



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 DEL TAMAÑO DE LOS CLAROS DE DOSEL
SOBRE VARIABLES MICROCLIMÁTICAS EN UN BOSQUE DE
***Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst. EN LA REGIÓN DE AYSÉN**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniera Forestal

CRISTINA ELENA ARAVENA TORRES

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

EFECTO DEL TAMAÑO DE LOS CLAROS DE DOSEL
SOBRE VARIABLES MICROCLIMÁTICAS EN UN BOSQUE DE
***Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst. EN LA REGIÓN DE AYSÉN**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniera Forestal

CRISTINA ELENA ARAVENA TORRES

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía, Sr. Álvaro Promis Baeza	6,8
Prof. Consejero, Sr. Juan Caldentey Pont	6,7
Prof. Consejero, Sr. Gustavo Cruz Madariaga	7,0

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a mi profesor del colegio, Claudio López, por inspirarme y motivarme a dar siempre lo mejor de mí. La educación necesita más profesores como usted.

Quisiera agradecer a mi profesor guía, Álvaro Promis, por darme la oportunidad de realizar este trabajo con él. Agradecer cada momento en que se dio el tiempo para responder mis dudas. A mis profesores consejeros, Juan Caldentey y Gustavo Cruz por ayudar a mejorar el documento. Gracias a todos.

A mis amigas de U, Danira y Camila, por estar estos cinco años conmigo, por soportar mis enojos y retos en cada trabajo, por las alegrías y los llantos que pasamos juntas. Que el término de esta etapa no signifique una separación entre nosotras, espero poder seguir compartiendo momentos inolvidables junto a ustedes.

A Adrian, mi compañero de vida, por todo el cariño y paciencia que has tenido conmigo en este último tiempo. Por ser una fuente de motivación y así poder construir un futuro mejor. Te adoro.

A mi familia, por aguantar cada momento de estrés que tuve que pasar todos los fines de semestre. Por el apoyo incondicional que me brindó cada uno de ustedes, a su manera especial. A mi Mamita (Q.E.P.D.), por darme fuerza desde allá arriba. Los quiero a todos.

Y por último pero no menos importante, a mis padres, Rosa y Francisco, por apoyarme en cada decisión que tomé, por no dudar de mí y por brindarme todas las necesidades que tuve. Espero algún día poder retribuirles todo lo que han hecho por mi durante toda mi vida. Los amo.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIAL Y MÉTODOS	4
2.1 Material	4
2.1.1 Área de estudio.....	4
2.1.2 Claros de dosel	5
2.2 Método	7
2.2.1 Estimación de la radiación solar	7
2.2.2 Análisis del comportamiento de las variables microclimáticas entre claros de distintos tamaños y bajo dosel arbóreo	7
2.2.3 Comparación entre las variables de estudio en claros de distintos tamaños	8
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
3.1 Radiación solar transmitida (RS)	9
3.2 Temperatura del aire (T_A)	11
3.2.1 Análisis por periodo	11
3.2.2 Análisis mensual	13
3.2.3 Análisis diario	16
3.3 Temperatura del suelo (T_S)	19
3.3.1 Análisis por periodo	19
3.3.2 Análisis mensual	22
3.3.3 Análisis diario	25
3.4 Contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ)	28
3.4.1 Análisis por periodo	28
3.4.2 Análisis mensual	30
3.4.3 Relación entre Θ y precipitaciones	31
3.5 Implicancias silviculturales en bosques de <i>N. antarctica</i>	32
4. CONCLUSIONES	35
5. BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los claros de dosel seleccionados para el establecimiento del ensayo, en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> cercano a la localidad de Balmaceda.....	5
Cuadro 2. Valores estimados para la transmisión de radiación solar que llega al piso de los claros de dosel y bajo dosel arbóreo en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> , ubicado en la localidad de Balmaceda.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de Chile y mapa de la Región de Aysén, con la ubicación del área de estudio.	4
Figura 2. Ubicación espacial de los claros de dosel y bosque testigo en estudio en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> , cercano a la localidad de Balmaceda. G, M y P corresponden a claros grandes, medianos, pequeños respectivamente. T corresponde a las áreas testigos.	6
Figura 3. Temperatura promedio del aire por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda..	11
Figura 4. Temperatura mínima promedio del aire por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	12
Figura 5. Temperatura máxima promedio del aire por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	12
Figura 6. Temperatura promedio mensual del aire en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	14
Figura 7. Temperatura mínima promedio mensual del aire en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	14
Figura 8. Temperatura máxima promedio mensual del aire en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	15
Figura 9. Variación diaria de temperatura del aire para un día soleado (A) y nublado (B) durante el periodo de receso vegetativo en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	17
Figura 10. Variación diaria de temperatura del aire para un día soleado (A) y nublado (B) durante el periodo de crecimiento vegetativo en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda, según el tamaño de claro de dosel (grande, mediano, pequeño) y situación testigo.	18

Figura 11. Temperatura promedio del suelo por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda..	20
Figura 12. Temperatura mínima promedio del suelo por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	21
Figura 13. Temperatura máxima promedio del suelo por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	21
Figura 14. Temperatura promedio del suelo mensual en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	23
Figura 15. Temperatura mínima promedio del suelo mensual en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	23
Figura 16. Temperatura máxima promedio del suelo mensual en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	24
Figura 17. Variación diaria de temperatura del suelo para un día soleado (A) y nublado (B) durante el periodo de receso vegetativo en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	26
Figura 18. Variación diaria de temperatura del suelo para un día soleado (A) y nublado (B) durante el periodo de crecimiento vegetativo en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda..	27
Figura 19. Valores promedios de Θ por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda..	29
Figura 20. Contenido volumétrico de agua en el suelo promedio mensual en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de <i>Nothofagus antarctica</i> ubicado en la localidad de Balmaceda.	30

Figura 21. Relación entre las precipitaciones (barras grises) y el contenido volumétrico de agua en el suelo (líneas) en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. 32

RESUMEN

Se estudió la variación microclimática causada por los claros de dosel, separados según su tamaño en grandes, medianos y pequeños, en un bosque de *N. antarctica* ubicado cercano a la localidad de Balmaceda, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Mediante el uso de fotografías hemisféricas, se estimó el porcentaje de radiación solar (RS) que llega al piso del bosque o del claro, respecto a la que estaría llegando sobre el dosel arbóreo. Además, se instalaron registradores de datos en los centros de los claros de dosel y bajo tres condiciones de cobertura continua de copas, que almacenaban la información de variables microclimáticas de manera continua de: temperatura del aire (T_A , °C), temperatura del suelo (T_S , °C) y contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ , m^3/m^3), las que fueron compiladas a lo largo de un año.

La RS directa, difusa y global transmitida muestra diferencias significativas entre los claros de dosel y la situación testigo, resultando siempre mayor en el claro de dosel grande, donde los montos de radiación fueron hasta casi 5 veces más alta de la que se registra bajo el bosque testigo. Respecto a T_A y T_S , las temperaturas mínimas y medias fueron más altas bajo el dosel arbóreo continuo durante los meses de otoño – invierno, con diferencias de hasta 0,7 °C, mientras que las temperaturas máximas y medias más altas se registraron en el claro grande para los meses de primavera – verano con diferencias de hasta 3,9 °C. En cuanto a Θ , los valores son más altos en los claros de dosel grande en el periodo de receso, y en el claro pequeño para el periodo de crecimiento, sin existir diferencias significativas entre sectores.

Los resultados obtenidos son una fuente preliminar de información respecto a los cambios microclimáticos causados por los claros de dosel en un bosque de *N. antarctica*. Los datos serán útiles al momento de realizar una plantación suplementaria para restaurar bosques degradados y comprender si el tamaño del claro influye de manera positiva o negativa en el desarrollo y establecimiento de las plantas de *N. antarctica*.

Palabras claves: *Nothofagus antarctica*, ñirre, claros de dosel, microclima forestal, Patagonia.

ABSTRACT

The microclimatic variation caused by the canopy gaps, distributed in large, medium and small sizes, was studied in a forest of *Nothofagus antarctica* it is located in Balmaceda, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Through the use of hemispheric photographs, the percentage of solar radiation (RS) that reaches the forest floor or the gap with respect to the one that would be arriving on the tree canopy was estimated. Data loggers were installed in the centers of the canopy gaps and under three conditions of continuous crown coverage, the data logger stored the information of following microclimatic variables: air temperature (T_A , °C), soil temperature (T_S , °C) and soil volumetric water content (Θ , m^3/m^3) during a year.

The direct, diffuse and global solar radiation transmitted into the forest showed significant differences between the canopy gaps and the control situation, being always greater in the large canopy gap, where the radiation amounts were up to almost 5 times higher than that registered under the closed forest condition. Regarding T_A and T_S , the minimum and average temperatures were higher under the continuous arboreal canopy during the autumn – winter months, with differences of up to 0.7 °C, while the highest and mean temperatures were registered in the large gap for the spring – summer months with differences of up to 3.9 °C. Θ where higher values are higher in the large canopy gaps in the dormant season and in the small canopy gaps for the period of growth, without significant differences.

These results are a preliminary source of information regarding microclimatic changes caused by canopy gaps in a *N. antarctica* forest. The data will be useful when carrying out a supplementary plantation to restore degraded forests and to understand if the size of the gaps has a positive or negative influence on the regeneration of *N. antarctica* seedling.

Key words: *Nothofagus antarctica*, ñirre, canopy gaps, forest microclimate, Patagonia.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques ejercen una influencia sobre el intercambio de energía que se produce entre la atmósfera y el suelo, debido a que utilizan la energía proveniente de ella para los procesos fisiológicos (Geiger *et al.*, 2003). Las características propias del ecosistema, como su estructura y densidad, sumado a las condiciones de terrenos tales como exposición, pendiente y latitud, entre otras, generan modificaciones en mayor o menor grado sobre el clima regional, provocando una alteración en los parámetros climáticos y generando así un microclima forestal (Parde, 1978; Donoso, 1981; Aussenac, 1997a; 2000).

Este microclima que se genera bajo la cubierta forestal posee un papel trascendental en el desarrollo y perpetuación de las especies, siendo las variables de radiación solar, temperatura del aire, humedad del suelo y el viento las que influyen en los procesos de fotosíntesis, respiración, reproducción, germinación y mortalidad de las plantas (Barnes *et al.*, 1998; Gómez, 2004). Este microclima se ve alterado por la formación de claros de dosel, cuyos cambios dependen de la intensidad y severidad del disturbio, los cuales generan nuevas condiciones que pueden tener diversos efectos sobre la comunidad de plantas, dado que las variables microclimáticas tienen influencia directa sobre los distintos procesos ecológicos (Sousa, 1984; Latif y Blackburn, 2010; González *et al.*, 2014).

Los claros de dosel corresponden a la superficie del piso del bosque que se encuentra directamente bajo la abertura del dosel (Runkle, 1992) la cual se produce por la caída de árboles, modificando la estructura y composición de especies de un ecosistema, comunidad o población, además de alterar la disponibilidad de recursos y generar cambios en el medioambiente físico, teniendo diferentes efectos de acuerdo a su intensidad y a las características propias del sistema afectado (White y Picket, 1985; Picket *et al.*, 1989). Su importancia radica en que son eventos claves para la generación de hábitats y recursos que permiten la mantención de la biodiversidad ecológica, siendo un factor clave para distintos tipos de bosques (Sousa, 1984). Por ejemplo, especies arbóreas en bosques templados de Magallanes continental y Tierra del Fuego, como *Nothofagus pumilio* y *Nothofagus betuloides*, necesitan de la formación de claros de dosel para el establecimiento y crecimiento de la regeneración (Rebertus y Veblen, 1993).

Diversos estudios han demostrado que los cambios en las condiciones microclimáticas varían significativamente de acuerdo al tamaño de apertura del dosel (Latif y Blackburn, 2010). Muscolo *et al.* (2014) explicaron que la cantidad de luz y radiación solar aumenta significativamente a medida que el tamaño del claro sea más grande. Latif y Blackburn (2010) reportan diferencias significativas en el monto de radiación solar global en un bosque de *Quercus petraea* y *Fagus sylvatica* (ubicado al norte de Lancashire, Inglaterra), donde claros grandes reciben 638 W/m^2 , mientras que el más pequeño recibe 90 W/m^2 . La misma situación ocurre con la temperatura del aire, existiendo diferencias de $6 \text{ }^\circ\text{C}$ según el tamaño del claro, lo cual se encuentra correlacionado con la entrada de la radiación solar (Gray *et al.*, 2002). Sin embargo, la temperatura del aire puede disminuir en la medida que el claro sea más grande, en relación a la altura de los árboles que circundan al claro, pues el viento que ingresa al claro se mezcla con el aire dentro de él, provocando su descenso (Geiger *et al.*, 2003).

Muscolo *et al.* (2014) señalan que se requiere estudios adicionales para comprobar la relación entre el tamaño del claro y las variaciones que provoca en la temperatura y humedad del suelo, ya que existe controversia respecto a este tema debido a que algunos estudios se contradicen. Frente a esto, Gray *et al.* (2002) y Gugliotta *et al.* (2006), en un bosque dominado por *Pseudotsuga menziesii* en Estados Unidos y *Pinus laricio* en Italia, respectivamente, demostraron que el tamaño del claro sí influye en la temperatura del suelo, siendo mayor en claros de tamaños grandes en comparación a la temperatura que se registra bajo dosel arbóreo. Por otro lado, Gálhidy *et al.* (2006), en un bosque dominado por *Fagus sylvatica* al norte de Hungría, indicaron que no existen diferencias significativas entre el contenido de humedad del suelo y el tamaño del claro (22,4% por volumen de suelo en claros pequeños y 21,8% en claros grandes). Mientras que Muscolo *et al.* (2007a), para un bosque de coníferas al sur de Italia, evidenciaron cambios significativos en el contenido de agua en el suelo según el tamaño del claro, teniendo valores más altos en claros pequeños (31%) que en claros grandes (25%). Estas diferencias pueden deberse a las características orgánicas propias del suelo como son la densidad de raíces (Muscolo *et al.*, 2014) o bien a las variaciones locales como la profundidad del suelo y la pedregosidad (Gálhidy *et al.*, 2006).

Diversas especies del género *Nothofagus* aprovechan la formación de claros de dosel para el desarrollo de plantas de regeneración. La regeneración de bosques dominado por especies de *Nothofagus*, en general, se encuentra influenciada por la acción de disturbios a gran escala, dado que las condiciones en las que crecen (clima templado y baja elevaciones) compiten con especies tolerantes a la sombra, mientras que a más altas elevaciones, donde la riqueza de especies es menor, la regeneración puede ocurrir tanto después luego de un disturbio a gran escala como también a pequeña escala (Veblen *et al.* 1996; Pollmann y Veblen, 2004). En bosques templados ubicados a baja altitud, la ausencia de disturbios o la ocurrencia de pequeños claros de dosel producen un reemplazo sucesional, favoreciendo a especies más tolerantes a la sombra (Veblen *et al.*, 2004).

Por ejemplo, la dinámica de regeneración de *N. pumilio* se encuentra asociada a claros de dosel, y sobre todo a su tamaño, puesto que las plantas de regeneración requieren de una alta cantidad de luz para su desarrollo (Donoso, 1995). En bosques no intervenidos, una parte de su superficie se encuentra sometida a la dinámica de claros, los cuales son ocupados por las plantas de regeneración preexistente, o que se instala con posterioridad de la formación del claro, conformando rodales de pequeña escala con una mezcla de edades (Bava y Rechene, 2005). En rodales cuyos claros de dosel son de gran tamaño, las plantas de regeneración se desarrollan vigorosamente en altura, llegando a alcanzar el dosel de los árboles padres remanentes, después de 70 a 100 años, pudiendo llegar a formarse rodales coetáneos (Bava y Rechene, 2005).

En el tipo forestal coihue – raulí – tepa (*Nothofagus dombeyi* – *Nothofagus alpina* – *Laureliopsis philippiana*), en su límite altitudinal (1.120 – 1.520 msnm), las plantas de regeneración de *N. dombeyi* están influenciadas por el tamaño del claro, siendo el principal sucesor en claros de dosel de mayor tamaño, ocupando el 50% de la superficie en claros de superficie entre 700 – 3.200 m², mientras que *N. alpina* ocupa alrededor del 40% para la misma superficie (Ovalle, 1995). En claros más pequeños, de superficies entre 120 a

1.500 m², *N. dombeyi* no es capaz de regenerar dado que el claro es rápidamente ocupado por especies algo más tolerantes a la sombra, tales como *L. philippiana*, *Saxogothea conspicua* y *Dasyphyllum diacanthoides*, e inhibida por la presencia de *Chusquea culeou* (Veblen, 1985).

En bosques de la costa occidental de Tierra del Fuego, *N. betuloides* requiere de claros de dosel de mayor tamaño (> 1.000 m²) para regenerar exitosamente, puesto que crece en asociación con *Drimys winteri*, quien limita su regeneración cuando se producen claros pequeños, sobrepasándolo en el número de ejemplares (Rebertus y Veblen, 1993).

En relación a la dinámica de regeneración de *Nothofagus antarctica*, se sabe que la capacidad germinativa es muy baja en comparación a otras especies del género *Nothofagus*, siendo la reproducción vegetativa el mejor método de la especie para mantenerse en lugares asociados a disturbios como fuego y ganadería (Donoso, 2006). Actualmente, los bosques de *N. antarctica* se encuentran conformados por un alto número de claros de dosel de diferentes tamaños, ocasionados por el uso extensivo de ganadería y corta de árboles para extracción de leña en forma desregulada, lo que ha ido provocando una degradación del bosque (Navarro *et al.*, 2008; Peri y Omaechea, 2013). En relación a esto, Donoso *et al.* (2013) señalaron que existiría una oportunidad de recuperar bosques degradados de *Nothofagus*, utilizando la existencia de claros de dosel en bosques floreados. Dicha situación se encuentra respaldada por el estudio que realizaron en bosques de *N. dombeyi* y *N. alpina*, donde las plantas de regeneración de ambas especies se vieron favorecidas por claros de dosel de tamaños grandes y medianos, respectivamente, teniendo una sobrevivencia entre 84 y 100% al segundo año de evaluación.

