UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza

Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

INFLUENCIA DE LOS GRADIENTES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL SUELO EN LA GERMINACIÓN Y EL DESARROLLO INICIAL DE LA REGENERACIÓN DE *Beilschmiedia miersii* (Gay) Kostermans, ESPECIE AMENAZADA, EN UNA POBLACIÓN LOCALIZADA EN LA RESERVA ALTOS DE CANTILLANA

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

CLAUDIO FERNANDO SÁNCHEZ FLOR

Ingeniero Agrónomo

SANTIAGO - CHILE

2015

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

Profesor Guía

Nombre Gabriel Mancilla Escobar

_____

Nota

_____

Firma

_____

Profesor Consejero

Nombre Álvaro Promis Baeza

_____

Nota

_____

Firma

_____

Profesor Consejero

Nombre Juan Pablo Fuentes Espoz

_____

Nota

_____

Firma

_____

DEDICATORIA

A mi madre Ana

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, a mis padres, mis abuelos y hermana por estar siempre presentes y apoyarme en todo sentido para la culminación de este proceso lleno de adversidades y desconciertos.

Agradezco también a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador (SENESCYT) y al Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo y Becas (IECE) por financiar mis estudios de posgrado.

Mi agradecimiento a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) que, por medio del Fondo de Investigación de Bosque Nativo, financió el proyecto "Permanencia de Bosques de *Beilschmiedia miersii*. Regeneración según contenido de humedad del suelo y presencia de hojarasca. Propuestas", del que este trabajo forma parte. Asimismo, quiero agradecer al señor al señor Helios Murialdo por las facilidades prestadas en el predio de su propiedad.

Mi gratitud al Profesor Gabriel Mancilla por permitirme incursionar en esta investigación.

Un agradecimiento especial a todos esos rostros amables que de una u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo, en especial a Christian Barra, Klaus Kremer, Claudia Espinoza, Fernanda Mondaca y Sergio Durán.

Mi gratitud enorme a Patricia Navarro y familia, Nicole De Gregorio, Carolina Fuentes, Haroldo Silva, Alejandro Huertas, Matías Castillo y a la familia Delgado-Mora, quienes con su amistad sincera, bondad y hospitalidad hicieron que me sienta menos extranjero en este país.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS **4**

ÍNDICE DE TABLAS **5**

RESUMEN **6**

ABSTRACT **7**

1. INTRODUCCIÓN **8**

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA **11**

2.1 Aspectos generales de la especie 11

2.2 Problemas de conservación del Belloto del Norte 11

2.3 Contenido de agua del suelo y su influencia sobre la germinación y regeneración. 12

2.4 Temperatura del suelo y su influencia sobre la germinación y regeneración 13

2.5 Influencia de la hojarasca en la germinación y regeneración 14

3. MATERIALES Y MÉTODOS **16**

3.1 Material 16

3.1.1 Aspectos generales del sitio de estudio 16

3.1.1.1 Geología y geomorfología 16

3.1.1.2 Características climáticas y meteorológicas 16

3.1.1.3 Suelos 17

3.1.1.4 Vegetación y Clasificación Ecológica 18

3.1.2 Características del sitio experimental 18

3.1.2.1 Localización Geográfica 18

3.2 Método 22

3.2.1 Procedimiento 22

3.2.1.1 Caracterización de la dinámica hídrica y térmica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos. 22

3.2.1.2 Relación de los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con la proporción de semillas germinadas 24

3.2.1.2.1 Cálculo de los días-grado acumulados en el período de germinación . 25

3.2.1.3 Relación de los gradientes de temperatura y humedad del suelo con el desarrollo inicial de la regeneración 25

3.2.2 Variables y análisis de datos 26

3.2.2.1 Determinación de la dinámica hídrica y térmica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos. 26

3.2.2.2 Relación de los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con la proporción de semillas germinadas 27

3.2.2.3 Relación de los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con el desarrollo inicial de la regeneración 27

4. RESULTADOS Y DISCUSION 28

4.1 Caracterización de la dinámica hídrica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos 28

4.1.1 Temporada de “Recarga” 28

4.1.1.1 Sitio 1 28

4.1.1.2 Sitio 2 29

4.1.1.3 Sitio 3 29

4.1.2 Temporada de “Pérdida” 30

4.1.2.1 Sitio 1 30

4.1.2.2 Sitio 2 30

4.1.2.3 Sitio 3 31

4.1.3 Oscilación del contenido promedio mensual de agua del suelo en los Sitios de estudio 33

4.2 Caracterización de la dinámica térmica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos 35

4.2.1 Temporada de “Recarga” 35

4.2.2 Temporada de “Pérdida” 36

4.2.3 Oscilación de la temperatura promedio mensual del suelo en los Sitios de estudio 38

4.3 Relación de los gradientes de humedad y temperatura del suelo con la proporción de semillas germinadas 40

4.3.1 Relación de la proporción de semillas germinadas con el contenido promedio de agua del suelo en el período de germinación 40

