silvicultural sobre la regeneración de un bosque de *Nothofagus dombeyi*, *N. alpina* y *N. obliqua* en la Reserva Nacional Lanín (Argentina). *Bosque* 36 (1): 113-120.

SOTO, D., DONOSO, P. y PUETTMAN, K. 2014. Mortality in relation to growth rate and soil resistance varies by species for underplanted *Nothofagus* seedlings in scarified shelterwoods. *New Forest* 45: 655 – 699.

SOTO, D., DONOSO, P., SALAS, C. y PUETTMAN, K. 2015. Light availability and soil compaction influence the growth of underplanted *Nothofagus* following partial shelterwood harvest and soil scarification. *Can. J. For. Res.* 45: 998 – 1005.

STEWART, G., ROSE, A. y VEBLEN, T. 1991. Forest development in canopy gaps in old-growth beech (*Nothofagus*) forest, New Zealand. *Journal of Vegetation Science* 2: 679-690.

TRONCOSO, O. 2004. Desarrollo de un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio*) después de la corta de protección en la XII región. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago. Chile 46 p.

URIBE, J., CABRERA, R., DE LA FUENTE, A. y PANEQUE, M. 2012. Atlas bioclimático de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Laboratorio de Bioenergía y Biotecnología Ambiental. Santiago. 232 p.

VALLADARES, F. 2006. La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología* 20:11–30.

VEBLEN, T., DONOSO, C., KITZBERGER, T. y REBERTUS, A. Ecology of Southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forest. 1996. EN: VEBLEN, T., HILL, R. y READ, J. (Eds.), *The ecology and biogeography of Nothofagus forests*. Yale University Press, New Haven and London. Estados Unidos. Pp. 293 – 353.

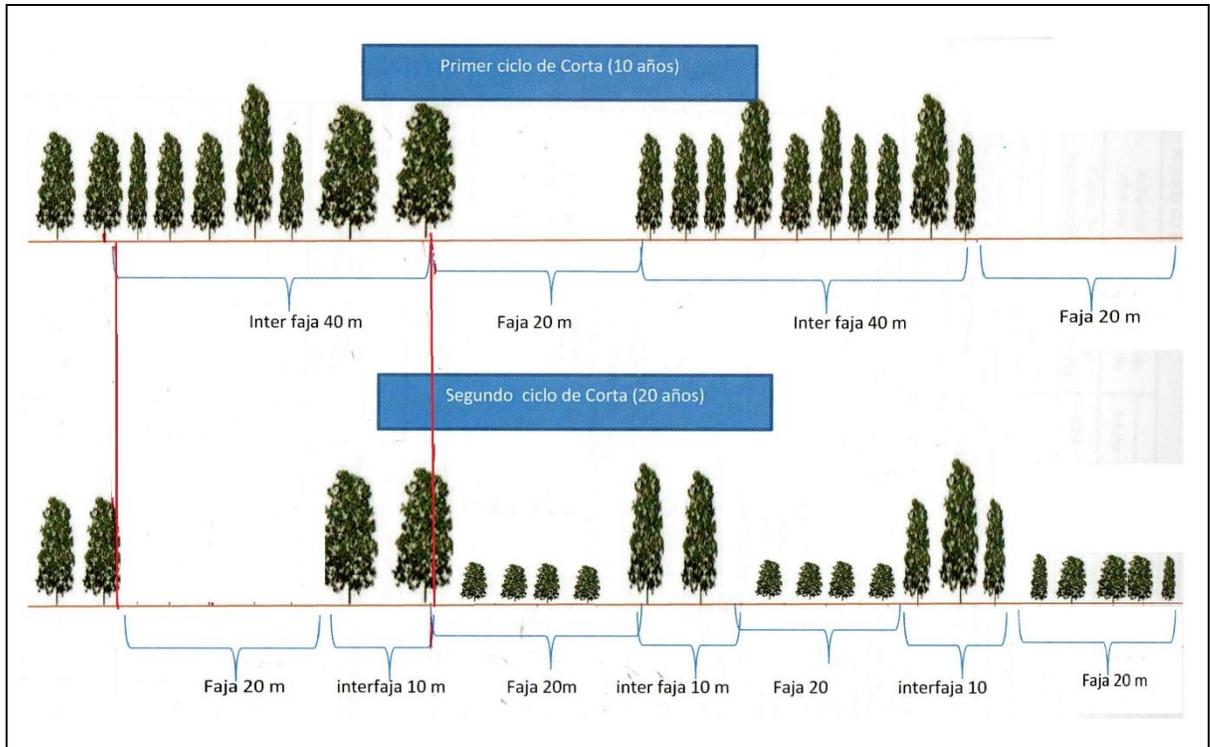
VITA, A. 1996. Los Tratamientos silviculturales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Silvicultura. Santiago, Chile. 148 p.