Los claros de dosel forman parte de la dinámica de bosques, influyendo en los cambios de estructura y composición de especies producto de la alteración en las condiciones microclimáticas. Entender estos cambios resulta la base para aplicar tratamientos silviculturales, puesto que ellos nos llevarán a una condición de rodal deseado con un objetivo específico, tales como producción de bienes y servicios, permitiendo asegurar los objetivos de conservación y restauración de los bosques (Donoso *et al.*, 2014). Sin embargo, aún falta investigar, para especies deciduas del género *Nothofagus*, las variaciones microclimáticas ocasionadas por los claros de dosel y su influencia en el establecimiento en las plantas de regeneración (Promis *et al.*, 2015).

En relación a lo expuesto, la presente memoria tiene como objetivo general evaluar el efecto del tamaño de los claros de dosel sobre variables microclimáticas y el contenido de agua en el suelo de un bosque de *Nothofagus antarctica*. Para ello se definieron los siguientes objetivos específicos: 1) Estimar la radiación solar (directa, difusa y global) incidente en claros de dosel de distintos tamaños y bajo dosel arbóreo en bosque de *N. antarctica*, durante un período de crecimiento (octubre – marzo) y receso vegetativo (abril – septiembre); 2) Analizar el comportamiento de las variables microclimáticas en función de distintos tamaños de claros de dosel y bajo el dosel arbóreo en un bosque de *N. antarctica* durante un año y 3) Comparar los valores de radiación solar incidente, de las variables microclimáticas y del contenido volumétrico de agua en el suelo entre claros de dosel de distintos tamaños y bajo dosel arbóreo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a un bosque de *N. antarctica* ubicado en el Predio Lote D (45°50'S, 71°47'W, 615 msnm), localidad de Balmaceda, Comuna de Coyhaique, Provincia de Coyhaique, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo (figura 1).

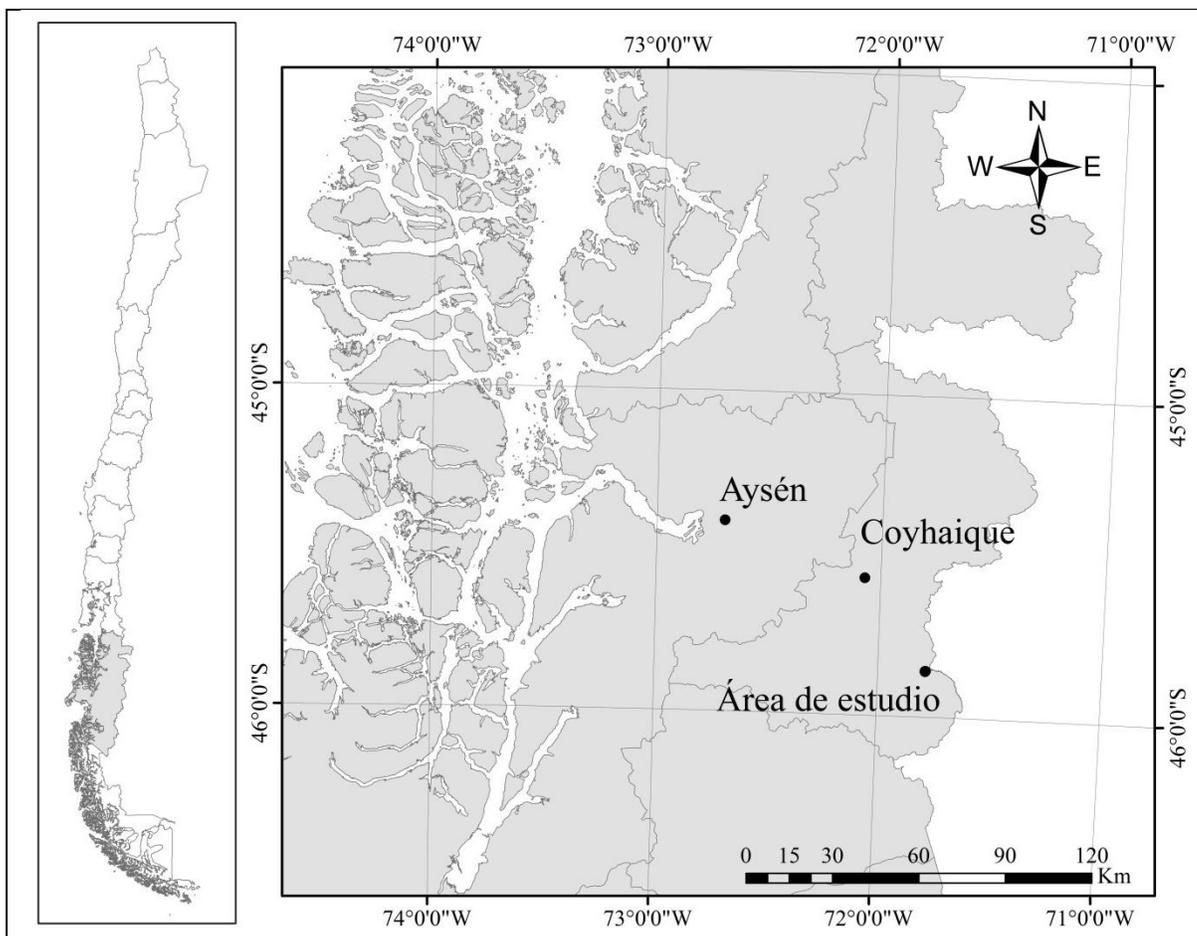


Figura 1. Imagen de Chile y mapa de la Región de Aysén, con la ubicación del área de estudio.

La localidad de Balmaceda se encuentra inserta en la ecorregión boreal húmeda fría, la que presenta un clima transandino con degeneración estepárica (Dfk'c según Köppen). Las precipitaciones anuales pueden llegar a ser entre 500 y 600 mm y se distribuyen de forma homogénea a lo largo del año, donde en el mes de julio caen en forma de nieve (SAG, 2001). Las temperaturas medias del aire oscilan entre los 15 °C en el mes más cálido y 5 °C en el mes más frío (DMC, 2001).

La geomorfología de la localidad de Balmaceda corresponde a relieves planiformes orientales, los cuales son sitios planos con lomajes suaves, y en donde no existe drenaje se forman pantanos (IDE, 2005).

Desde el punto de vista fitogeográfico, en el área de estudio se presenta la formación vegetal del Bosque Caducifolio de Aysén, con énfasis en la asociación de *Nothofagus antarctica* – *Berberis microphylla*, la cual se caracteriza por presentar una fisionomía de matorral alto y limita con la estepa patagónica (Gajardo, 1994).

El área de estudio corresponde específicamente a un bosque de *N. antarctica*, en donde se seleccionó una superficie aproximada de cuatro hectáreas. El bosque presenta una densidad media de 458 árb/ha (con diámetro a la altura del pecho sobre 5 cm) y un área basal media de 24,7 m²/ha. Este bosque ha sido afectado en el pasado por la acción del fuego, la habilitación de terrenos para ganadería y corta de árboles sin un plan de manejo.

2.1.2 Claros de dosel

En el bosque de *N. antarctica* se realizaron 12 claros de dosel en febrero de 2015, distribuidos en tres tamaños: pequeños, en los que el índice de tamaño de claro (d/h, diámetro de claro respecto a la altura de los árboles dominantes que circundan el claro) es menor a 1; mediano (d/h entre 1 y 2) y grandes (d/h mayor a 2). De estos claros se seleccionaron tres por cada clase de tamaño, cuyas características se presentan en el cuadro 1. Además, se seleccionaron tres áreas testigos que correspondían a una formación boscosa continua de *N. antarctica*, con una cobertura de dosel superior al 75%. La distribución espacial de los claros de dosel y del bosque testigo se aprecia en la figura 2.

Cuadro 1. Características de los claros de dosel seleccionados para el establecimiento del ensayo, en un bosque de *Nothofagus antarctica* cercano a la localidad de Balmaceda.

Claro	Superficie claro (m ²)	d (m)	h (m)	Índice tamaño claro (d/h)
Pequeño 1	20,0	5,1	11,0	0,5
Pequeño 2	34,8	6,7	10,0	0,7
Pequeño 3	24,1	5,5	9,0	0,6
Mediano 1	67,8	9,3	8,0	1,2
Mediano 2	95,2	11,0	11,0	1,0
Mediano 3	90,2	10,7	10,0	1,1
Grande 1	275,6	18,7	9,0	2,1
Grande 2	275,6	18,7	9,0	2,1
Grande 3	391,9	22,3	10,0	2,2

d = diámetro del claro de dosel, h = altura de los árboles más altos alrededor del claro.

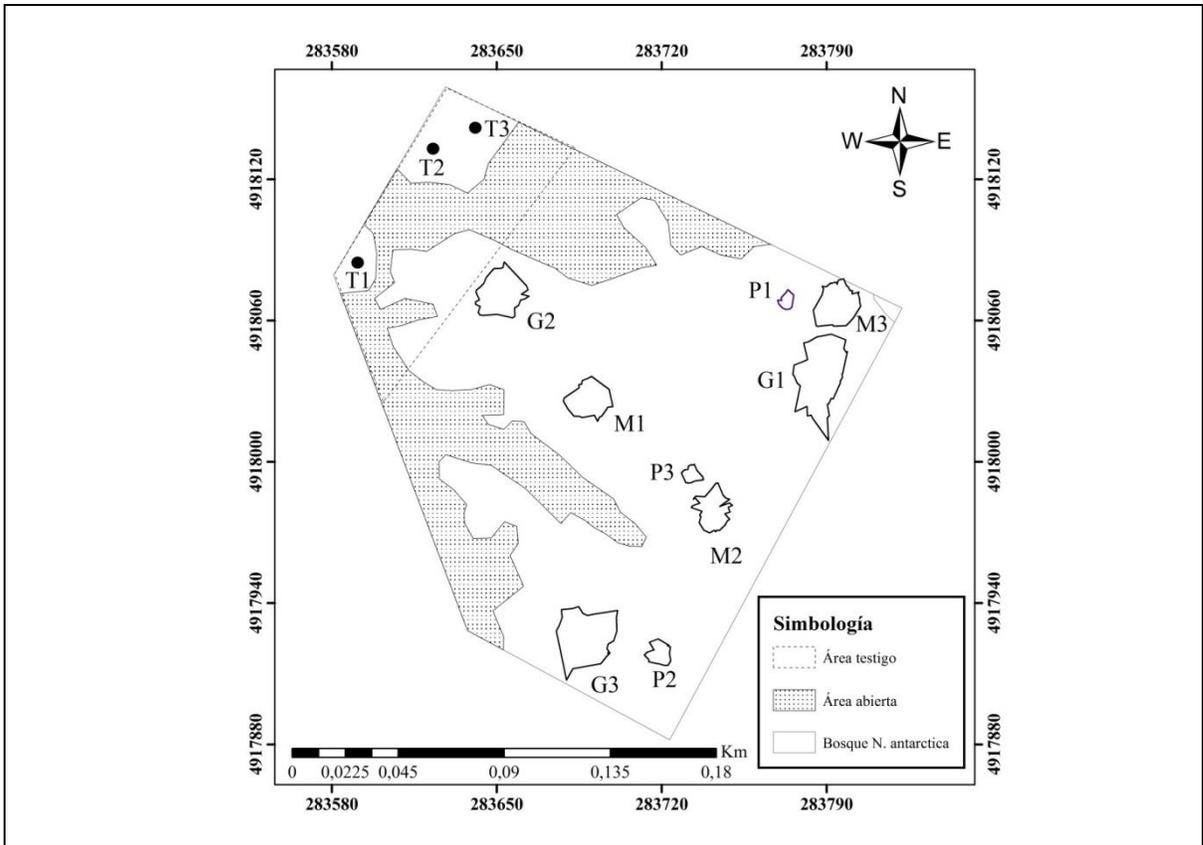


Figura 2. Ubicación espacial de los claros de dosel y bosque testigo en estudio en un bosque de *Nothofagus antarctica*, cercano a la localidad de Balmaceda. G, M y P corresponden a claros grandes, medianos, pequeños respectivamente. T corresponde a las áreas testigos.

En el centro de cada claro de dosel y bajo las tres condiciones de cobertura continua de copas, se instalaron registradores de datos (data logger) Em50 (Decagon Device). Estos equipos almacenaron datos valóricos de variables microclimáticas de manera continua, haciendo registros a la hora. En cada registrador se conectó un sensor para medir la temperatura del aire (T_A , °C) (modelo ECT) y un sensor mixto para medir la temperatura (T_S , °C) y el contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ , m^3/m^3) (modelo 5TM) a 15 centímetros de profundidad. Además, fuera del bosque se instaló un registrador de datos conectado a un sensor para la medición de radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol}/m^2s$) (modelo QSO-S) y un pluviómetro para registrar las precipitaciones (mm) (modelo ECRN-100).

Para la estimación de la radiación solar se utilizaron fotografías hemisféricas tomadas con una cámara Canon EOS 60D y un lente ojo de pez Sigma 4,5 mm F2,8 EX DC, a una altura de 1,3 m sobre el nivel del suelo en el centro de cada claro de dosel y bajos las tres situaciones testigos. Estas fotografías se utilizaron para estimar la proporción de la radiación solar directa, difusa y global que llegaba al interior del bosque y de los claros. Las fotografías se tomaron en dos ocasiones, mientras los árboles se encontraban sin follaje

(septiembre 2016) y con follaje (enero 2017). Las fotografías se obtuvieron en el mismo punto, siguiendo los protocolos descritos en Promis *et al.* (2011).

2.2 Método

2.2.1 Estimación de la radiación solar

La radiación solar directa, difusa y global transmitida al interior de cada claro y bajo dosel cerrado se estimó a través del análisis de fotografías hemisféricas. Este análisis permitió estimar el porcentaje de radiación solar que llega al piso del bosque o del claro, respecto a la que estaría llegando sobre el dosel arbóreo. Este análisis se realizó de forma separada para las fotografías tomadas en épocas de verano (con follaje) respecto a las tomadas en invierno (sin follaje).

El protocolo, descrito por Promis *et al.* (2011), considera un procesamiento de las imágenes, la búsqueda del mejor valor umbral, utilizando el método de ajuste de umbral automático basado en la detección de borde (Nobis y Hunziker, 2005) para separar píxeles, diferenciándose lo que corresponde a cielo respecto al dosel arbóreo, mediante el uso del software SideLook 1.1.01 (Nobis, 2005). Posteriormente, para la estimación de la transmisión de radiación solar se utilizó el software Hemiview (versión 2.1).

2.2.2 Análisis del comportamiento de las variables microclimáticas entre claros de distintos tamaños y bajo dosel arbóreo

El análisis de las variables microclimáticas contempló el registro de información de un año, considerando el inicio el periodo de montaje de las instalaciones en junio de 2016, prolongándose las mediciones hasta mayo 2017.

Se calcularon los valores mínimos (T_{Amin} , T_{Smin}), máximos (T_{Amax} , T_{Smax}), promedios (T_A , T_S) y oscilación térmica para las variables de temperatura del aire (T_A) y del suelo (T_S) de manera mensual, diaria e integrada al período de receso (integra información entre abril septiembre) y crecimiento vegetativo (integra información entre octubre y marzo). Para el análisis diario se utilizaron los días con mayor y menor luminosidad, ocupando el registro de datos diarios del sensor de flujo de fotones fotosintéticos, instalado a las afueras del bosque. En cuanto a los periodos de crecimiento y receso vegetativo, se consideraron los meses de octubre a marzo y de abril a septiembre, respectivamente (Promis *et al.*, 2010a).

Para el contenido volumétrico de agua en el suelo se calculó el promedio mensual y el promedio para los periodos de crecimiento y receso vegetativo (con y sin follaje respetivamente). Además, se relacionó el registro diario del contenido volumétrico de agua en el suelo con el registro de precipitaciones, con el fin de verificar tendencias entre la precipitación registrada respecto a los patrones de distribución temporal del contenido volumétrico de agua en el suelo en los claros de distintos tamaños.

2.2.3 Comparación entre las variables de estudio en claros de distintos tamaños

Para analizar si es que existían diferencias entre los registros de las variables microclimáticas antes descritas, entre los claros de dosel y el dosel cerrado del bosque, se realizó la prueba no paramétrica H de Kruskal-Wallis (con $P < 0,05$), previa verificación de que los datos no cumplieran los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Aquellas variables que presentaron diferencias significativas se realizó la prueba U de Mann-Whitney (con $P \leq 0,05$) con el fin de conocer qué tratamiento generaba diferencia. Los cálculos se realizaron con el software SPSS para Windows.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Radiación solar transmitida (RS)

El análisis de las fotografías hemisféricas determina que el porcentaje de RS directa, difusa y global, tanto para época de verano como en invierno, que llega al piso del bosque, respecto a la que estaría llegando sobre el dosel arbóreo, se ve afectado por la influencia del tamaño de los claros de dosel, donde la tendencia indica que a medida que el dosel arbóreo se va abriendo la radiación solar aumenta.

La estimación de la RS directa transmitida durante el período de receso y crecimiento vegetativo, varía entre 31,9 - 97,1% y 24,7 - 92,3%, respectivamente (cuadro 2). Los valores obtenidos de la RS directa fueron estadísticamente mayores en los claros de dosel de tamaño grande ($P < 0,05$), registrando valores de hasta 2,6 (en el periodo de receso) y 3,3 (periodo de crecimiento) veces más altos que aquellos que se verifican bajo la situación testigo (ver apéndice I).

La RS difusa transmitida durante el periodo de receso fluctúa entre 24,5 y 99,5%, mientras que el periodo de crecimiento varía entre 17,7 y 98,5% (cuadro 2). Existe diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los grupos, donde el claro de dosel grande registra valores más alto para el periodo de receso (3,0 veces mayor) y de crecimiento (4,6 veces mayor) que el monto estimado para la situación testigo (ver apéndice I).