4.3.2 Relación de la proporción de semillas germinadas con los días-grado acumulados en el período de germinación 41

4.4 Relación de los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con el desarrollo inicial de la regeneración 43

4.4.1 Relación entre el contenido promedio de agua del suelo en la temporada de “Pérdida” y la proporción media de plántulas sobrevivientes 43

4.4.2 Relación entre la temperatura promedio del suelo en la temporada de “Pérdida” y la proporción media de plántulas sobrevivientes 44

4.5 Medidas para favorecer la germinación y el desarrollo inicial de la regeneración de belloto del Norte para fines de conservación 45

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46

6. BIBLIOGRAFÍA 48

ANEXOS 63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sector denominado “Quebrada del árbol”, ubicado en el Sitio Prioritario para la Conservación Altos de Cantillana, Región Metropolitana, Chile. 19

Figura 2. Fotografías digitales correspondientes a cada uno de los Sitios de estudio: Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte), Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo) y Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo). 20

Figura 3. Precipitación promedio mensual y temperatura atmosférica promedio mensual registradas en la Estación meteorológica Isla de Maipo durante las temporadas de “Recarga” y “Pérdida”. 24

Figura 4. Precipitación promedio mensual registrada en la Estación meteorológica Isla de Maipo entre abril 2013 y marzo 2014 y contenido promedio mensual de agua del suelo de acuerdo a la profundidad, en los tres Sitios de estudio, en las temporadas de "Recarga" y "Pérdida"..... 32

Figura 5. Temperatura atmosférica promedio mensual en la Estación meteorológica Isla de Maipo entre abril 2013 y marzo 2014 y temperatura promedio mensual del suelo en función de la profundidad en los tres Sitios, en las temporadas de "Recarga" y "Pérdida"... 37

Figura 6. Correlación entre el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en el período de germinación (mayo-agosto 2013) y la proporción media de semillas germinadas en cada Sitio 41

Figura 7. Correlación entre los días-grado acumulados a 10 cm en el período de germinación (mayo-agosto 2013) y la proporción media de semillas germinadas en cada Sitio 42

Figura 8. Correlación entre el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en la temporada de “Pérdida” y la proporción media de plántulas sobrevivientes en cada Sitio. 43

Fugura 9. Correlación entre la temperatura promedio del suelo a 10 cm en la temporada de “Pérdida” y la proporción media de plántulas sobrevivientes en cada Sitio.. 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características meteorológicas para la zona de Altos de Cantillana. 17

Tabla 2. Caracterización de los Sitios de estudio considerando un área de muestreo de 250 m^2 para cada uno. 21

Tabla 3. Variables independientes y dependientes consideradas en este estudio 27

Tabla 4. Valores máximos, mínimos y oscilación del contenido promedio mensual de agua del suelo (m^3/m^3) en los tres Sitios de estudio a tres profundidades (10, 20 y 30 cm), en dos temporadas: “Recarga” y “Pérdida”. 34

Tabla 5. Valores máximos, mínimos y oscilación de la temperatura promedio mensual del suelo en los tres Sitios de estudio a tres profundidades (10, 20 y 30 cm), en dos temporadas: “Recarga” y “Pérdida”. 39

RESUMEN

El belloto del norte, *Beilschmiedia miersii* (Gay) Kostermans, es un árbol endémico de Chile central, el cual ha sido incluido en categoría de conservación vulnerable. Uno de los principales problemas que posee es la baja tasa de regeneración, la cual se relaciona con las condiciones de sequía que prevalecen en la zona, pues sus semillas y plántulas son sensibles a la desecación. En tal sentido, este estudio evaluó los efectos de la temperatura y el contenido de agua del suelo sobre la germinación y el desarrollo inicial de la regeneración de esta especie. Para esto se caracterizaron los cambios del contenido promedio mensual de agua del suelo (m^3/m^3) y la temperatura promedio mensual del suelo (°C) en función del Mes y la profundidad (10, 20 y 30 cm) en tres Sitios: Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte), Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo) y Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo), durante dos temporadas: "Recarga" (abril-agosto 2013) y "Pérdida" (septiembre 2013-marzo 2014).