WEBER, D. 2004. Análisis de regeneración natural de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco bajo diferentes grados de cobertura arbórea. Trabajo de titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 24 p.

WEINBERGER, P. y RAMIREZ, C. 2001. Microclima y regeneración natural de raulí, roble y coigüe (*Nothofagus alpina*, *N. obliqua* y *N. dombeyi*). *Bosque* 22(1): 11 – 26.

## ANEXOS

**Anexo 1:** Esquema del plan de manejo bajo el criterio de ordenación forestal del Bosque Nativo Elnahue.



## APÉNDICES

**Apéndice 1:** Valores descriptivos de transmisión de radiación solar (%) en las diferentes posiciones a lo largo de la faja-interfaja, en un bosque de *N. obliqua*, *N. alpina* y *N. dombeyi*.

<i>Radiación solar directa</i>	Posición			
	<b>Interfaja</b>	<b>Borde oeste</b>	<b>Centro</b>	<b>Borde este</b>
Media	7,127	24,37	26,7	22,984
Mediana	6,758	24,743	27,121	23,638
Desv.Est.	2,586	4,045	3,685	4,004
Mínimo	3,373	15,499	17,885	16,188
Máximo	12,587	31,223	31,421	29,574
Rango	9,213	15,724	13,536	13,386
<i>Radiación solar difusa</i>	Posición			
	<b>Interfaja</b>	<b>Borde oeste</b>	<b>Centro</b>	<b>Borde este</b>
Media	9,711	32,136	36,522	30,61
Mediana	9,759	31,965	37,628	31,56
Desv.Est.	1,534	4,032	3,928	4,76
Mínimo	7,303	24,936	27,554	18,95
Máximo	12,871	40,811	41,968	36,58
Rango	5,568	15,875	14,414	17,63
<i>Radiación solar global</i>	Posición			
	<b>Interfaja</b>	<b>Borde oeste</b>	<b>Centro</b>	<b>Borde este</b>
Media	16,838	56,51	63,22	53,6
Mediana	16,333	56,73	65,54	55,04
Desv.Est.	3,826	7,28	6,95	7,77
Mínimo	10,897	44,58	46,75	38,12
Máximo	23,517	71,41	73,15	66,16
Rango	12,62	26,83	26,39	28,03

**Apéndice 2.** ANOVA unidireccional para radiación solar directa / difusa / global vs tratamiento.

Análisis de Varianza radiación solar directa					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	4765	1588,44	120,67	0,000
Error	76	1000	13,16		
Total	79	5766			
Resumen del modelo					
S	R-Cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
3,6822	82,65%	81,96%	80,77%		
Análisis de Varianza radiación solar difusa					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	8576	2858,52	201,78	0,000
Error	76	1077	14,17		
Total	79	9652			
Resumen del modelo					
S	R-Cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
3,76387	88,85%	88,41%	87,64%		
Análisis de Varianza radiación solar global					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	26113	8704,37	197,55	0,000
Error	76	3349	44,06		
Total	79	29462			
Resumen del modelo					
S	R-Cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
6,63786	88,63%	88,19%	87,47%		

**Apéndice 3:** Prueba de Levene para la radiación solar (directa, difusa y global),  $P > 0,05$

Pruebas para radiación solar directa		
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,124
Levene	1,27	0,290
Pruebas para radiación solar difusa		
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,007
Levene	3,23	0,027
Pruebas para radiación solar global		
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,042
Levene	1,74	0,167

**Apéndice 4:** Fotografía del sector estudiado un mes después de la aplicación de la corta de protección en el 2015, círculos en rojo regeneración vegetativa cercana a la posición centro.