Cuadro 2. Valores estimados para la transmisión de radiación solar que llega al piso de los claros de dosel y bajo dosel arbóreo en un bosque de *Nothofagus antarctica*, ubicado en la localidad de Balmaceda. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

Periodo	Transmisión radiación solar (%)		Claro			
			Testigo	Pequeño	Mediano	Grande
Receso	Directa	Promedio	35,0 a	65,0 b	81,4 c	92,3 d
		Rango	31,9 - 40,9	63,6 - 66,3	80,6 - 82,0	89,3 - 97,1
	Difusa	Promedio	32,3 a	66,7 b	88,6 c	98,0 d
		Rango	24,5 - 43,0	60,9 - 72,4	86,1 - 92,9	95,7 - 99,5
	Global	Promedio	34,0 a	65,6 b	84,0 c	94,4 d
		Rango	29,2 - 41,7	62,6 - 68,5	82,9 - 85,9	91,6 - 97,8
Crecimiento	Directa	Promedio	27,2 a	43,7 b	74,4 c	90,0 d
		Rango	24,7 - 33,3	35,9 - 53,0	70,5 - 76,5	87,9 - 92,3
	Difusa	Promedio	21,0 a	38,6 b	80,0 c	96,1 d
		Rango	17,7 - 23,0	26,6 - 54,5	72,6 - 90,2	94,5 - 98,5
	Global	Promedio	25,0 a	41,9 b	76,4 c	92,2 d
		Rango	23,5 - 27,6	32,6 - 53,5	71,3 - 81,4	90,5 - 93,1

La RS global transmitida estimada varía entre 29,2 y 97,8% durante el periodo de receso y entre 23,5 y 93,1% en la época de crecimiento (cuadro 2). Existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los grupos observados, donde el monto estimado para ambos periodos es mayor en los claros de dosel grande, llegando a ser 2,8 veces más grande en el periodo de receso y 3,7 veces más alta durante el periodo de crecimiento, que aquella que se registra en la situación testigo (ver apéndice I).

Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Damascos (1998), Ritter *et al.* (2005), Gálhidy *et al.* (2006), Heinemann y Kitzberger (2006), Promis *et al.* (2010b) y Latif y Blackburn (2010), los cuales señalan que los montos de RS directa, difusa y global son mayores dentro del claro de dosel, pudiendo llegar a ser entre 1 a 3,6 veces más altas que las que se registran bajo el dosel arbóreo (Otero *et al.*, 1996). La radiación solar presenta variaciones a medida que penetra en el bosque, donde una porción de ella llega efectivamente al suelo, llegando a presentar variaciones entre un 5 a 50% en relación a la radiación solar que se registra en el exterior del bosque (Clearwater *et al.*, 1999). Estas variaciones dependen del tipo de formación boscosa, la altura de los árboles circundantes al claro, del ángulo de inclinación del sol, de las condiciones del cielo y sobre todo, al tamaño de apertura del dosel (Messier, 1996).

Los valores estimados de RS directa, difusa y global que llega al piso del bosque o del claro, respecto a la que estaría llegando sobre el dosel arbóreo, resultan más bajos durante el periodo de crecimiento vegetativo dado que los árboles presentan follaje, permitiendo absorber una mayor cantidad de radiación solar. Así pues, la situación testigo llega a captar hasta un 75% de la radiación solar, en contraste con el claro grande quien capta solo un 7,8% de la radiación. Donoso (1981) indica que rodales densos pueden llegar a absorber hasta el 90% de la radiación solar, a diferencia de bosques más abiertos que pueden absorber cerca del 60%, estos porcentajes varían de acuerdo a la especie y la estructura del rodal, sumado además a las condiciones de terreno.

Es importante comprender las variaciones que se producen en la radiación solar en los ecosistemas, puesto que esta radiación tiene efectos directos sobre los distintos procesos ecológicos en las plantas, tales como la regeneración, el crecimiento y supervivencia (Kimmins, 1987; Grant, 1997). Conocer estos cambios ayuda a planificar las estrategias silvícolas, debido a que la luz solar es un factor determinante para el desarrollo de las plantas, dado que es la parte de la radiación que es utilizada en el proceso de fotosíntesis (Donoso *et al.*, 2014). Además, diversos estudios han demostrado que el crecimiento de las plántulas se ve favorecido por los incrementos en la intensidad y en la exposición de la luz (Muscolo *et al.*, 2014). Por ejemplo, Veblen *et al.* (1996) señalan que las plántulas del género *Nothofagus* crecen mejor bajo condiciones de mayor intensidad lumínica, ante lo cual, Donoso *et al.* (2013) indican la oportunidad de utilizar los claros de dosel para el establecimiento de plántulas de regeneración, pues en ellos se produce una combinación entre protección y fuente de luminosidad para el establecimiento de plántulas de regeneración para las especies de *Nothofagus* intolerantes a la sombra, permitiendo así la recuperación de bosques degradados.

3.2 Temperatura del aire (T_A)

3.2.1 Análisis por periodo

No se presentan diferencias significativas en ningún periodo respecto a la T_A promedio ($P > 0,05$). El bosque testigo presenta temperaturas levemente más altas respecto a las temperaturas registradas en los claros de dosel, durante el periodo de receso (figura 3A), con diferencias de hasta $0,4\text{ }^\circ\text{C}$. Por otro lado, en el periodo de crecimiento, el claro de dosel de tamaño grande presenta temperaturas más altas en comparación a los claros de dosel de menor tamaño y la situación testigo, con diferencias de hasta $0,2\text{ }^\circ\text{C}$ (figura 3B).

En cuanto a T_{Amin} , el bosque testigo registra temperaturas más elevadas en ambos periodos, con diferencias de hasta $0,7\text{ }^\circ\text{C}$ (figura 4), sin embargo estas diferencias no son significativas entre las áreas de estudios para ningún periodo ($P > 0,05$).

Respecto a T_{Amax} , los claros de dosel grande y mediano tienden a registrar temperaturas más altas en comparación a los claros de dosel pequeño y el bosque testigo, para ambos periodos, con diferencias de hasta $0,8\text{ }^\circ\text{C}$ durante el periodo de receso y $1,4\text{ }^\circ\text{C}$ en el periodo de crecimiento vegetativo (figura 5), no obstante, no existe diferencia significativa entre los grupos para ningún periodo ($P > 0,05$).

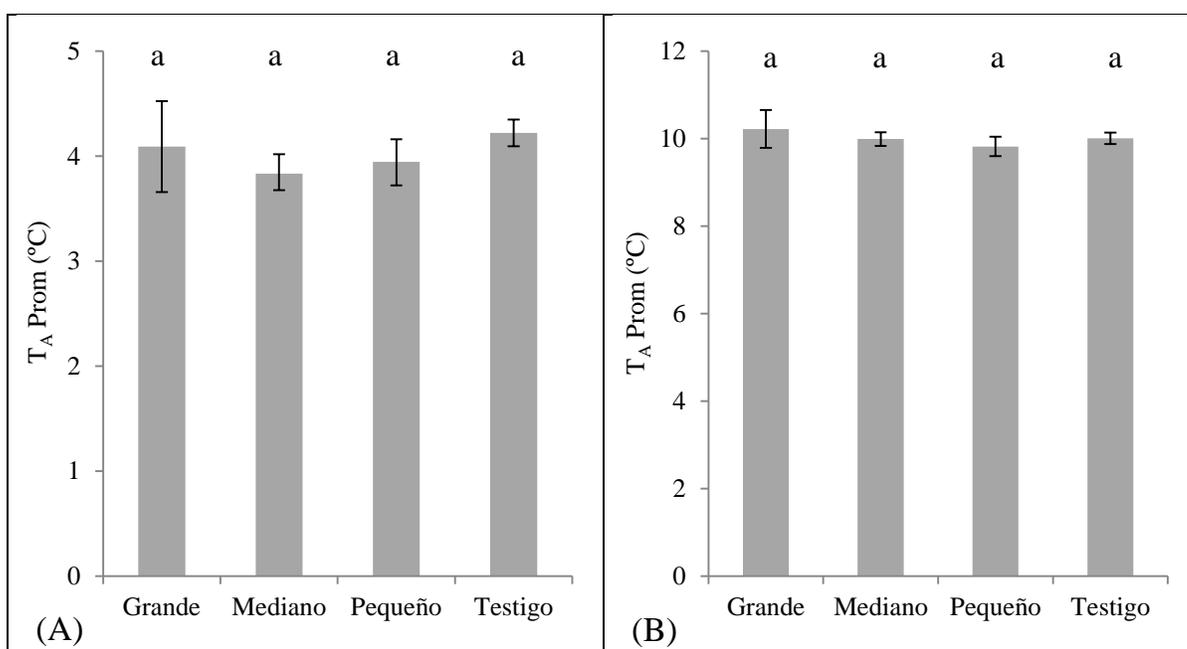


Figura 3. Temperatura promedio del aire por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras internas (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

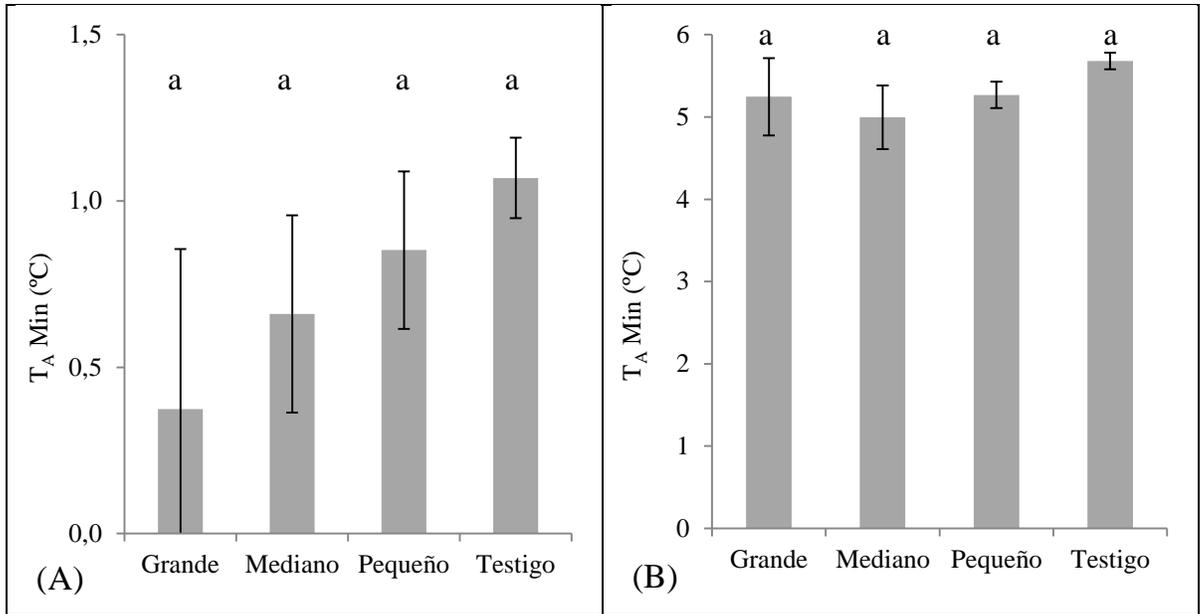


Figura 4. Temperatura mínima promedio del aire por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras internas (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

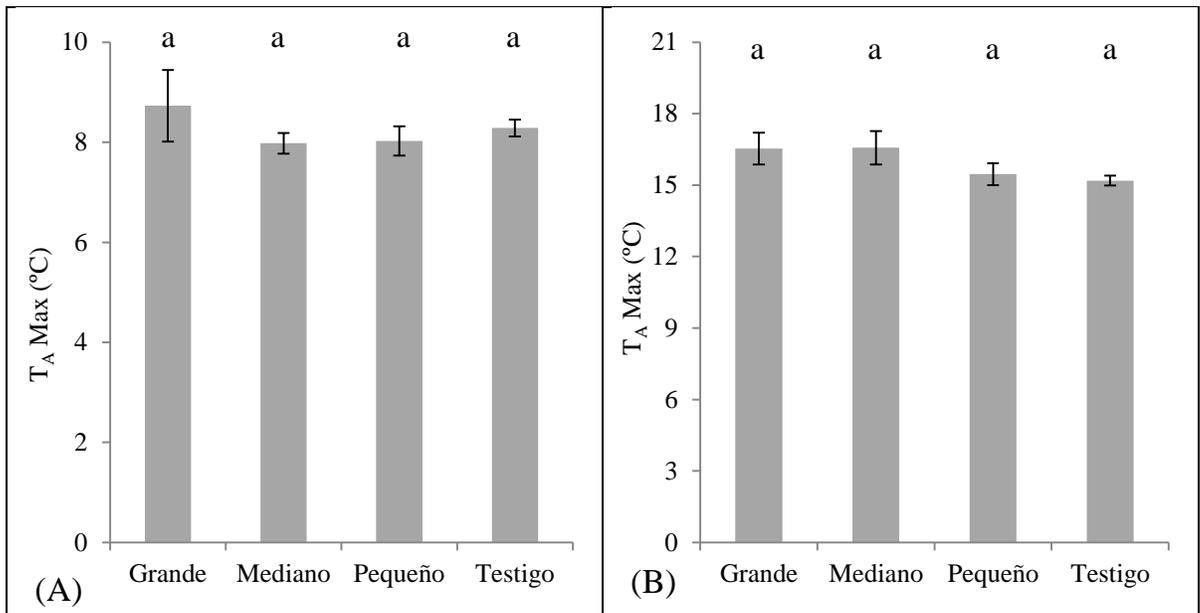


Figura 5. Temperatura máxima promedio del aire por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras internas (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

En cuanto a la oscilación térmica, ésta resulta más baja en la situación testigo para ambos periodos, con valores de 7,2 °C en el periodo de receso y 9,5 °C en el periodo de crecimiento. Por el contrario, las máximas oscilaciones se producen en el claro grande en el periodo de receso (8,4 °C) y en el claro mediano para el periodo de crecimiento (11,6 °C).

Los claros de dosel, durante el periodo de receso, presentan una disminución de la temperatura media del aire entre un 3,1 y 9,2%, en relación a la temperatura que se registra bajo la situación testigo (ver apéndice II), lo cual concuerda con lo señalado por Donoso *et al.* (2014), quienes indican que la temperatura media del aire en bosques con especies caducifolias, durante el periodo sin hojas, tienden a ser más altas dentro del bosque que en el exterior.

En el periodo de crecimiento vegetativo existe un aumento de temperaturas dentro de los claros de dosel, entre un 1,8 y 8,8% respecto a la temperatura registrada en la situación testigo (ver apéndice II). Esta situación ha sido reportada en diferentes tipos de bosques, tales como en un bosque siempreverde dominado por *Nothofagus nitida* y *Drimys winteri* (Otero *et al.*, 1996), en un bosque secundario dominado por *Quercus mongolica* y *Fraxinus rhynchophylla* (Zhu *et al.*, 2007) y un bosque mixto dominado por *Quercus petraea* y *Fagus sylvatica* (Latif y Blackburn, 2010), quienes señalan que los claros de dosel poseen temperaturas más elevadas, en comparación a las condiciones de bosque continuo, con diferencias que van entre los 0,1 y 4,9 °C, concordando que el aumento de la temperatura del aire se debe a un aumento de la radiación solar producto de la apertura del dosel.

3.2.2 Análisis mensual

Los valores promedios mensuales de T_A no difieren en gran medida entre las situaciones de estudios, sin existir diferencia significativa ($P > 0,05$). Durante los meses más fríos, el bosque testigo presenta temperaturas levemente más elevadas que los claros de dosel, mientras que en los meses más calurosos esta situación se revierte, siendo los claros de tamaño grande más calurosos que las otras situaciones de estudio (figura 6).

Respecto a los valores promedios mensuales de T_{Amin} , el mes de junio posee las temperaturas más bajas, siendo éste el único mes con valores promedios bajo cero para las cuatro situaciones de estudios (figura 7). Las diferencias de temperatura no superan los 1,0 °C y no se muestran diferencias significativas ($P > 0,05$) en los valores registrados al comparar cada situación de los claros de dosel y el dosel continuo.

En cuanto a los valores promedios mensuales de T_{Amax} , febrero registra las temperaturas más altas (figura 8), siendo significativamente mayor en los claros de dosel grandes y medianos, respecto a los claros pequeños y la situación testigo, con temperaturas de hasta 1,1 veces más altas ($P < 0,05$).

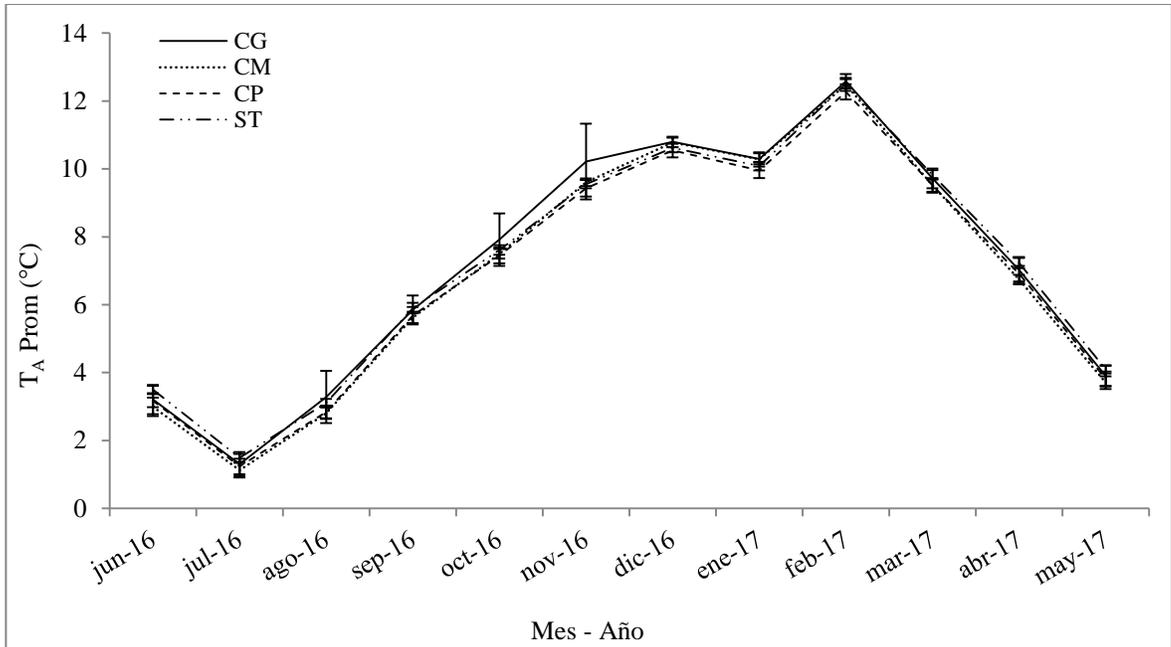


Figura 6. Temperatura promedio mensual del aire en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. No se presentan diferencias significativas para ningún mes durante el periodo de tiempo en que se prolongó el estudio ($P > 0,05$).