En ambas temporadas el contenido promedio mensual de agua del suelo en los tres Sitios presentó diferencias estadísticas significativas de acuerdo al Mes, la profundidad o por la interacción entre ambos factores. La temperatura promedio mensual del suelo presentó diferencias estadísticas significativas dependiendo del Mes en los tres Sitios. Estas variaciones pueden atribuirse a los cambios temporales en las precipitaciones y las temperaturas atmosféricas, así como al porcentaje de cobertura arbórea, el espesor de la hojarasca y las características físicas del suelo. La proporción media de semillas germinadas de Belloto del Norte presentó una relación positiva estadísticamente significativa con los días-grado a 10 cm en el período de germinación (mayo-agosto 2013), no así con el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en dicho período. Por otro lado, la proporción media de plántulas sobrevivientes registró una relación positiva estadísticamente significativa con el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en la temporada de "Perdida", así como una relación negativa estadísticamente significativa con la temperatura promedio del suelo a 10 cm en la misma temporada, lo cual evidenció el efecto protector del dosel sobre las plántulas. Adicionalmente, se recomiendan prácticas para la conservación de esta especie con base en los resultados obtenidos.

Palabras clave: *Beilschmiedia miersii*, contenido de agua del suelo, temperatura del suelo, germinación, desarrollo inicial de la regeneración.

ABSTRACT

Beilschmiedia miersii (Gay) Kostermans is an endemic tree from central Chile, which has been included in the “vulnerable” conservation status. One of the main constraints for this species is its low regeneration rate, which is related to the drought conditions that distinguish this region, which affect the seeds and seedlings of *B. miersii* due to its sensitivity to drought. This research aimed at evaluating the influence of soil temperature and water content on *B. miersii* germination and regeneration processes. In this sense, we did a characterization of the changes presented by monthly mean of water content (m^3/m^3) and monthly mean of soil temperature (°C), depending on the Month and the depth (10, 20 and 30 cm) in three Sites: Site 1 (*B. miersii* forest), Site 2 (Ecotone of *B. miersii* forest with sclerophyll forest) and Site 3 (Ecotone of sclerophyll forest with sclerophyll shrubland), in two periods: “Recharge” (april-august 2013) and “Wastage” (september 2013-march 2014).

In both periods and in the three Sites, the monthly mean of water content showed statistically significant differences according to the Month, the depth or the interaction of both factors. The monthly mean of soil temperature also showed statistically significant differences according to the Month in the three Sites. These variations could be explained taking into account the temporal changes in precipitations and atmospheric temperatures, as well as forest cover percentage, litter cover mean thick and soil physical properties. The mean of the proportion of germinated seeds of *B. miersii* showed a statistically significant positive relation with 10 cm degree-days in the germination period (may-august 2013), whilst the proportion of germinated seeds of *B. miersii* had not a statistically significant positive relation with the mean of soil water content at 10 cm in the same period. The proportion of survivor seedlings showed a statistically significant positive relation with the mean of soil water content at 10 cm in the “Wastage” period, as well as a statistically significant negative relation with the mean of soil temperature at 10 cm during the same period, proving that the canopy protects the seedlings. In addition, taking into account these results, some conservation practices are recommended.

Keywords: *Beilschmiedia miersii*, soil water content, soil temperature, germination, initial regeneration development.

1. INTRODUCCIÓN

La zona mediterránea de Chile central ha estado históricamente sometida a fuertes presiones por acciones antrópicas, amenazando su alto grado de riqueza y singularidad florística, por lo que está considerada dentro de los 35 sitios prioritarios para la conservación a nivel mundial (Arroyo y Cavieres, 1997; Myers *et al*., 2000; Mittermeier *et al.*, 2011). Entre las especies endémicas de esta zona se encuentra el belloto del Norte*, Beilschmiedia miersii* (Gay) Kostermans, una especie arbórea siempreverde, que se halla en condiciones relictuales dentro de los límites administrativos de las Regiones V, VI y Metropolitana (Serra *et al.*, 1986; Novoa, 2004) y cuya madera fue ampliamente utilizada para la construcción (Bustamante y Simonetti, 2000).

En los últimos años se ha observado un descenso importante en la regeneración natural de esta especie, lo cual podría estar asociado a las sequías que caracterizan a Chile central, así como a la reducción del hábitat debido a actividades como agricultura, ganadería, proyectos inmobiliarios y minería; situaciones que representan un serio problema para su conservación (Henríquez y Simonetti, 2001; Novoa, 2004), más aun si se considera la incertidumbre que plantea el Cambio Climático, que según CONAMA (2006), hacia finales de este siglo podría presentar escenarios con un aumento de 2 a 4 °C en las temperaturas superficiales de Chile continental y una disminución de hasta un 40% en las precipitaciones que afectan Chile central. Tomando en cuenta que un aumento en las temperaturas superficiales representaría un incremento en la temperatura de los suelos (Bai *et al.,* 2014) y que las precipitaciones determinan en parte importante el contenido hídrico de los mismos (Forte Lay *et al.*, 2008), estas circunstancias podrían afectar negativamente los procesos de germinación y desarrollo inicial de la regeneración de belloto del Norte, por tratarse de una especie altamente dependiente del agua edáfica (Amigo y Flores-Toro, 2012), que posee semillas recalcitrantes (Bustamante y Simonetti, 2000), caracterizadas por su sensibilidad a la desecación y a cambios de temperatura (Pammenter y Berjak, 2000; Wen y Cai, 2014).