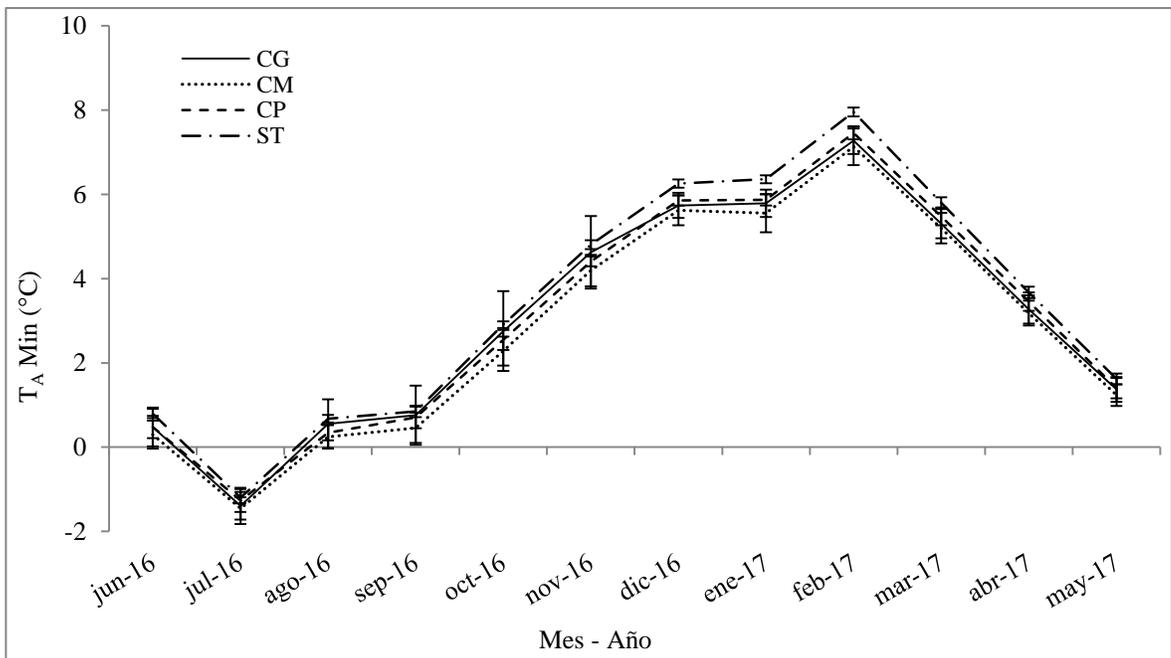


Figura 7. Temperatura mínima promedio mensual del aire en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. No se presentan diferencias significativas para ningún mes durante el periodo de tiempo en que se prolongó el estudio ($P > 0,05$).

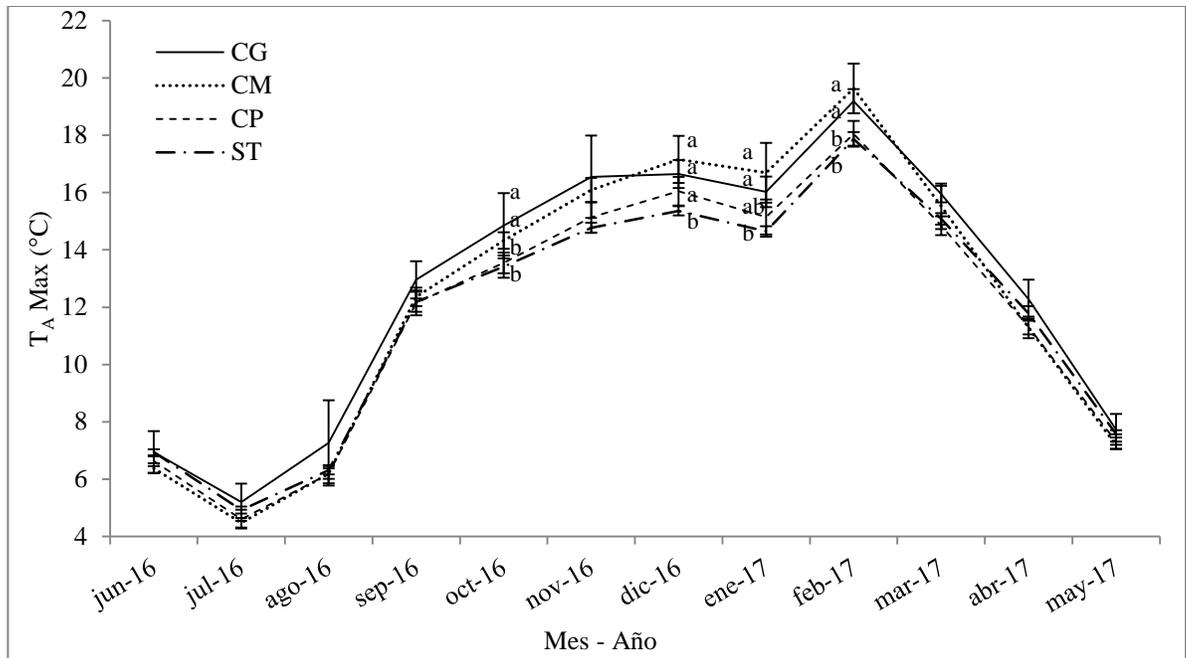


Figura 8. Temperatura máxima promedio mensual del aire en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

En relación a la amplitud térmica, las menores oscilaciones se tienen en los meses de otoño e invierno, siendo la situación testigo quien obtuvo una menor oscilación, con 5,6 °C en el mes de agosto. En cambio, los meses de primavera – verano poseen las mayores oscilaciones, donde el claro mediano obtuvo la mayor oscilación con 12,5 °C en el mes de febrero.

El comportamiento de los valores de T_A obtenidos es similar a lo que reportan Caldentey *et al.* (1999) y Promis *et al.* (2010a), ambos en un bosque de *N. pumilio*, donde las temperaturas máximas resultan más altas en sectores con menor cobertura arbórea en los meses de verano. Misma situación reportan Bahamonde *et al.* (2009) en un bosque *N. antarctica*. Las diferencias entre el bosque y zonas con menor cobertura arbórea se deben a que la cubierta forestal amortigua la temperatura extremas, por ejemplo en verano, los sitios desarbolados reciben una mayor radiación solar, y como consecuencia, mayores temperaturas, lo cual ha sido demostrado con correlaciones significativas, en contraste en sitios con cobertura arbórea quienes reciben menos radiación y por lo tanto, sus temperaturas son menores (Morecroft *et al.*, 1998).

Por otro lado, en un bosque secundario dominado por *Q. mongolica* y *F. hynchophylla*, Zhu *et al.* (2007) indican que la temperatura media del aire más alta se registra en los centros de los claros de dosel, llegando a ser 0,1 °C mayor que la que se registra en el dosel arbóreo continuo, sin reportar diferencias significativas en los meses de verano.

Tal como se ha señalado anteriormente, la cobertura arbórea posee un papel importante respecto a las modificaciones en la temperatura del aire, tendiendo a disminuir las

temperaturas máximas en verano y aumentar las temperaturas mínimas en invierno, respecto a lo que se registra en el exterior del bosque. Se debe tener en consideración estas modificaciones, puesto que algunos procesos ecológicos dentro de los ecosistemas tales como descomposición, mineralización y productividad, se ven alterados cuando la temperatura del aire es modificada (Chen *et al.*, 1999). La temperatura del aire puede verse afectada si la relación entre el diámetro del claro y la altura de los árboles circundantes es muy grande, pues el viento que ingresa al claro se mezcla con el aire dentro de él, provocando una disminución en la temperatura (Geiger *et al.*, 2003).

3.2.3 Análisis diario

En general, tanto para los días soleados como nublados en los periodos de receso y crecimiento vegetativo, las temperaturas mínimas se registran en los claros medianos y pequeños, la que se produce poco antes de la salida del sol, mientras que las máximas se registran en el claro de dosel grande, la cual se alcanza una vez que se produce la máxima iluminación. Las temperaturas durante la noche fueron más elevadas en la situación testigo con temperaturas entre 0,1 y 2,8 °C más altas, mientras que durante el día tienden a ser más frías con temperaturas entre 0,1 y 2,3 °C más bajas, en comparación a los claros de dosel. La oscilación térmica siempre fue menor en los días nublados, siendo 8,9 °C (en el periodo de receso) y 8,7 °C (periodo de crecimiento) más baja en comparación a la oscilación de los días soleados.

En el periodo de receso vegetativo, durante el día soleado, no se obtuvo diferencias significativas durante todo el día ($P > 0,05$), a excepción de las temperaturas a las 7:00 donde la situación testigo fue 2,2 veces más caluroso en comparación a los claros de dosel (figura 9A). En cuanto al día nublado, la situación testigo posee temperaturas más elevadas que los claros de dosel durante todo el día (figura 9B), con diferencias de hasta 0,6 °C sin existir diferencias significativas ($P > 0,05$).

Para el periodo de crecimiento vegetativo, en el día soleado durante las horas de la mañana, la situación testigo resultó estadísticamente diferente ($P < 0,05$), con temperaturas hasta 2,4 °C más alta, mientras que en la tarde llegó a ser más frío, con temperaturas de hasta 1,5 °C más baja en comparación a los claros de dosel (figura 10A). Para el día nublado, en horas de la tarde los claros de dosel presentaron diferencias significativas con la situación testigo ($P < 0,05$), registrando temperaturas hasta 1,1 veces más elevadas (figura 10B).

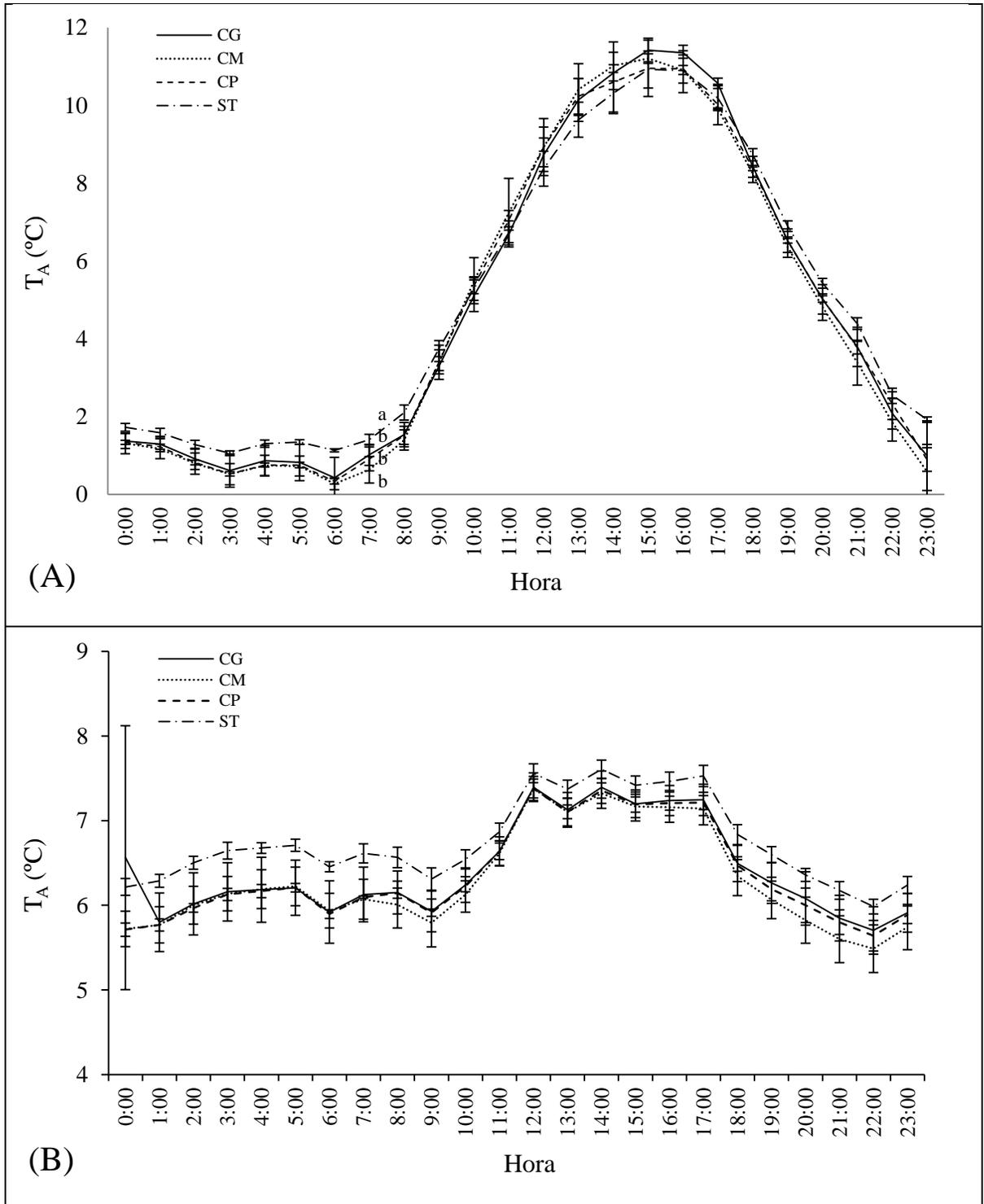


Figura 9. Variación diaria de temperatura del aire para un día soleado (A) y nublado (B) durante el periodo de receso vegetativo en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

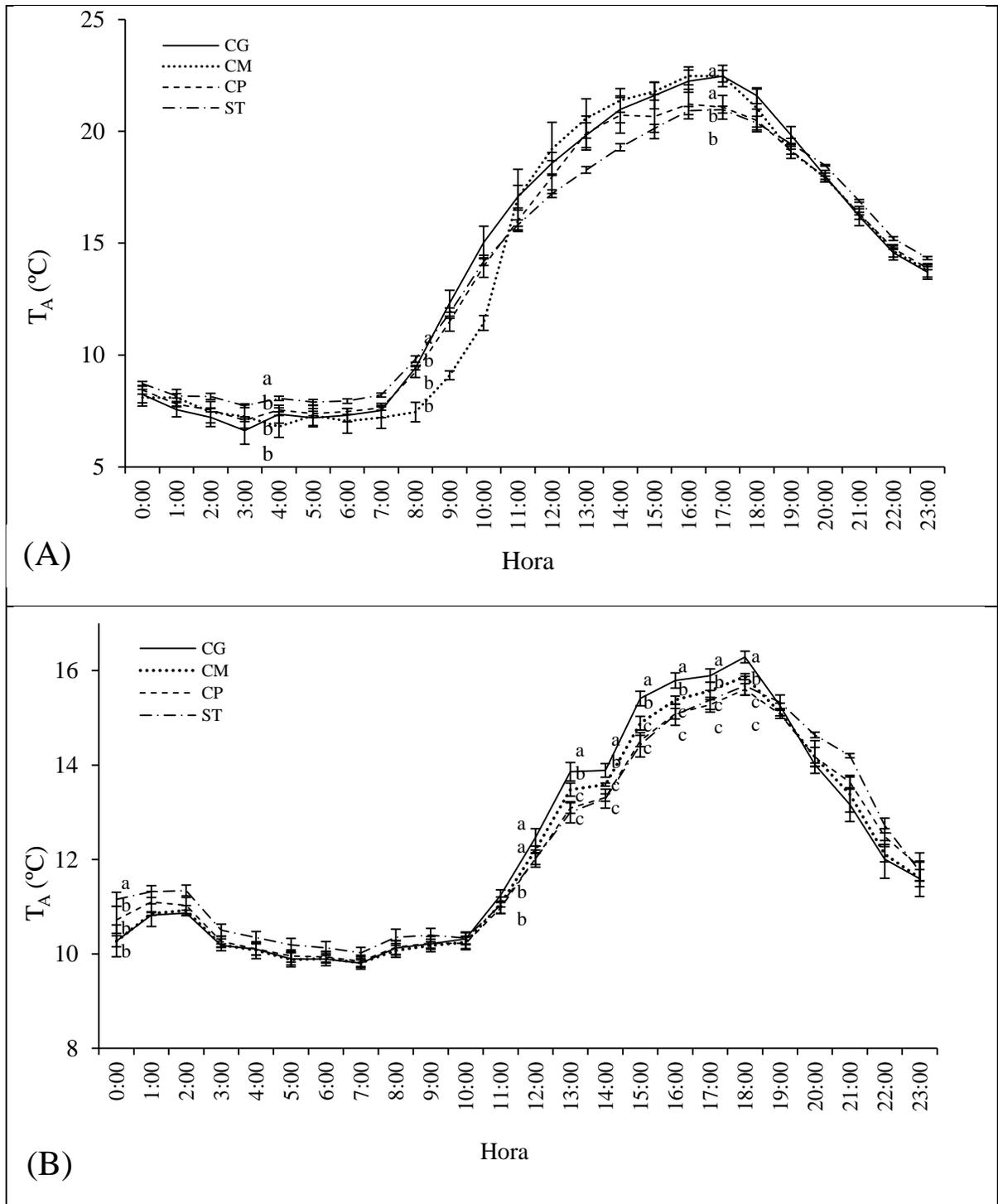


Figura 10. Variación diaria de temperatura del aire para un día soleado (A) y nublado (B) durante el periodo de crecimiento vegetativo en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda, según el tamaño de claro de dosel (grande, mediano, pequeño) y situación testigo. Barras (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

Morecroft *et al.* (1998) obtuvieron una tendencia similar al comparar las temperaturas del aire entre un bosque de *Quercus robur* y *Acer pseudoplatanus* y una pradera, en Reino Unido, donde la oscilación térmica siempre fue menor en los días nublados, tanto en invierno como en verano, en ambas condiciones de estudio.

Las temperaturas del aire en un día nublado tendieron a ser más frías durante el día y más cálidas durante la noche, al compararlo con un día soleado, tal como señalan Donoso *et al.* (2014), lo cual fue reportando tanto en los claros de dosel como en la situación testigo. En el periodo de receso vegetativo, las temperaturas nocturnas en el día nublado llegaron a ser hasta 5,6 °C más altas y 4,2 °C más fría en el día, en comparación al día soleado. Mientras que, en el periodo de crecimiento, las diferencias fueron de 3,7 °C y 7,8 °C, respectivamente.

Por otro lado, Donoso *et al.* (2014) señalan que las temperaturas del aire más bajas no se registran en un día nublado, puesto que el calor reradiado permanece entre la tierra y las nubes (efecto invernadero), donde las temperaturas mínimas fueron 5,2 °C más alta en el periodo de receso y 3,2 °C durante el periodo de crecimiento vegetativo, en comparación a las temperaturas mínimas de los días soleados.

En términos generales, el aire se calienta de forma indirecta a través de la radiación que es re-emitida por la superficie terrestre, por lo cual la temperatura del aire va a depender de la insolación que recibe ese punto, es decir, el aumento de la temperatura del aire depende de la cantidad de calor que reciba la superficie terrestre (Jones, 1983; Gómez, 2004; Donoso *et al.*, 2014). Un sector desprovisto de vegetación recibe más radiación, y por lo tanto, se registran temperaturas más elevadas, tanto del suelo como del aire, las cuales pueden afectar el funcionamiento óptimo de las plantas. Por ejemplo, temperaturas extremas pueden dañar las raíces de plantas más jóvenes, afectando los diversos procesos involucrados como la absorción de agua (Donoso *et al.*, 2014). Por otro lado, la temperatura del aire también se ve afectada por la acción del viento, puesto es quien se encarga de mover las masas de aire en función de las diferencias de presión y temperatura (Rodríguez *et al.*, 2004). Debido a esto, la temperatura dentro del bosque resulta más estable, dado que el viento dentro de él se ve reducido por las características del rodal, resultando condiciones microclimáticas más estables, en comparación a las condiciones fuera de éste (Gómez, 2004). Otero *et al.* (1994) señalan que se debe estudiar los cambios ambientales que producen las intervenciones silvícolas, dado que se está alterando el equilibrio ecológico de los bosques, pudiendo afectar los procesos de regeneración y desarrollo de las especies.

3.3 Temperatura del suelo (T_s)

3.3.1 Análisis por periodo

El promedio de T_s para el periodo de receso vegetativo fue mayor en la situación testigo, sin mostrar diferencias significativas ($P > 0,05$) respecto a los claros de dosel (figura 11A). En el periodo de crecimiento, la T_s fue estadísticamente mayor ($P < 0,05$) en los claro de dosel grande y mediano, con diferencias de hasta 3,1 °C respecto al claro mediano y la situación testigo (figura 11B).

El promedio de T_{Smin} durante el periodo de receso resultó ser mayor en la situación testigo (figura 12A), sin presentar diferencias significativas ($P > 0,05$). Mientras que en el periodo de crecimiento, T_{Smin} promedio fue menor en la situación testigo, presentando diferencias significativas ($P < 0,05$) respecto a las temperaturas registradas en los claros de dosel, llegando a ser 1,2 veces más frío (figura 12B).

Respecto al promedio de T_{Smax} , la situación testigo posee temperaturas levemente más elevadas respecto a los claros de dosel, sin reportar diferencia estadísticamente significativa ($P > 0,05$) durante el periodo de receso vegetativo (figura 13A). Por otro lado, en el periodo de crecimiento, los claros de tamaño grande y mediano poseen temperaturas más altas, siendo estadísticamente significativas ($P < 0,05$), con diferencias de hasta 3,9 °C en comparación a los claros de dosel de pequeño y la situación testigo (figura 13B).

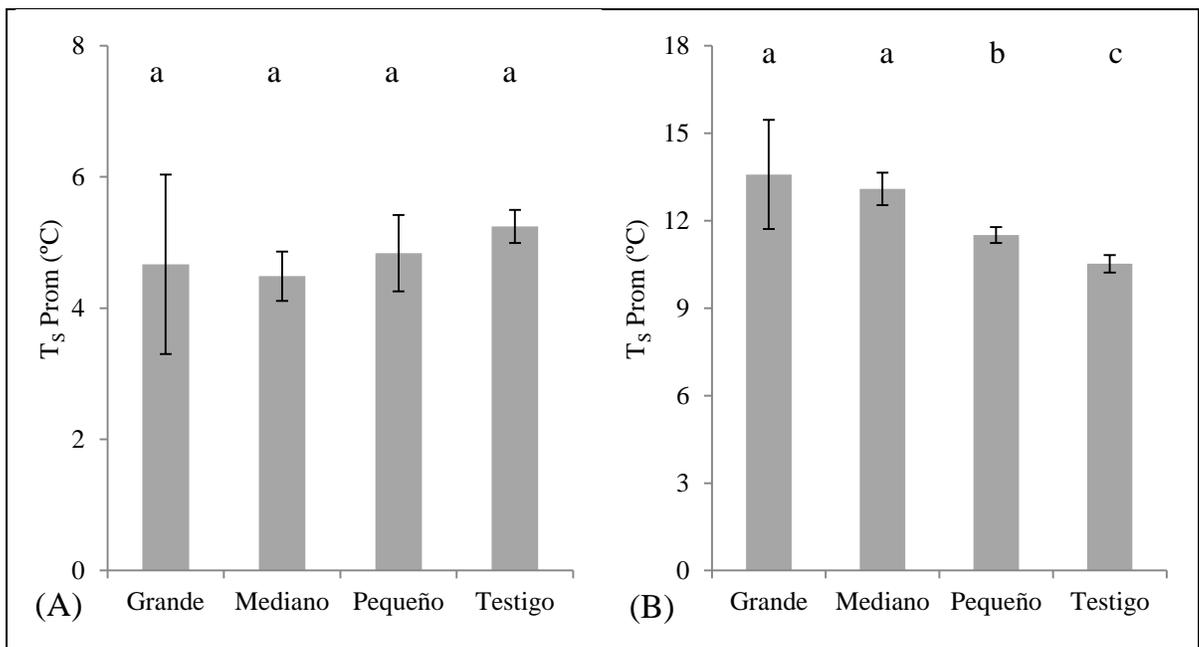


Figura 11. Temperatura promedio del suelo por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras internas (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

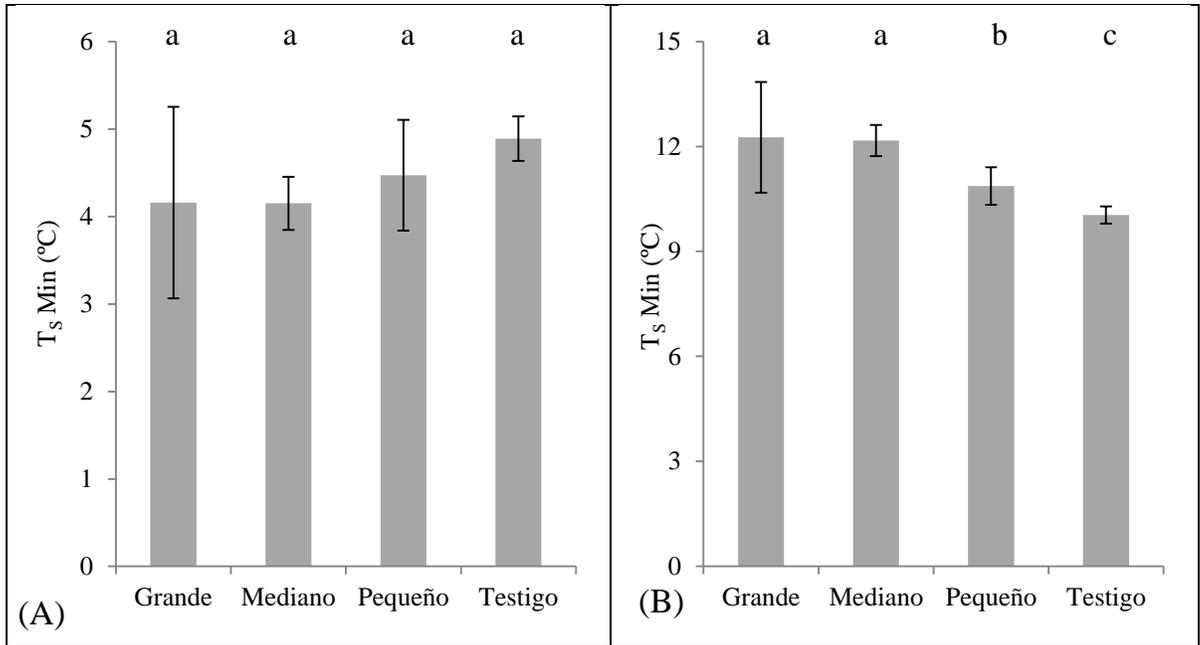


Figura 12. Temperatura mínima promedio del suelo por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras internas (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

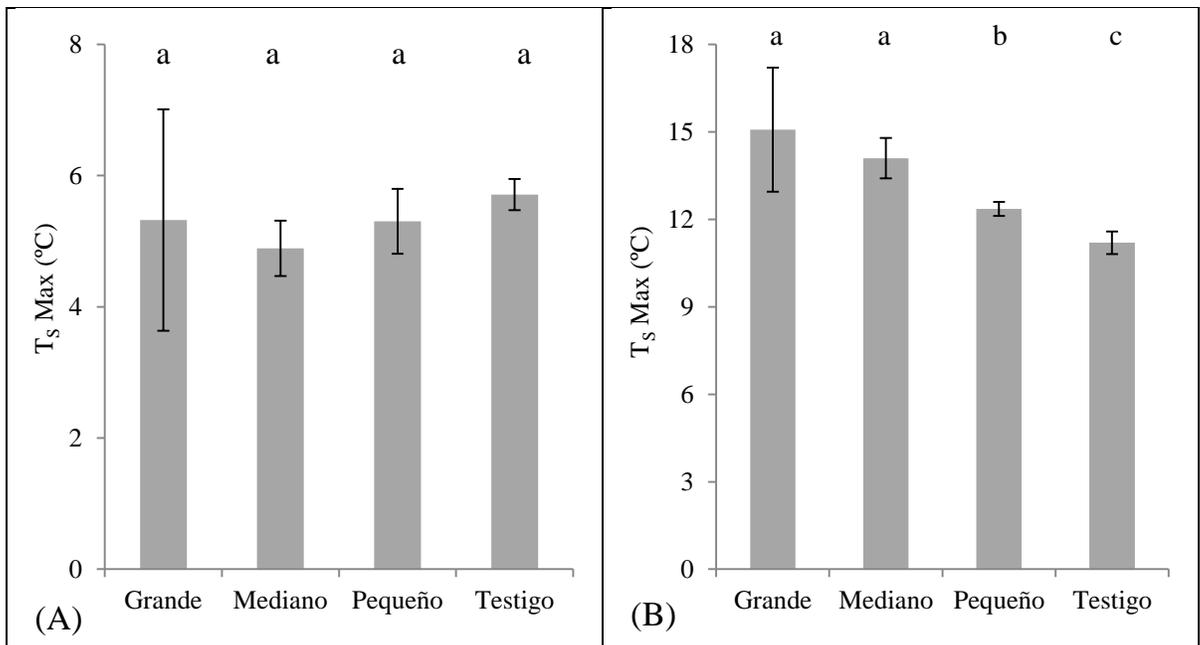


Figura 13. Temperatura máxima promedio del suelo por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras internas (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

La mayor oscilación se da en los claros grandes, siendo de 1,2 °C en el periodo de receso (1,6 veces más grande que los claros de menor tamaño y la situación testigo) y 2,8 °C en el periodo de crecimiento (2,4 veces más grande).

Durante el periodo de receso vegetativo, la situación testigo presenta temperaturas más altas en comparación a los claros de dosel, los cuales presentan una disminución en sus temperaturas hasta en un 15%. Por el contrario, durante el periodo de crecimiento vegetativo, la temperatura del suelo es más alta dentro de los claros de dosel, con un aumento de hasta un 35% respecto a la temperatura registrada bajo el dosel arbóreo continuo (ver apéndice III). Lo anterior concuerda con lo señalado por Donoso *et al.* (2014), donde la temperatura del suelo presenta variaciones según la cubierta vegetal, resultando más bajas en bosques que en campo abierto durante la época de crecimiento, y más altas durante el periodo de receso.

Los resultados expuesto se comportan de manera similar a lo reportado por Promis *et al.* (2010a) en un bosque de *N. pumilio*, siendo la temperatura media del suelo 0,3 °C más alta en la situación de bosque en el periodo de receso y 1,8 °C mayor en sectores desarbolados para el periodo de crecimiento. Mientras que en un bosque mixto dominado por *Q. petraea* y *F. sylvatica*, la temperatura media y máxima del suelo fueron estadísticamente mayor en claros de dosel de tamaño grande, con temperaturas hasta 2,3 y 5 °C más elevadas, respectivamente, en comparación con el dosel arbóreo continuo para el periodo de crecimiento (Latif y Blackburn, 2010).

3.3.2 Análisis mensual

La T_S promedio mensual fue estadísticamente menor en los claros de dosel, en comparación a la situación testigo, durante el mes más frío (junio), con temperaturas hasta 2,4 veces más bajas. Mientras que en el mes más caluroso (febrero), esta situación se revierte, siendo los claros de dosel 1,3 veces más cálidos que la situación testigo (figura 14; $P < 0,05$).

El promedio mensual de la T_{Smin} fue estadísticamente diferente ($P < 0,05$) en los meses de noviembre y enero, siendo los claros de dosel grande y mediano más caluroso que el claro pequeño y la situación testigo, con diferencias de hasta 3,2 °C. Mientras que en junio, la situación testigo resulta ser estadísticamente diferente ($P < 0,05$), con temperaturas hasta 2,6 veces más elevadas que los claros de dosel (figura 15).

Los valores promedios mensuales de la T_{Smax} , durante los meses de primavera – verano, fue estadísticamente más elevada en el claro de dosel de tamaño grande ($P < 0,05$), con diferencias de hasta 4,9 °C respecto a las otras situaciones de estudios. Por el contrario, en el mes de invierno (junio), la situación testigo fue significativamente superior en comparación a los claros de dosel ($P < 0,05$), con temperaturas de hasta 2,4 °C más altas (figura 16).

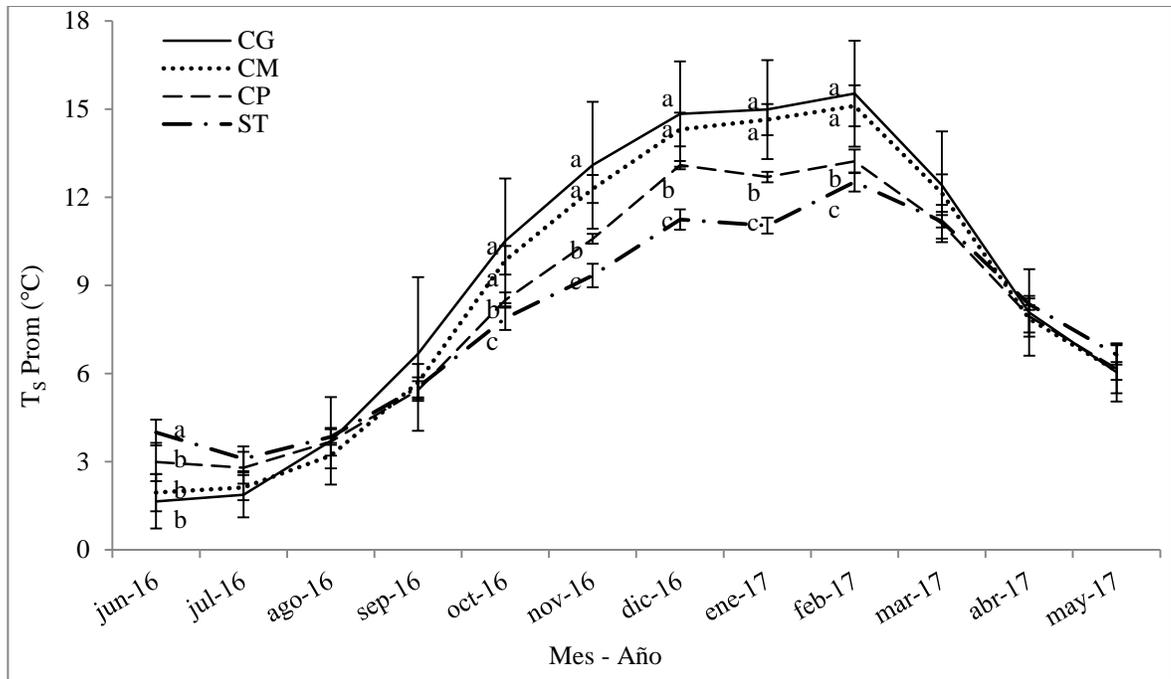


Figura 14. Temperatura promedio del suelo mensual en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

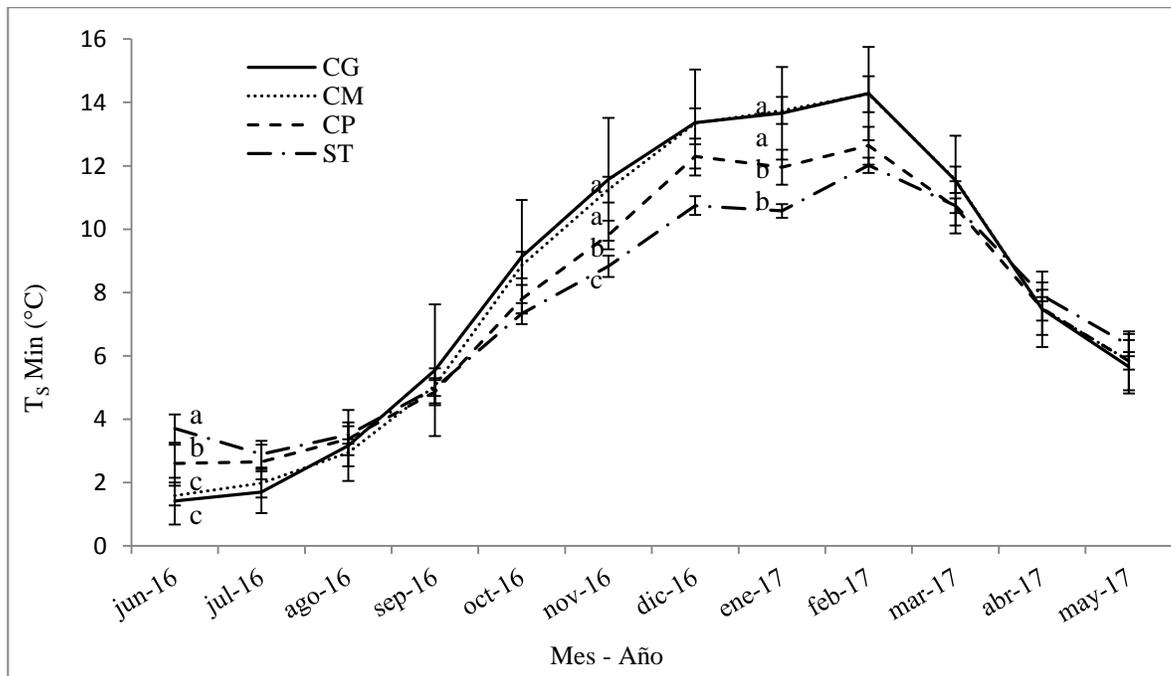


Figura 15. Temperatura mínima promedio del suelo mensual en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