Las primeras etapas del desarrollo en las plantas son las más vulnerables a cambios climáticos (Lloret *et al.,* 2004), por lo que el entendimiento de la dinámica de los procesos de germinación y desarrollo de plántulas es importante para descifrar la respuesta de las especies arbóreas a distintos niveles de factores abióticos, como el contenido de agua y temperatura del suelo (Borja, 2014).

La necesidad de realizar estudios que sirvan como base para efectuar programas de restauración ecológica en los bosques que albergan esta especie (Ramírez *et al.*, 2004) amerita investigar la manera en que las características del micrositio, específicamente el contenido de agua y la temperatura del suelo, afectan la germinación y desarrollo inicial de la regeneración. En este sentido, se requiere determinar las condiciones edáficas que favorecen estos procesos (Rey Benayas *et al.,* 2008; Borja, 2014) y relacionarlas con prácticas de manejo concretas que permitan desarrollar planes de recuperación para belloto del Norte.

Adicionalmente, varios autores sostienen que para determinar las respuestas de alguna especie ante nuevas condiciones climáticas es importante enfocarse en las poblaciones localizadas en los límites latitudinales de su distribución (Travis y Ditham, 2004; Sexton *et al.*, 2009), por tratarse de zonas más sensibles a cambios de índole ambiental (Fisichelli *et al.,* 2014), más aún en el caso de plantas, pues su naturaleza sedentaria permite detectar cambios espaciales y temporales con mayor facilidad (Crawford, 2008).

El belloto del Norte se encuentra entre las localidades de Hualquén (32°S) y Altos de Cantillana (34°S) (Ramírez *et al.*, 2004), sin embargo, la mayoría de los estudios sobre esta especie se han realizado en zonas más cercanas al extremo norte de su distribución latitudinal, tal es el caso de los trabajos efectuados por Henríquez y Simonetti (2001), quienes evaluaron los efectos de la herbivoría sobre la regeneración y reclutamiento en el Parque Nacional La Campana (32°57′S; 71°05′O), así como Brito y Flores-Toro (2014), cuyo estudio consistió en una descripción de la estructura y dinámica de los bosques de esta especie en la Cordillera El Melón (32º46’S; 71º13’O). Por esto se hace necesario llevar a cabo investigaciones sobre belloto del Norte en el límite meridional de su distribución, lo cual permitirá realizar un diagnóstico más amplio acerca de las medidas que podrían emplearse para la conservación de esta especie.

Con base en estos criterios, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar los efectos de temperatura y contenido de agua del suelo sobre la germinación y el desarrollo inicial de la regeneración de belloto del Norte, *Beilschmiedia miersii* (Gay) Kostermans, especie amenazada, en una población localizada en la Reserva Altos de Cantillana para proponer parámetros de manejo para la conservación de la especie.

Objetivos específicos

a) Caracterizar la dinámica hídrica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos.

b) Caracterizar la dinámica térmica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos.

c) Relacionar los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con la proporción de semillas germinadas.

d) Relacionar los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con el desarrollo inicial de la regeneración.

e) Proponer medidas que favorezcan la germinación y el desarrollo inicial de la regeneración de belloto del Norte para fines de conservación de la especie.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos generales de la especie

El belloto del Norte pertenece a la familia de las Lauráceas (Henríquez y Simonetti, 2001). Este árbol es tolerante a la sombra (Donoso, 2008) y su gran tamaño lo convierte en una especie dominante, asociándose con peumo (*Cryptocarya alba*), canelo (*Drimys winteri*), lingue (*Persea lingue*) y lun (*Escallonia* spp.) (Novoa, 2004). Se encuentra por lo general en quebradas, cursos de ríos y laderas protegidas de exposición sur (Gajardo y Serra, 1987), ocupando lugares húmedos por influencia del agua edáfica y la neblina costera (Ramírez *et al*., 2004). Habita ambientes encerrados en microcuencas y quebradas de la Cordillera de la Costa de Chile central, por lo que su sobrevivencia depende de factores geomorfológicos que dan lugar al anegamiento del suelo (San Martín *et al*., 1990). Esta especie florece entre los meses de diciembre y febrero (Cabello, 2007), produciendo frutos con forma de nuez elíptica (Rodríguez *et al*., 2005), los cuales maduran entre febrero y abril (Cabello, 2007). La germinación de las semillas es hipógea (Quiroz *et al*., 2009) y se da en forma abundante, sin embargo el reclutamiento de plantas es mínimo (Cabello, 2007).