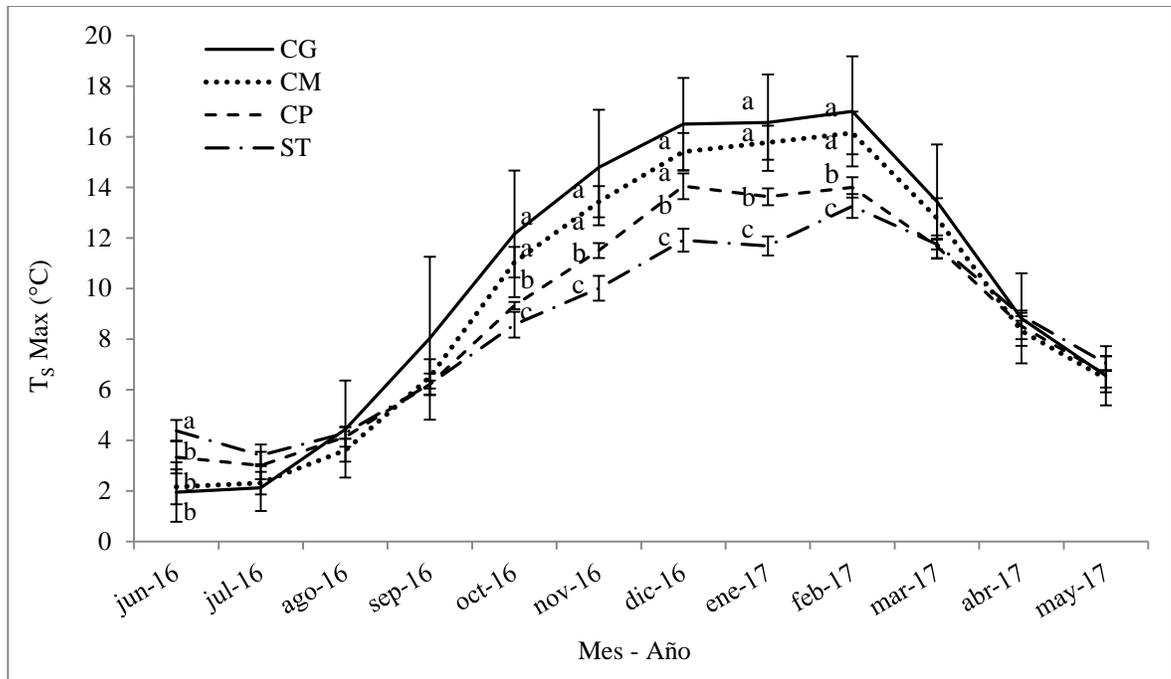


Figura 16. Temperatura máxima promedio del suelo mensual en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

La oscilación térmica fluctúa entre 0,3 °C, obtenida en el claro mediano en el mes de julio, y 3,2 °C, obtenida en el claro grande en el mes de noviembre. Valores similares obtuvo Promis (1999) al comparar la oscilación térmica entre un bosque de *N. pumilio* y un sector desarbolado, teniendo una mayor oscilación en este último con 3,5 °C en verano.

La T_s depende de la cantidad de radiación solar que llega al piso del bosque, por lo cual, cualquier objeto que se interponga en el la superficie del suelo y el sol, tales como las hojas del dosel arbóreo o las nubes, absorberá la radiación e impedirá que la temperatura del suelo aumente (Donoso *et al.*, 2014). Lo anterior se ve reflejado en un bosque de *N. antarctica*, ubicado en la provincia de Santa Cruz (Argentina), donde la temperatura del suelo resultó ser mayor en condiciones de menor cobertura arbórea, con diferencias de hasta 2 °C respecto a la temperatura que se registra bajo dosel arbóreo (Bahamonde *et al.*, 2009).

Ritter *et al.* (2005) también señalan que existe diferencia significativa en los valores máximos y promedios en la temperatura del suelo, en un bosque mixto de *Fagus sylvatica* y *Fraxinus excelsior*, donde los claros de dosel presentan temperaturas 3 °C mayor que bajo el dosel arbóreo. Por el contrario, Sariyildiz (2008) obtuvo un descenso en la temperatura del suelo a medida que el claro era más grande, ante lo cual señala que se debe a que el área de estudio se encuentra a altas elevaciones (1.200 – 1.800 msnm). La temperatura del aire descende a medida que se aumenta la altitud, dado que la capa de atmósfera es menos densa y absorbe menos calor, sumado además a la baja presión atmosférica que hace que el aire se expanda y pierda energía, generando una disminución de la temperatura (Donoso *et al.*, 2014).

3.3.3 Análisis diario

En el periodo de receso, en el día soleado, las temperaturas fueron más altas durante todo el día en el claro mediano, sin existir diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los claros de dosel y la situación testigo (figura 17A). Por otro lado, en el día nublado las temperaturas fueron estadísticamente más altas en la situación testigo ($P < 0,05$), llegando a ser hasta 7,2 veces más caluroso en comparación a los claros de dosel (figura 17B). La oscilación térmica, al igual que en la temperatura del aire, siempre fue menor en los días nublados, siendo 1,4 °C más baja que en el día soleado.

En tanto, en el periodo de crecimiento la situación testigo resulta ser estadísticamente diferente en ambos días ($P < 0,05$), en comparación a los claros de dosel, con temperaturas hasta 0,9 °C más bajas en el día nublado y 5,3 °C más bajas en el día soleado (figura 18). La oscilación térmica resultó ser en el periodo 2,4 °C más baja en comparación con la oscilación de los días soleados.

Tal como se expuso en el análisis diario de temperatura del aire, durante el periodo de receso predominan los días nublados, por el contrario, en el periodo de crecimiento son los días soleados. Por lo tanto, se espera que el comportamiento de T_S se asemeje a lo señalado en las figuras 17B y 18A, respectivamente.

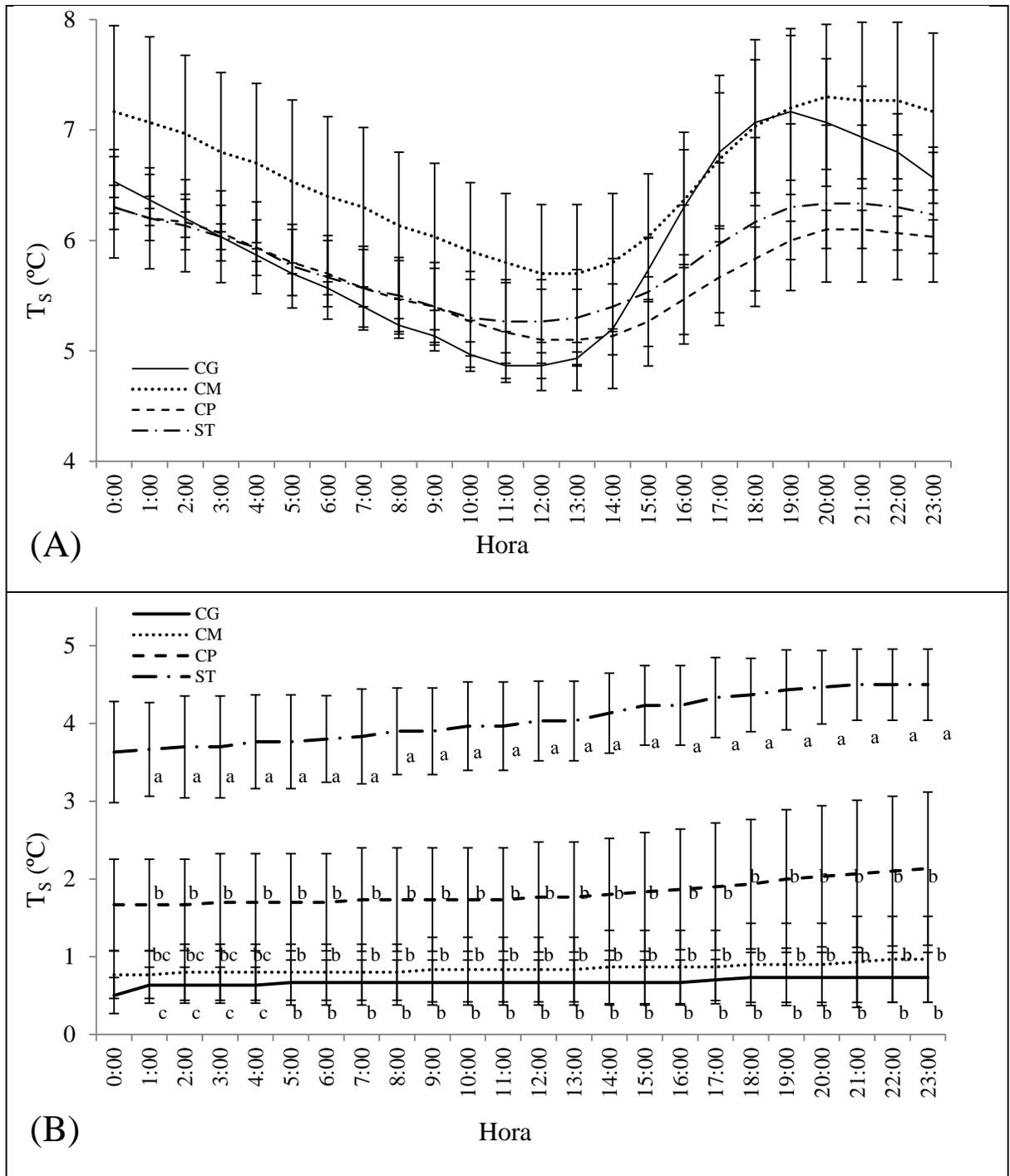


Figura 17. Variación diaria de temperatura del suelo para un día soleado (A) y nublado (B) durante el periodo de receso vegetativo en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

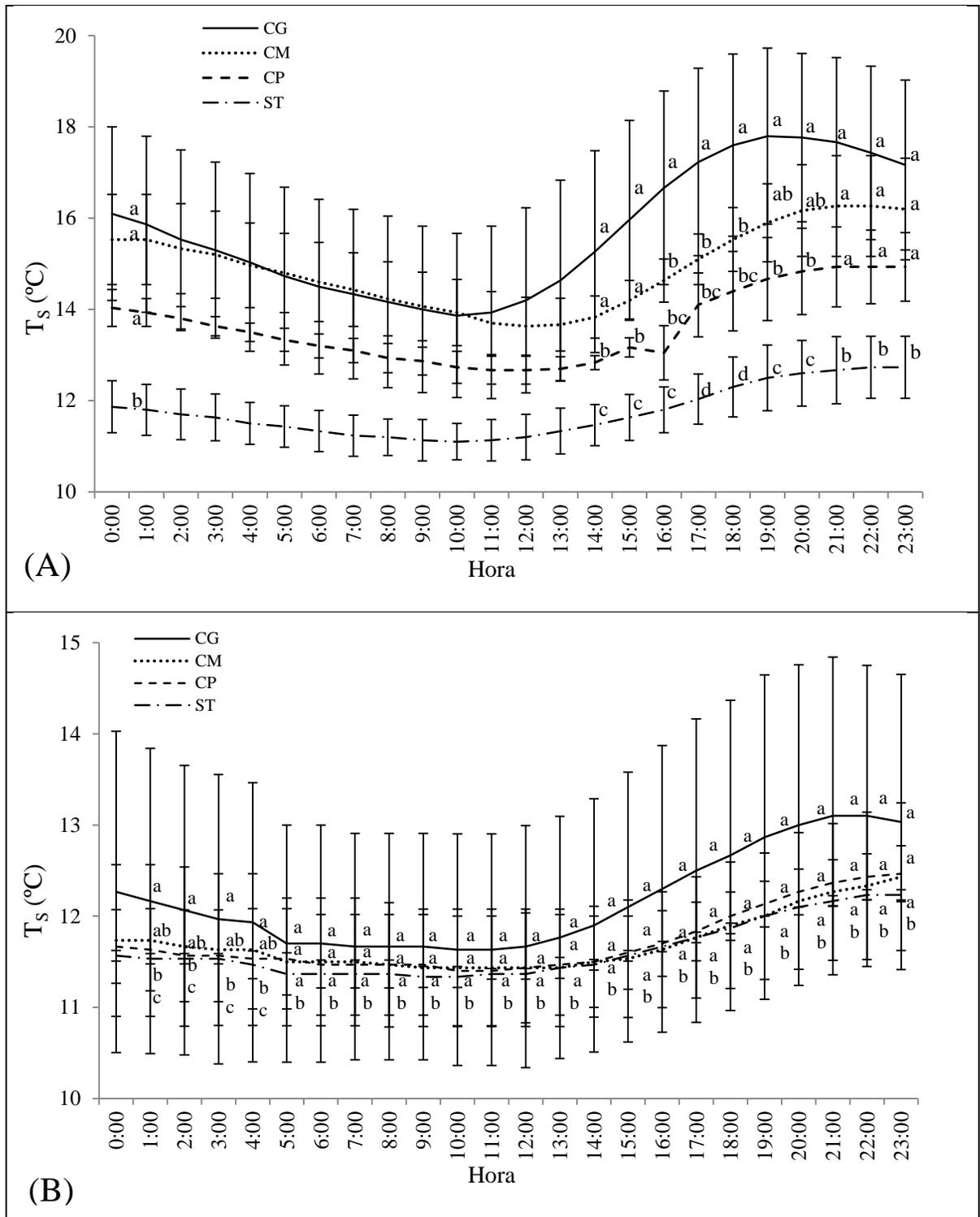


Figura 18. Variación diaria de temperatura del suelo para un día soleado (A) y nublado (B) durante el periodo de crecimiento vegetativo en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

Latif y Blackburn (2010) señalan que las variaciones diarias de temperatura de suelo se ven afectadas por el tamaño de los claros de dosel, esto en un bosque mixto dominado por *Q. petraea* y *F. sylvatica*, siendo los claros de tamaño grandes quienes presentan mayores temperaturas, alcanzando su temperatura máxima incluso antes que claros de dosel de menor tamaño y bajo dosel arbóreo. Esto se debe a que los claros grandes tienen un contacto más directo con la radiación solar, calentándose el suelo de manera más rápida que sitios con dosel arbóreo más cerrado, quienes a su vez tienen una tasa de calentamiento más lento debido a que ellos reciben más radiación difusa.

Morecroft *et al.* (1998) obtuvieron una tendencia similar, donde la máxima temperatura se da en los sitios donde no existe cobertura arbórea, con diferencias de hasta 9,9 °C en un día soleado en verano respecto a la temperatura que se registra en el bosque. Mientras que en un día nublado en invierno, la temperatura del suelo es mayor en el bosque, con diferencias de entre 0,1 y 0,3 °C en comparación a la temperatura donde no existe cobertura arbórea.

Gray *et al.* (2002), para un día soleado en verano en un bosque dominado por *P. menziesii*, obtuvieron que en promedio la temperatura del suelo aumenta a medida que el dosel arbóreo se va abriendo, siendo mayor en claros de dosel con temperaturas de hasta 2°C más elevadas que bajo dosel arbóreo continuo, coincidiendo con los mayores valores de radiación solar.

3.4 Contenido volumétrico de agua en el suelo (Θ)

3.4.1 Análisis por periodo

El promedio de Θ es levemente mayor en los claros grandes durante el periodo de receso (figura 19A), aunque sin alcanzar diferencias significativas ($P > 0,05$). Por otro lado, en el periodo de crecimiento vegetativo, es el claro pequeño quien presenta los mayores valores de Θ (figura 19B), sin reportar diferencias significativas ($P > 0,05$).

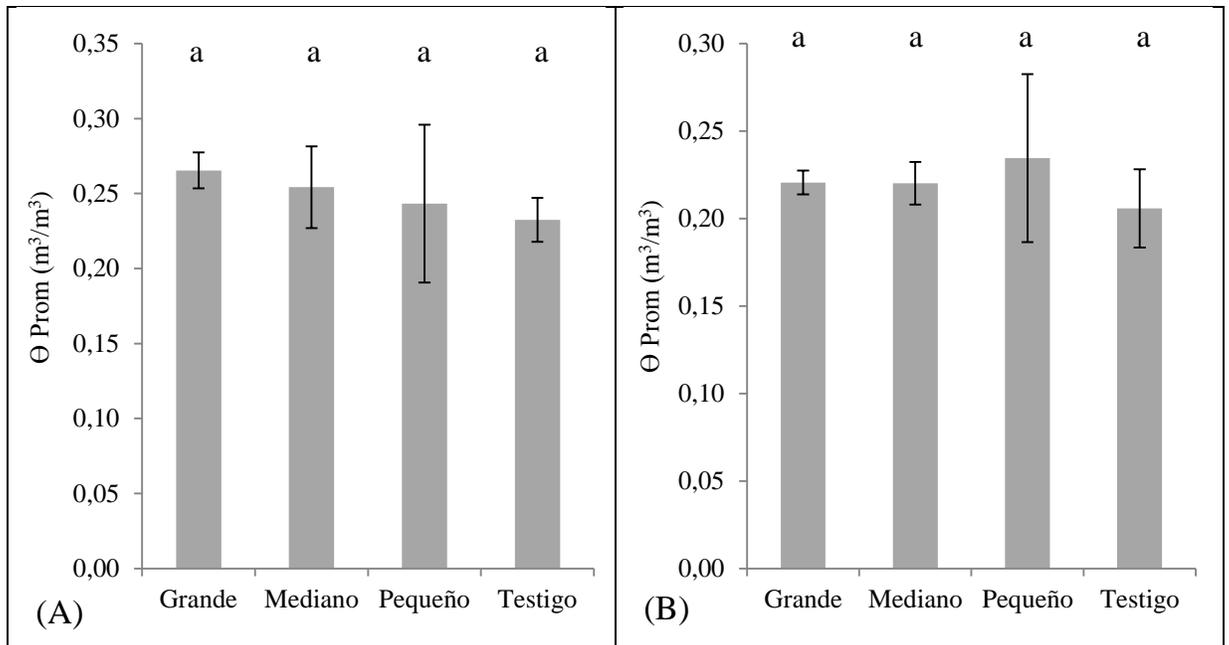


Figura 19. Valores promedio de Θ por periodo de receso (A) y crecimiento (B) vegetativo en claros de distinto tamaño (grande, mediano, pequeño) y bajo dosel cerrado (testigo), en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras internas (I) representan el error estándar. Letras iguales significa que no existe diferencia significativa entre grupos ($P > 0,05$).