Las semillas de belloto del Norte son recalcitrantes (Bustamante y Simonetti, 2000), un tipo de semillas que se distingue por mantener su metabolismo activo y poseer contenidos altos de humedad, que fluctúan entre 0,4 a 4,0 gramos de agua por gramo de materia seca (g/g) cuando son diseminadas (Pammenter y Berjak, 2000); lo que determina su sensibilidad a la deshidratación y una rápida pérdida de viabilidad luego de la diseminación (Magnitskiy y Plaza, 2007), por lo cual deben germinar rápidamente luego de caer o mantenerse en suelos húmedos, de otra forma es poco probable que sobrevivan (Bewley *et al.*, 2006).

2.2 Problemas de conservación del Belloto del Norte

La regeneración del belloto del Norte se ha visto seriamente afectada por la explotación maderera, fragmentación, pérdida de hábitat (Serra *et al.,* 1986), extracción de hojarasca (Becerra *et al*., 2004) y pastoreo, pues las plántulas y semillas son muy apetecidas por el

ganado (Henríquez y Simonetti, 2001). Además de esto, la sequía presente en Chile central implica que las precipitaciones no sean suficientes para abastecer los requerimientos hídricos de esta especie, ya que las plántulas mueren en muchos casos por escasez de humedad (Henríquez y Simonetti, 2001; Novoa, 2004). Los bosques de belloto del Norte presentan un aumento en su xerofitismo por la presencia de malezas anuales alóctonas, evidenciando la apertura del dosel por actividades antrópicas (Ramírez *et al*., 2004). Gajardo y Serra (1987) mencionan que hasta 1987 existían entre 20 y 30 poblaciones de esta especie, pero en la actualidad, según Brito y Flores-Toro (2014), únicamente una está contenida dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE), específicamente en el Parque Nacional La Campana (Henríquez y Simonetti, 2001). Estas situaciones han ocasionado que el belloto del Norte sea declarado Monumento Natural, mediante D.S. N°13/1995 (MINAGRI, 1995), e incluido en la Categoría de Vulnerable, según D.S. N°50/2008 (MINSEGPRES, 2008).

2.3 Contenido de agua del suelo y su influencia sobre la germinación y regeneración

El éxito en la regeneración de las especies arbóreas está dado por varias circunstancias como la producción de semillas, germinación y emergencia de plántulas (Barik *et al*., 1996). El éxito de la germinación depende de las precipitaciones y de la naturaleza del lugar donde se deposita la semilla, siendo la humedad el aspecto más crítico y fluctuante. De hecho, si el lugar que alberga la semilla posee un exceso de humedad, las semillas emitirán raíces sin germinar o se verán afectadas por deficiencia de oxígeno (Smith, 1997). Por otro lado, un déficit hídrico puede ocasionar una reducción en la germinación, emergencia y crecimiento de plántulas (Osman, 2013).

Los árboles pertenecientes a la familia Lauraceae se caracterizan por poseer semillas de gran tamaño (Cuevas *et al*., 2008). En Chile, esto se evidencia en el género *Beilschmiedia*, pues las semillas de *Beilschmiedia miersii* presentan dimensiones de 4 cm de largo por 3 cm de ancho, mientras que en el caso de *Beilschmiedia berteroana* pueden llegar a tener 2 cm de diámetro (Castillo y Moreno, 2002). Este tipo de semillas requieren altos contenidos de agua en el suelo para su germinación (Cuevas *et al*., 2008), debido a que su baja relación superficie/volumen amerita un mayor tiempo de imbibición en comparación con otras de menor tamaño (Kikuzawa y Koyama, 1999).

Muchas especies arbóreas experimentan problemas de regeneración debido a que la falta de humedad causa mortalidad en las plántulas que producen (Grau, 2004; Fenner y Thompson, 2005), siendo vulnerables a la desecación especialmente en el primer año de crecimiento, pues en este período su tamaño es reducido y su sistema radicular no tiene la capacidad de acceder hacia capas de suelo más profundas, cuyo potencial hídrico, en muchos casos, es mayor al que se registra en capas superficiales (Engelbrecht *et al*., 2005).

Las especies arbóreas de la familia Lauraceae se caracterizan por producir gran cantidad de plántulas con una alta mortalidad denso-dependiente, de las cuales muy pocas alcanzan el estado adulto (Martínez, 1985). La forma en que la disponibilidad hídrica del medio afecta la regeneración puede variar dependiendo de la especie (Urbieta *et al*., 2008), por ejemplo, en un estudio realizado por Parada y Lusk (2011) con dos especies de lauráceas en un bosque de la transición templado-mediterránea de Chile se demostró que *Cryptocarya alba* registró una menor mortalidad en relación a *Persea lingue*, debido a que las plántulas producidas por esta última fueron más sensibles a la desecación en épocas de verano.