Resultados similares obtuvo Muscolo *et al.* (2007a, b) en un bosque de coníferas en Italia durante el periodo de crecimiento, donde los claros pequeños obtuvieron un mayor contenido de humedad ($> 30\%$) respecto a claros medianos ($< 27\%$), aunque con diferencias significativas. Mientras que Sariyildiz (2008), durante el periodo de receso, reporta que los claros de dosel de tamaño grande poseen mayor humedad del suelo (32%) que bajo dosel arbóreo (30%), sin encontrar diferencias significativas, para un bosque templado ubicado en Turquía. Estas diferencias pueden atribuirse a: 1) diferencias en los montos e intensidad de las precipitaciones, 2) mayor captación de radiación solar dentro de los claros, y como consecuencia, elevadas temperaturas del suelo que conllevan a una mayor tasa de evaporación y 3) la vegetación del sotobosque remanente elevan la tasa de transpiración producto del aumento de la temperatura del aire (Latif y Blackburn, 2010).

Los bajos montos de Θ , tanto para los claros de dosel pequeño como la situación testigo en el periodo de receso, se puede deber a la baja apertura del dosel y a la verificación de una mayor interceptación de las precipitaciones (Li *et al.*, 2005). Las especies que componen el rodal captan, en mayor o menor medida, el agua de la lluvia, dependiendo de características propias y de la arquitectura del bosque. Factores como: forma y el tamaño de las copas, la composición, estructura y densidad del bosque, inciden en la proporción de las precipitaciones que es interceptada por los árboles, impidiendo que ésta llegue al piso del bosque y aumente los montos de contenido de agua en el suelo (Kittredge, 1948; Aussenac, 1997b).

3.4.2 Análisis mensual

A lo largo del año no existen diferencias significativas en el Θ al comparar los distintos tratamientos ($P > 0,05$). Levemente se puede apreciar que los claros de dosel de tamaño grande y mediano presentan Θ más altos en comparación al bosque testigo y los claros de dosel de tamaño pequeño, durante los meses más fríos. Por otro lado, los menores montos de Θ se reportan en los meses más calurosos, siendo la situación testigo quien presenta los valores más bajo (figura 20).

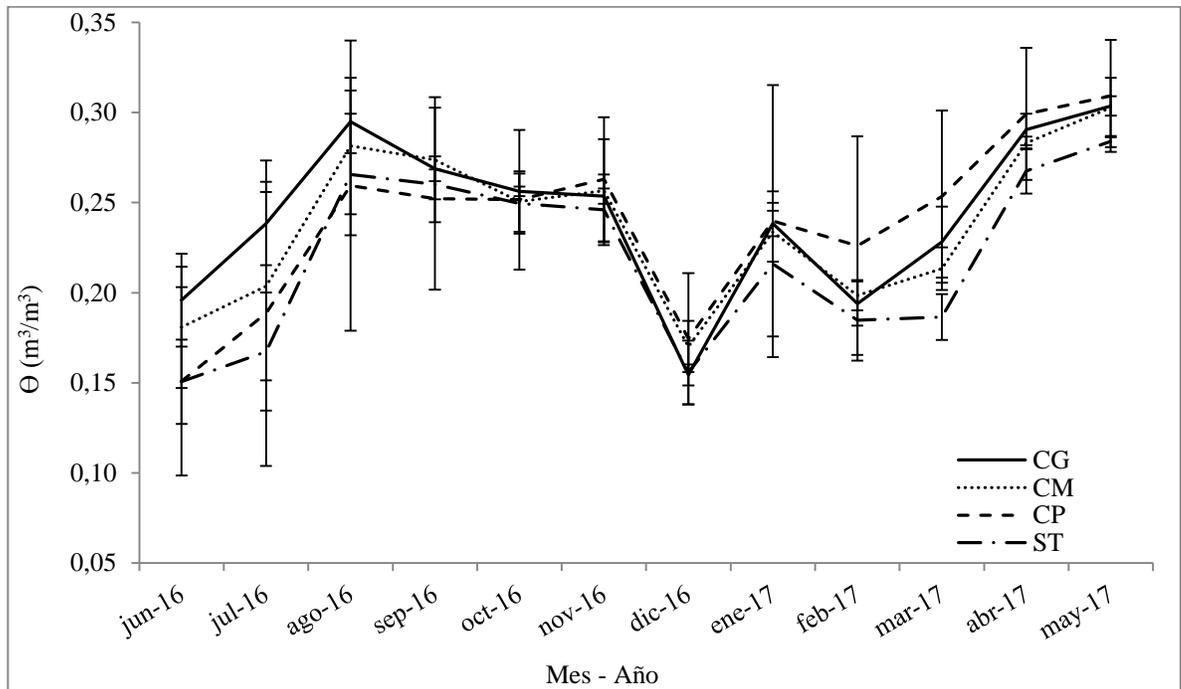


Figura 20. Contenido volumétrico de agua en el suelo promedio mensual en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda. Barras (I) representan el error estándar. No se presentan diferencias significativas para ningún mes durante el periodo de tiempo en que se prolongó el estudio ($P > 0,05$).

Zhu *et al.* (2003), en un bosque costero de *Pinus thunbergii*, obtuvieron mayores diferencias durante los meses de verano, aunque sin ser estadísticamente significativas, donde la humedad del suelo fue mayor dentro de los claros de dosel y menor en el bosque. Estas diferencias las atribuyen a la evapotranspiración, siendo esta característica la que más influye en las condiciones de contenido de agua en suelo, dado que a mayor densidad de plantas existe una mayor evapotranspiración que aquellos sitios con menor densidad.

Por otro lado, Gálhidy *et al.* (2006) no encuentran diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad del suelo en función del tamaño de los claros de dosel, en un bosque de latifoliadas al norte de Hungría, siendo mayor en claros pequeños (22,4%) que en claros grandes (21,8%), lo cual puede deberse a las condiciones de profundidad y pedregosidad.

Ritter y Vesterdal (2005), en un bosque templado dominado por *Fagus sylvatica* y *Fraxinus excelsior*, indican que la humedad del suelo es mayor dentro de los claros de dosel que bajo dosel cerrado, con diferencias de hasta casi un 40% durante los meses de invierno, el cual se debe a una baja intercepción de las precipitaciones. Además, el contenido de humedad tiende a disminuir hacia los meses de verano, siendo estadísticamente diferente. Por otro lado, señalan que las diferencias en el contenido de humedad del suelo, entre los claros y el dosel cerrado, se pueden deber a que en los claros de dosel existe una menor densidad de raíces, lo que a su vez contribuye a que exista una menor absorción de agua y transpiración por parte de las plantas, lo cual también ha sido reportado por Gray *et al.* (2002).

Latif y Blackburn (2010) señalan que se deben realizar estudios adicionales respecto al incremento o disminución del contenido de agua en el suelo en claros de dosel, en relación a lo que se registra en las condiciones de dosel continuo, dado que se deben considerar todos los aspectos que influyen en la humedad del suelo.

3.4.3 Relación entre Θ y precipitaciones

En la figura 21 se muestra la tendencia de que el contenido volumétrico del agua en el suelo aumenta inmediatamente después de cuando se verifican precipitaciones. El mes más lluvioso corresponde al mes de noviembre 2016, con 153,8 mm, el cual a su vez coincide con los máximos Θ registrado para el bosque testigo. No así para los claros de dosel, donde los máximos valores de Θ se registran en el mes de mayo 2017 para los claros medianos y pequeños, coincidiendo con el segundo mes más lluvioso con 141,6 mm caídos, mientras que el máximo valor de Θ para el claro de dosel grande fue en el mes de agosto 2016, el cual a su vez es el tercer mes con el mayor monto de precipitaciones con 140,8 mm caídos.

Por otro lado, los bajos valores de Θ concuerdan a su vez con los menores montos de precipitaciones, los cuales se registran en el mes de julio 2016 para el claro pequeño con 32,6 mm, en diciembre 2016 para el claro de dosel de tamaño grande, con 45,8 mm, en el mes de febrero 2017 para el claro mediano y la situación testigo con 80,5 mm, respectivamente.

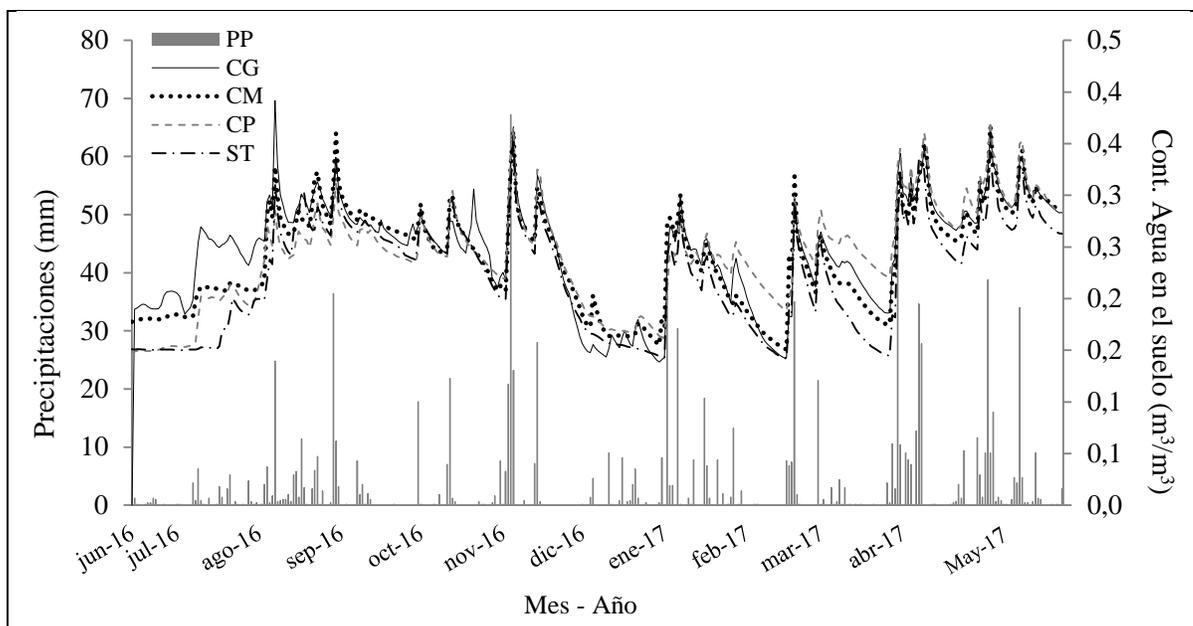


Figura 21. Relación entre las precipitaciones (barras grises) y el contenido volumétrico de agua en el suelo (líneas) en claros de tamaño grande (CG), mediano (CM), pequeño (CP) y situación testigo (ST) en un bosque de *Nothofagus antarctica* ubicado en la localidad de Balmaceda.

Ricklefs (1997) y McCarthy (2001) han señalado que durante los periodos más lluviosos, la humedad del suelo tiende a ser más alta, en contraste con los periodos secos donde la humedad baja sus niveles, lo cual concuerda con los resultados presentados.

El aumento del contenido de humedad en los meses de junio a agosto, dentro de los claros grandes y medianos, puede deberse a que existen mayores montos de precipitaciones y a su vez una disminución en las tasas de transpiración de los individuos presentes (Zirlewangen y von Wilpert 2001; Zhu *et al.* 2003; Latif y Blackburn 2010).

Ritter *et al.* (2005), indican que el mayor contenido de agua en el suelo se da en los claros de dosel, quienes a su vez presentan una mayor precipitación, donde un 90% de las precipitaciones cae dentro del claro, mientras que bajo situaciones de bosque continuo cae hasta un 74%.

3.5 Implicancias silviculturales en bosques de *N. antarctica*

Actualmente, el manejo silvícola en los bosques de *N. antarctica*, tanto en Chile como en Argentina, ha estado enfocado en la producción silvopastoril, el cual busca generar un manejo sustentable integrando los componentes ganaderos y forestales, resultando una actividad ecológica, social y económicamente viable (Peri, 2011). Este manejo se basa en la disminución de la cobertura arbórea mediante raleos, permitiendo una mayor entrada de luminosidad y favoreciendo así el desarrollo del estrato herbáceo, facilitando la entrada del ganado y reduciendo la presión hacia las plantas de *N. antarctica* debido al aumento de

forraje, además de entregar productos madereros obtenidos por la actividad silvícola tales como leña, postes y varas (Peri, 2011; Salinas *et al.*, 2017). La intensidad de raleo depende de las condiciones de humedad del sitio, variando entre 35% para condiciones más húmedas y 45% para sitios más secos, generando un crecimiento entre 0,30 y 0,57 cm/año en los árboles remanentes (Peri *et al.*, 2009; Salinas *et al.*, 2017).

No obstante, debido al estado de degradación en que se encuentra los bosques de *N. antarctica*, se debe realizar un manejo silvícola enfocado en la recuperación de estos bosques para así asegurar la producción de bienes y servicios tales como: producción de madera y leña, control de erosión, calidad de agua, mantención de biodiversidad, producción de forraje; entre otros beneficios (Peri *et al.*, 2009). Devolver el bosque a su estado original permitirá recuperar su estructura, su productividad y su biodiversidad, aumentando la valoración hacia este tipo de ecosistemas por parte de las comunidades aledañas (Promis *et al.*, 2015; Salinas *et al.*, 2017).

La recuperación de los bosques degradados de *N. antarctica* mediante restauración pasiva posee incertidumbres debido a la baja capacidad germinativa de la especie, sumado al uso intensivo por parte de la actividad ganadera y el ramoneo por parte de herbívoros, tales como liebres, que impiden el establecimiento y el desarrollo de las plantas de *N. antarctica* (Peri, 2005; Promis *et al.*, 2015; Salinas *et al.* 2017). Frente a esto, Salinas *et al.* (2017) y Salinas y Acuña (2017) proponen la utilización de plantaciones suplementarias en áreas desprovistas de vegetación, como también un manejo silvícola basada en la capacidad de rebrote de la especie con el fin de dar continuidad al estrato arbóreo y recuperar los servicios ecosistémicos que proporciona el bosque.

Debido a lo anterior, se propone la utilización de los claros de dosel como método para la recuperación de bosques degradados, el cual ha ido tomando interés en el último tiempo dado que se imitan los efectos que producen, tales como aumento de la luminosidad y liberación de nutrientes, favoreciendo así el crecimiento de las especies de interés (Schliemann y Bockheim, 2011; Hart, 2016). Este tipo de manejo, con el objetivo de recuperación de bosques degradados, resulta ser ecológicamente viable para plantas del género *Nothofagus* debido a la disponibilidad de luz, aunque se debe tener en consideración otros factores que inciden en el crecimiento de las plantas (Donoso *et al.*, 2013). Por otro lado, en Argentina se estudió el establecimiento de la regeneración de *N. pumilio* mediante la utilización de claros de dosel, siendo capaz de establecerse satisfactoriamente en claros de superficie entre 100 y 400 m², alcanzado alturas superiores a 1,3 metros luego de 40 años de la intervención (López *et al.*, 2003). Mientras que en bosques de *Nothofagus* en Nueva Zelanda, la utilización de claros de dosel de superficie entre 0,05 y 0,5 ha permiten una abundante número de plantas de regeneración, las cuales luego de 10 años de la intervención alcanzan alturas de cuatro metros (Allen *et al.*, 2013).

Para optar a este tipo de manejo se debe estudiar, en primer lugar, las respuestas ecofisiológicas de las plantas ante los cambios producidos en el ambiente y tener en consideración el tamaño mínimo del claro que asegure el proceso de regeneración,

establecimiento y desarrollo de las plantas (Schliemann y Bockheim, 2011; Promis, en prensa).

Resulta importante comprender los efectos que tienen los claros de dosel sobre el proceso de regeneración con el fin de generar nuevas propuestas de manejo (Zhu *et al.*, 2014). La información proporcionada permitirá comprender si los cambios producidos por los claros de dosel respecto a las condiciones de radiación solar, temperatura del aire, temperatura del suelo y contenido volumétrico de agua en el suelo, influyen el proceso de regeneración de *N. antarctica*. Por lo cual, el siguiente paso corresponde a evaluar el efecto que tienen los claros de dosel sobre una plantación suplementaria o en los rebrotes de *N. antarctica*, como método de restauración activa, en función de los cambios microambientales que producen los claros de dosel.

4. CONCLUSIONES

Los claros de dosel generan variaciones en el microclima en un bosque de *N. antarctica*, siendo la variable de radiación solar la que más se ve alterada por la creación de los claros. A medida que el dosel arbóreo se va abriendo, los montos de radiación directa, difusa y global dentro de los claros de dosel van aumentando, pudiendo llegar a ser hasta casi 5 veces más alta de la que se registra bajo el bosque testigo.

Tanto la temperatura del suelo como del aire tienden a ser más altas dentro de los claros de dosel durante los meses de primavera - verano, y más bajas durante el periodo de otoño - invierno, en comparación al comportamiento que se registra bajo la situación testigo, siendo los claros de dosel de tamaño grande los que más ven alterados las condiciones microclimáticas.

El contenido volumétrico del agua en el suelo se encuentra influenciado por el tamaño de los claros de dosel, durante los meses de invierno, dado que existe una mayor disponibilidad de agua (precipitaciones). Dada la baja cantidad de individuos arbóreos presente en los claros grandes que intercepte las precipitaciones, éste presenta un mayor contenido de agua en comparación a claros de menor tamaño o bajo la situación testigo. Por el otro lado, en la época estival, la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura del aire y del suelo, puede conducir a una mayor evapotranspiración del agua presente en el suelo, resultando que el contenido de agua sea mayor en los claros pequeños.

Debido al estado de degradación en que se encuentran estos bosques, sumado a la baja capacidad germinativa de la especie, se deben realizar intervenciones más directas para recuperar los bosques, siendo las más factibles el método de monte bajo y las plantaciones suplementarias. No solo basta con realizar éstas medidas de restauración, sino que también se deben realizar evaluaciones y seguimiento los cuales son fundamentales para comprobar la efectividad de las propuestas realizadas, ya que así se podrán cambiar las medidas o reforzar las según los resultados de la evaluación.

Frente a ello, futuras investigaciones deberían evaluar cómo las plantas de *N. antarctica* responden a los distintos tamaños de los claros de dosel, debido a que los cambios en las condiciones ambientales pueden favorecer o afectar el desarrollo de las plantas.

5. BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R.; DICKIE, I.; EASDALE, T.; HURST, J. y WISER, S. 2013. Desarrollo de sistemas de manejo para producción de madera en bosques de *Nothofagus* de Nueva Zelanda. In: DONOSO, P. y PROMIS, A. (Eds.). Silvicultura en bosques nativos. Avances en la investigación en Chile, Argentina y Nueva Zelanda. Estudios en Silvicultura de Bosques Nativos Vol. 1. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones. p. 198 - 219.

AUSSENAC, G. 1997a. Forest and Climates: 1. Interactions between climates and forests at the local, regional, and global levels. Sustainable Forest Management: Contribution of Research. IUFRO Occasional Paper 9. 6 - 10.

AUSSENAC, G. 1997b. Forest and Climates: 3. Forest and water: Links between forest ecosystems and water resources. Sustainable Forest Management: Contribution of Research. IUFRO Occasional Paper N° 9. 16 - 20.

AUSSENAC, G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science* 57: 287 - 301.

BAHAMONDE, H.; PERI, P.; PASTUR, M. y LENCINAS, M. 2009. Variaciones microclimáticas en bosques primarios y bajo uso silvopastoril de *Nothofagus antarctica* en dos clases de sitio en Patagonia Sur. Actas Primer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Misiones, Argentina. 289 – 296.

BARNES, B.; ZAK, D.; DENTON, S. Y SPURR, S. 1998. Forest ecology. 4 ed. New York, USA. John Wiley. 774 p.

BAVA, J. y RECHENE, C. 2005. Dinámica de la regeneración de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) como base para la aplicación de sistemas silvícolas. In: GOYA, J.; FRANGI, J. y ARTURI, M. (Eds.). Ecología y manejo de los bosques nativos de Argentina. La Plata, Argentina. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 24 p.

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* Vol. 14 N°1 - 2.

CHEN, J.; SAUNDERS, S.; CROW, T.; NAIMAN, R.; BROSOFSKE, K.; MROZ, G.; BROOKSHIRE, B. y FRANKLIN, J. 1999. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology: Variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience* 49 (4): 288 - 297.

CLEARWATER, M.; NIFINLURI, T. y VAN GARDINGEN, P. 1999. Forest fire smoke and a test of hemispherical photography for predicting understory light in Bornean tropical rain forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 97, 129 - 139.

DAMASCOS, M. 1998. Morfología de las plantas de los claros y áreas sombreadas del bosque de *Austrocedrus chilensis*, Argentina. *Ecología Austral* 8: 13 - 22.

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE (DMC). 2001. Climatología regional. [En línea] <http://164.77.222.61/climatologia/publicaciones/Climatologia_regional.pdf> [Consulta: 7 de noviembre, 2017].

DONOSO, C. 1981. *Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente*. Editorial Universitaria. Chile. 369 p

DONOSO, C. 1995. *Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica*. *Ecología forestal*. Tercera edición. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 483 p.

DONOSO, C. 2006. *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología*. Valdivia, Chile. Marisa Cuneo Ediciones. 678 p.

DONOSO, C.; PROMIS, A. y COOPMAN, R. 2014. El Clima. *In*: DONOSO, C. GONZÁLEZ, M. y LARA, A. (Eds.). *Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. pp 25 - 132.

DONOSO, P.; SOTO, D.; COOPMAN, R. y RODRÍGUEZ-BERTOS, S. 2013. 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.

GAJARDO, R. 1994. *La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica*. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 121 p.

GÁLHIDY, L.; MIHÓK, B.; HAGYÓ, A.; KÁLMÁN, R. y TIBOR, S. 2006. Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understorey vegetation of a Hungarian beech forest. *Plant Ecology* 183: 133 - 145

GEIGER, R. ARON, R. y TODHUNTER, P. 2003. *The climate near ground*. 6 ed. Rowman and Littlefield Publishers, INC. Lanham. 584 p.

GÓMEZ, V. 2004. Cubiertas forestales y respuesta microclimática. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 13(4): 84 - 100.

GONZÁLEZ, M.; AMOROSO, M.; LARA, A.; VEBLEN, T.; DONOSO, C.; KITZBERGER, T.; MUNDO, I.; HOLZ, A.; CASTELLER, A.; PARITSIS, J.; MUÑOZ, A.; SUÁREZ, M. y PROMIS, A. 2014. *Ecología de disturbios y su influencia en bosques templados de Chile y Argentina*. *In*: DONOSO, C.; GONZÁLEZ, M. y LARA, A. (Eds.). *Ecología Forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*. Ediciones Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. pp.411 - 504.

- GRANT, R. 1997. Partitioning of biologically active radiation in plant canopies. *International Journal of Biometeorology* 40: 26 - 40.
- GRAY, A.; SPIES, T. y EASTER, M. 2002. Microclimatic and soil moisture responses to gap formation in coastal Douglas-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 332 - 343.
- GUGLIOTTA, O.; MERCURIO, R. y ALBANESI, E. 2006. Dynamics of natural regeneration in a hole cut in the pine forests of Corsican pine (*Pinus laricio* Poiret) of the southern Apennines. *Forest@* 3: 380 - 386.
- HART, J. 2016. Gap-scale disturbances in Central Hardwood Forests with implications for management. In: GREENBERG, C. y COLLINS, B. (Eds.). *Natural disturbances and historic range of variation. Type, frequency, severity, and post-disturbance structure in Central Hardwood Forests USA*. Cham, Suiza. Springer International Publishing Switzerland. pp. 33 - 47.
- HEINEMANN, K. y KITZBERGER, T. 2006. Effects of position, understorey vegetation and coarse woody debris on tree regeneration in two environmentally contrasting forests of north-western Patagonia: a manipulative approach. *Journal of Biogeography* 33: 1.357 - 1.367.
- INFRAESTRUCTURA DE DATOS GEOESPACIALES (IDE). 2005. Atlas Región de Aysén. Ministerio de Planificación y Cooperación. 43 p.
- JONES, H. 1983. *Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. Second edition. Great Britain. Cambridge University Press. 323 p.
- KIMMINS, J. 1987. *Forest ecology. A foundation for sustainable management* (2 ed.). New Jersey, USA: Prentice Hall.
- KITTREDGE, J. 1948. *Forest Influences. The effects of woody vegetation on climate, water, and soil, with applications to the conservation of water and the control of floods and erosion*. Mc Graw-Hill Book Company, INC. 386 p.
- LATIF, Z. y BLACKBURN, G. 2010. The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest. *International Journal of Biometeorology* 54: 119 - 129.
- LI X.; LIU, L.; GAO, S.; SHI, P.; ZOU, X. y ZHANG, C. 2005. Microcatchment water harvesting for growing *Tamarix ramosissima* in the semiarid loess region of China. *Forest Ecology and Management* 214: 111 - 117.
- LÓPEZ, P.; BAVA, J. y ANTEQUERA, S. 2003. Regeneración de un bosque de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) sometido a un manejo de selección en grupos. *Bosque* 24(2): 13 - 21.

MCCARTHY, J. 2001. Gap dynamics of forest trees: A review with particular attention to boreal forests. *Environmental Reviews* 9(1): 1 - 59.

MESSIER, C. 1996. Managing light and understory vegetation in boreal and temperate broadleaf-conifer forests. *In*: COMEAU, P. y THOMAS, K. (Eds.). *Silviculture of Temperate and Boreal Broadleaf-Conifer Mixtures*. Victoria: B.C. Ministry of Forests, Research Program. pp. 59 - 81.

MORECROFT M.D., TAYLOR M.E., OLIVER H.R., 1998. Air and soil microclimates of deciduous woodland compared to an open site. *Agricultural and Forest Meteorology* 90: 141 - 156.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M. y MERCURIO R. 2007a. Variations in soil chemical properties and microbial biomass in artificial gaps in Silver fir stands. *European Journal of Forest Research* 126: 59 - 65.

MUSCOLO, A.; SIDARI, M. y MERCURIO, R. 2007b. Influence of gap size on organic matter decomposition, microbial biomass and nutrient cycle in Calabrian pine (*Pinus laricio* Poiret) stands. *Forest Ecology and Management* 242: 412 - 418.

MUSCOLO, A.; BAGNATO, S.; SIDARI, M. y MERCURIO, R. 2014. A review of the roles of forest canopy gaps. *Journal of Forestry Research* 25(4): 725 - 736.

NAVARRO, R.; ROSENFELD, M.; PÉREZ-ARANDA, J.; PADRÓN, E.; GUZMÁN, J.; HERNÁNDEZ, R. y GONZÁLEZ, L. 2008. Evaluación de la mortalidad de bosques de ñirre (*Nothofagus antarctica*) en la Patagonia chilena mediante imágenes Landsat TM y ETM+. *Bosque* 29(1): 65 - 73.

NOBIS, M. 2005. SideLook 1.1. Imaging software for the analysis of vegetation structure with true-colour photographs. <http://www.appleco.ch>.

NOBIS, M. y HUNZIKER, U. 2005. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agricultural and Forest Meteorology* 128: 243 - 250.

OTERO, L.; DONOSO, P. 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): 87 - 118.

OTERO, L.; CONTRERAS, A. y BARRALES, L. 1996. Cortas de protección en hoyos de luz: efectos microclimáticos. *Ciencia e Investigación Forestal* 10(2): 277 - 288.

OVALLE, 1995. Estructura y dinámica de bosques ecotonales de altura de coihue-raulí en la Cordillera de Los Andes en Quilalefu, Provincia de Valdivia. Tesis de Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 74 p.

PARDE, J. 1978. El microclima del bosque. *In*: PESSON, P. *Ecología Forestal. El bosque: clima, suelo, árboles, fauna*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 389 p

- PERI, P. 2005. Patagonia Sur. Sistemas silvopastoriles en ñirantales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. IDIA XXI 5(8): 255 - 259.
- PERI, P. 2011. Sistemas silvopastoriles en bosques de *Nothofagus antarctica*. Revisión del conocimiento actual en Patagonia Sur, Argentina. Instituto Forestal. Volumen n° 17(2): 217 - 242.
- PERI, P. y ORMAECHEA, S. 2013. Relevamiento de los bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) en Santa Cruz: base para su conservación y manejo. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-INTA, Santa Cruz, Argentina. 88 p.
- PERI, P.; HANSEN, N.; RUSCH, V.; TEJERA, L.; MONELOS, L. H.; FERTIG, M.; BAHAMONDE, H. y SARASOLA, M. 2009. Pautas de manejo de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de *Nothofagus antarctica* (Ñire) en Patagonia. Actas Primer Congreso Nacional Sistemas Silvopastoriles. Posadas, Misiones, Argentina. pp. 151 - 155.
- PICKET, S. KOLASSA, J. ARMESTO, J. y COLLINS, S. 1989. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos* 54: 129 - 136.
- POLLMAN, W. y VEBLER, T. 2004. *Nothofagus* regeneration dynamics in south-central Chile: a test of a general model. *Ecological Monographs* 74(4): 615 - 634.
- PROMIS, A. 1999. Modificaciones microclimáticas causadas por la intervención silvícola en bosques naturales de lenga (*Nothofagus pumilio*). Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 98 p.
- PROMIS, A.; CALDENTEY, J. e IBARRA, M. 2010a. Microclima en el interior de un bosque de *Nothofagus pumilio* y el efecto de una corta de regeneración. *Bosque* 31(2): 129 - 139.
- PROMIS, A.; GÄRTNER, S.; REIF, A. y CRUZ, G. 2010b. Effects of natural small-scale disturbances on below-canopy solar radiation and regeneration patterns in an old-growth *Nothofagus betuloides* forest in Tierra del Fuego, Chile. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 181: 53 - 64.
- PROMIS, A. GÄRTNER, S. BUTLER-MANNING, D. DURÁN-RANGEL, C. REIF, A. CRUZ, G. y HERNÁNDEZ, L. 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.
- PROMIS, A.; CRUZ, G. y GALINDO, N. 2015. Desarrollo de Propuesta de Tecnología Silvícola para favorecer la Recuperación de Bosques Degradados de *Nothofagus antarctica*. Informe Avance 1. Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 61 p.

- REBERTUS, A. y VEBLEN, T. 1993. Structure and treefall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 4: 641 - 693.
- RICKLEFS, R. 1977. Environmental heterogeneity and plant species diversity: a hypothesis. *American Naturalist* 111: 376 - 381.
- RITTER, E. y VESTERDAL, L. 2005. Gap formation in Danish beech (*Fagus sylvatica*) forests of low management intensity: soil moisture and nitrate in soil solution. *European Journal of Forest Research* 125: 139 - 150.
- RITTER, E.; DALSGAARD, L. y EINHORN, K. 2005. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. *Forest Ecology and Management* 206: 15 - 33.
- RODRÍGUEZ, R.; BENITO, A. y ORTELA, A. 2004. *Meteorología y Climatología. Unidad práctica*. Madrid, España. Villena Artes Gráficas. 170 p.
- RUNKLE, J. 1992. Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps. Portland, OR, Estados Unidos. USDA Forest Service. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-283. 44 p.
- SALINAS, J. y ACUÑA, B. 2017. Protección individual de tocones: una estrategia para la continuidad del bosque de ñirre. Instituto Forestal, Chile. Documento de divulgación n° 42. 14 p.
- SALINAS, J.; PERI, P.; HEPP, C. y ACUÑA, B. 2017. Sistemas silvopastorales en bosques de ñirre (*Nothofagus antarctica* (G. Forst.) Oerst.) en la Región de Aysén. Instituto Forestal, Chile. Documento de divulgación n° 43. 58 p.
- SARIYILDIZ, T. 2008. Effects of gap-size classes on long-term litter decomposition rates of beech, oak and chestnut species at high elevations in Northeast Turkey. *Ecosystems* 11: 841 - 853.
- SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO (SAG). 2001. Levantamiento para el ordenamiento de ecosistemas de Aysén. Informe final. Gobierno regional de Aysén. 115 p.
- SCHLIEMANN, S. y BOCKHEIM, J. 2011. Methods for studying treefall gaps: A review. *Forest Ecology and Management* 261: 1.143 - 1151.
- SOUSA, W. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353 - 391.
- VEBLEN, T. 1985. Forest development in treefall gaps in the temperate rain forests of Chile. *National Geographic Research* 1(2): 162 - 183.
- VEBLEN, T.; DONOSO, C.; KITZBERGER, T. y REBERTUS, A. 1996. Ecology of Southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forest. In: VEBLEN, T.; HALL, R. y

READ, J. (Eds.). The Ecology and Biogeography of *Nothofagus* forest. New Haven, USA. Yale University Press. pp. 293 - 353.

VEBLEN, T.; KITZBERGE, T. y VILLALBA, R. 2004. Nuevos paradigmas en ecología y su influencia sobre el conocimiento de la dinámica de los bosques del sur de Argentina y Chile. In: GOYA, J.; FRANGI, J. y ARTURI, M. (Eds.). Ecología y manejo de los bosques nativos de Argentina. La Plata, Argentina. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 48 p.

WHITE, P. y PICKETT, S. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: An introduction. In: PICKETT, S. y WHITE, P. (Eds.). The ecology of natural disturbance and patch dynamics. San Diego, Estados Unidos. Academic Press. pp 3 - 13.

ZHU, J.; MATSUZAKI, T.; LEE, F. y GONDA, Y. 2003. Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *Forest Ecology and Management* 182, 339 - 354.

ZHU, J.; TAN, H.; LI, F.; CHEN, M. y ZHANG, J. 2007. Microclimate regimes following gap formation in a montane secondary forest of eastern Liaoning Province, China. *Journal of Forestry Research* 18 (3): 167 - 173.

ZHU, J.; LU, D. y ZHANG, W. 2014. Effects of gaps on regeneration of woody plants: a meta-analysis. *Journal of Forestry Research* 25(3): 501 - 510.

ZIRLEWANGEN, D y VON WILPERT, K. 2001. Modelling water and ion fluxes in a highly structured, mixed-species stand. *Forest Ecology and Management* 143: 27 - 37.

APÉNDICE

Apéndice I: Modificación en las variables de radiación solar directa, difusa y global transmitida, según el tamaño de los claros de dosel, por periodo de receso y crecimiento vegetativo.

Periodo	Transmisión radiación solar (%)	Testigo	Claro		
			Pequeño	Mediano	Grande
Receso	Directa	35,0 Relación claro/testigo	65,0 x 1,9	81,4 x 2,3	92,3 x 2,6
	Difusa	32,3 Relación claro/testigo	66,7 x 2,1	88,6 x 2,7	98 x 3,0
	Global	34,0 Relación claro/testigo	65,6 x 1,9	84,0 x 2,5	94,4 x 2,8
Crecimiento	Directa	27,2 Relación claro/testigo	43,7 x 1,6	74,4 x 2,7	90 x 3,3
	Difusa	21,0 Relación claro/testigo	38,6 x 1,8	80,0 x 3,8	96,1 x 4,6
	Global	25,0 Relación claro/testigo	41,9 x 1,7	76,4 x 3,1	92,2 x 3,7

Apéndice II: Modificación en la variable de temperatura del aire producto de la apertura del dosel arbóreo, por periodo de receso y crecimiento vegetativo.

Periodo	Temperatura del aire (°C)	Testigo	Claro		
			Pequeño	Mediano	Grande
Receso	Mínima	1,1 Variación	0,9 -20,3%	0,7 -38,3%	0,4 -65,0%
	Máxima	8,3 Variación	8,0 -3,1%	8,0 -3,7%	8,7 5,4%
	Promedio	4,2 Variación	3,9 -6,6%	3,8 -9,2%	4,1 -3,1%
Crecimiento	Mínima	5,7 Variación	5,3 -7,2%	5,0 -12,0%	5,2 -7,6%
	Máxima	15,2 Variación	15,5 1,8%	16,6 9,1%	16,5 8,8%
	Promedio	10,0 Variación	9,8 -1,9%	10,0 -0,2%	10,2 2,1%

Apéndice III: Modificación en la variable de temperatura del suelo producto de la apertura del dosel arbóreo, por periodo de receso y crecimiento vegetativo.

Periodo	Temperatura del suelo (°C)	Testigo	Claro		
			Pequeño	Mediano	Grande
Receso	Mínima	4,9	4,5	4,2	4,2
		Variación	-8,6%	-15,1%	-14,9%
	Máxima	5,7	5,3	4,9	5,3
		Variación	-7,1%	-14,4%	-6,8%
	Promedio	5,2	4,8	4,5	4,7
		Variación	-7,7%	-14,5%	-11,0%
Crecimiento	Mínima	10,0	10,9	12,2	12,3
		Variación	8,2%	21,2%	22,1%
	Máxima	11,2	12,4	14,1	15,1
		Variación	10,4%	25,9%	34,6%
	Promedio	10,5	11,5	13,1	13,6
		Variación	9,3%	24,4%	29,1%