2.4 Temperatura del suelo y su influencia sobre la germinación y regeneración

La temperatura del suelo influye en varios procesos fisiológicos de la semilla (Coperland y MacDonald, 2001; Probert, 2000). Cuando bajo el dosel forestal la temperatura no alcanza los niveles requeridos por las semillas, la germinación es imposibilitada o retardada, ocurriendo lo mismo en fondos de quebradas o exposiciones sur (Donoso, 2008).

Las semillas de los árboles difieren en cuanto a la temperatura requerida para su germinación dependiendo de la especie (Donoso, 2008; Watson, 2013). En Chile central este hecho puede comprobarse al comparar ciertas especies de la familia Lauraceae, tal es el caso de *Persea lingue* y *Cryptocarya alba*, cuyos rangos de germinación corresponden a 15-30 °C y 10-25 °C, respectivamente (Figueroa, 1999), sin embargo el belloto del Norte es capaz de germinar entre 5 y 25 ºC, con temperaturas óptimas entre 10 y 15ºC, en tanto que temperaturas superiores a 30 °C resultan letales para esta especie (Cabello y Anselmo, 1999).

La temperatura del suelo influye en la emergencia y supervivencia de las plántulas de regeneración, pues éstas necesitan una temperatura adecuada para elongarse, emitir brotes, raíces, absorber agua y captar nutrientes (Hillel, 2003; Binkley y Fisher, 2013; Osman, 2013). En climas fríos, un dosel denso puede mantener las temperaturas del suelo tan bajas, que el desarrollo de las plántulas se retrasa (Binkley y Fisher, 2013). Por otro lado, la remoción del dosel puede ocasionar que el suelo absorba radiación solar de forma directa, aumentando su temperatura e incrementando la evapotranspiración a niveles que podrían ser perjudiciales para las plántulas (Binkley y Fisher, 2013). En tal sentido, aunque un aumento de temperatura podría acrecentar el porcentaje de semillas germinadas en algunas especies arbóreas, esta misma condición puede ocasionar una mayor mortalidad de plántulas por desecación (Donoso, 2008), más aun en climas mediterráneos, donde las sequías de verano constituyen un factor limitante para la regeneración (Borja, 2014).

2.5 Influencia de la hojarasca en la germinación y regeneración

El bosque permite la formación de capas de hojarasca (Donoso, 2008) que modifican las condiciones de la superficie mediante intercepción de luz, disminución de la amplitud térmica y reducción de la evaporación (Fenner y Thompson, 2005). Varios estudios han reflejado que la hojarasca podría presentar un efecto negativo en el reclutamiento mediante el impedimento de la germinación o la supresión del crecimiento y establecimiento de plántulas (Xiong y Nilsson, 1999; Fenner y Thompson, 2005), constituyendo una barrera física para la emergencia de brotes (Sayer, 2006), sin embargo esto depende del tamaño de la semilla, pues se ha comprobado que especies de semillas pequeñas no disponen de reservas necesarias para atravesar la capa de hojarasca y alcanzar niveles de luz que les permitan continuar su proceso de crecimiento, a diferencia de semillas de mayor tamaño que poseen la habilidad de germinar y emerger a través de la hojarasca (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1992; Sayer, 2006).

En los bosques húmedos la hojarasca protege a semillas de especies siempreverdes, debido a que son tolerantes a la sombra, pero sensibles a la radiación intensa y la sequía (Molofsky y Augspurger, 1992; Wadsworth, 2000). Este es el caso del belloto del Norte, pues se comprobó que la hojarasca facilita el acceso a la humedad, aumentando la proporción de semillas germinadas en época de escasez hídrica (Becerra *et al.*, 2004). Asimismo, al favorecer la retención de agua en los primeros centímetros de suelo

(Donoso, 2008), puede propiciar la supervivencia de plántulas de especies tolerantes a la sombra, protegiéndolas de la desecación (Guzmán-Grajales y Walker, 1991; Sayer, 2006), aunque este no sería el caso de belloto del Norte, pues según Becerra *et al.* (2004), la hojarasca tendría un efecto neutro en cuanto a la supervivencia de plántulas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Aspectos generales del sitio de estudio

3.1.1.1 Geología y geomorfología

Localizada en el dominio oriental de la Cordillera de la Costa (Sabaj, 2008), el área de Altos de Cantillana corresponde a un relieve de predominio montañoso costero, disectado por valles encajonados de fuertes pendientes, cuyas cumbres no superan los 2.000 m.s.n.m. (Centro EULA-Chile, 2004).

De acuerdo a la cartografía geológica realizada por Padilla (2007), la Reserva Altos de Cantillana corresponde a la formación Veta Negra, la cual, según el Centro EULA-Chile (2004), se localiza al oeste de la Laguna de Aculeo y está dispuesta sobre la formación Lo Prado, subyaciendo a los estratos de Horcón de Piedra. Esta zona corresponde a una unidad volcánica y, en parte, subvolcánica, incluyendo andesitas con grandes fenocristales de plagioclasa, lavas andesíticas porfídicas y afaníticas e intercalaciones sedimentarias subordinadas (Centro EULA-Chile, 2004).

3.1.1.2 Características climáticas y meteorológicas

El clima de la macrozona sur de la Región Metropolitana se clasifica como templado-cálido (Köppen, 1948; Fuenzalida, 1971), con una estación seca prolongada que dura entre 6 y 8 meses (Centro EULA-Chile, 2004).

La zona de la Reserva de Altos de Cantillana, según Santibáñez y Uribe (1990), corresponde al Distrito Agroclimático 65.3, de tipo templado mesotermal estenotérmico mediterráneo semiárido. La descripción de sus características meteorológicas se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Características meteorológicas para la zona de Altos de Cantillana.

Variable meteorológica	Valor
Temperatura promedio del aire en el mes más cálido	27,7 °C (enero)
Temperatura promedio del aire en el mes más frio	4,7 °C (julio)
Precipitación promedio anual	457 mm
Días-grado anuales	1.650
Humedad relativa del aire promedio anual	77%

Fuente: Santibáñez y Uribe (1990)

3.1.1.3 Suelos

En la Región Metropolitana los suelos que se hallan en lomajes y cerros de la Cordillera de la Costa se diferencian entre sí por su posición, pendiente, grado de diferenciación de horizontes, profundidad del perfil y pedregosidad (Luzio, 2010). En las laderas de los cerros se localizan suelos delgados con escaso desarrollo sobre roca, presentando pedregosidad y frecuentes afloramientos rocosos que ocupan todas las posiciones del relieve (Luzio, 2010). En sectores montañosos con pendientes fuertes los horizontes superiores tienen escasa profundidad, son permeables y poseen texturas gruesas (Quintanilla *et al*., 2012). En los sectores de lomas con pendientes moderadas los horizontes son más arcillosos, densos y compactos, de colores pardos rojizos, intensamente meteorizados y susceptibles de erosión en manto y zanjas (Centro EULA-Chile, 2004).

De acuerdo a la cartografía edafológica realizada por Padilla (2007), los suelos de la zona norte de la Reserva Altos de Cantillana corresponden a la Asociación Mansel (familia de los Inceptisoles), extendiéndose hasta el Cajón de Aculeo, en el Camino de Rangue a Cholqui. Poseen un buen grado de desarrollo, con horizonte B definido y, eventualmente, horizontes superficiales de color negro, alto contenido de materia orgánica y texturas franco-arcillosas (Centro EULA-Chile, 2004). En estos suelos se encuentran rocas con un alto grado de meteorización, fracturándose con gran facilidad, situación que se limita únicamente por la presencia abundante de vegetación boscosa nativa (Centro EULA-Chile, 2004). Dadas sus características, la capacidad de uso de esta Asociación es muy limitada, con clases que varían de VI a VII y profundidades efectivas entre 20 y 80 cm, dependiendo de la pendiente (Centro EULA-Chile, 2004).

3.1.1.4 Vegetación y Clasificación Ecológica

El bosque esclerófilo presente en quebradas de exposición sur en la zona de Cantillana corresponde a renovales dominados por especies arbóreas de hoja dura y coriáceas, tales como *Cryptocarya alba* (peumo), *Peumus boldus* (boldo), *Quillaja saponaria* (quillay), *Lithraea caustica* (litre), *Beilschmiedia miersii* (belloto del Norte) y *Persea lingue* (lingue), entre otras (Centro EULA-Chile, 2004).

Según Keeley *et al*. (2012), el belloto del Norte forma parte del bosque esclerófilo mésico, el cual se expande a lo largo de valles y laderas de la Cordillera de la Costa. Dentro del bosque esclerófilo existe un subtipo forestal higrófilo localizado en fondos de quebradas, dominado por *Beilschmiedia miersii* (Gay) Kostermans (Donoso, 1981). Schmithüsen (1956) denominó a estos bosques como asociación *Beilschmiedietum miersii;* mientras que Gajardo (1994) los llamó asociación *Beilschmiedia miersii-Crinodendretum pataguae*.

3.1.2 Características del sitio experimental

3.1.2.1 Localización Geográfica

El estudio se realizó en el sector denominado "Quebrada del árbol", Comuna de Melipilla, Provincia del mismo nombre, Región Metropolitana, Chile. Este predio se inserta en el Sitio Prioritario para la Conservación Altos de Cantillana (Figura 1). Dentro del sector antes mencionado se seleccionaron tres Sitios:

1. Un rodal dominado por *Beilschmiedia miersii* de crecimiento secundario (Figura 2a). En esta situación se verifica una considerable regeneración por semillas.
2. Un sitio de ecotono[1] de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo (Figura 2b), en el cual existió regeneración más restringida.
3. Un sitio de ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo (Figura 2c), con presencia muy escasa de belloto del Norte y casi nula regeneración de la especie.

Las características de cada Sitio se resumen en la Tabla 2.

[1]Según Monguillo y Zierdt-Warshaw (2000), "Ecotono es una zona ecológica o límite formado en un área donde confluyen dos o más ecosistemas. Un ecotono sirve como una zona de transición entre dos hábitats distintos, que generalmente tienen sus propias características en cuanto a flora y fauna. Un ecotono puede tener las características de cada uno de sus ecosistemas adyacentes o sus propias y únicas características".

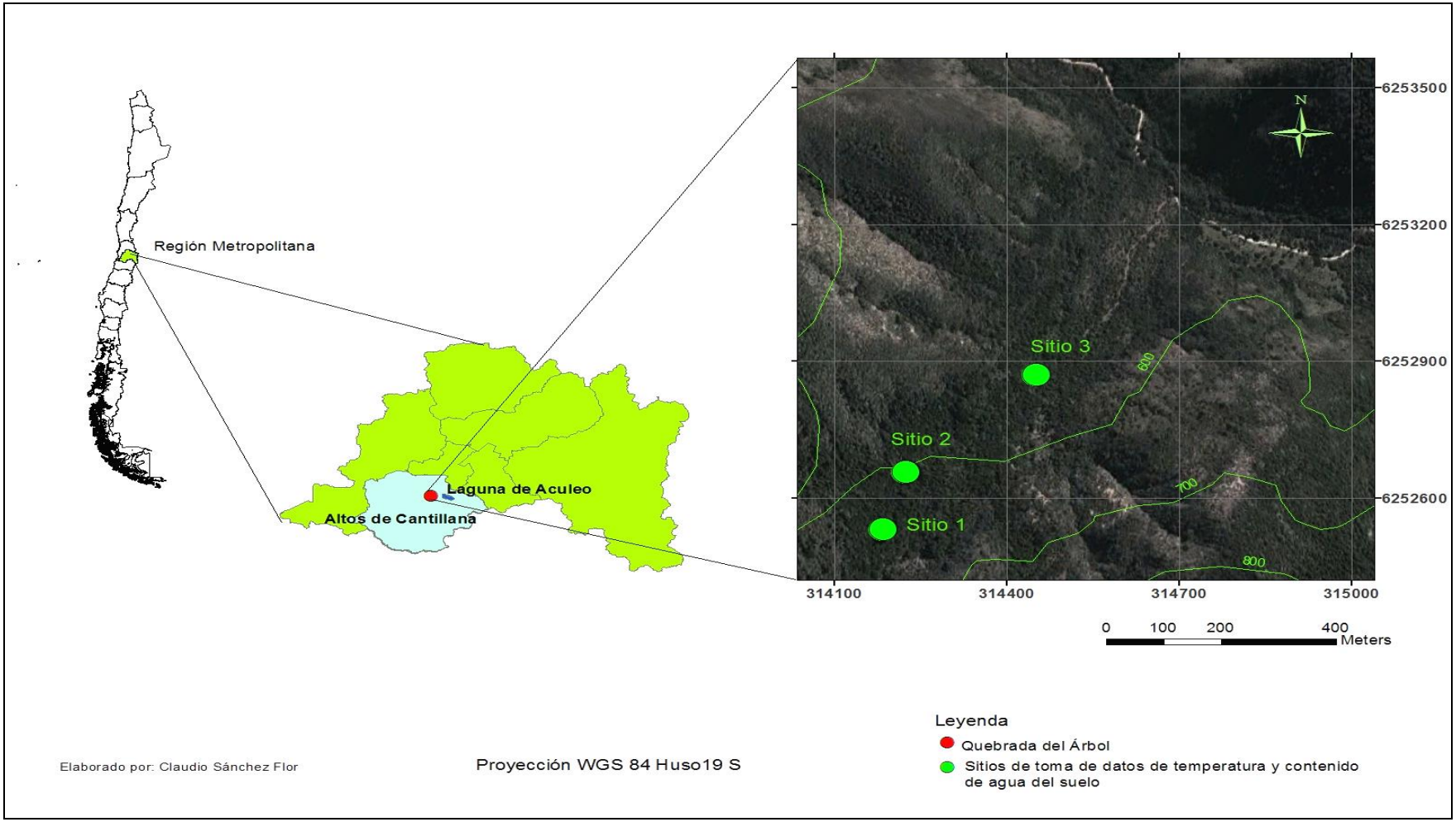

Figura 1. Sector denominado "Quebrada del árbol", ubicado en el Sitio Prioritario para la Conservación Altos de Cantillana, Región Metropolitana, Chile**.** La toma de datos de temperatura y contenido de agua del suelo se realizó en tres Sitios: Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte), Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo) y Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo).

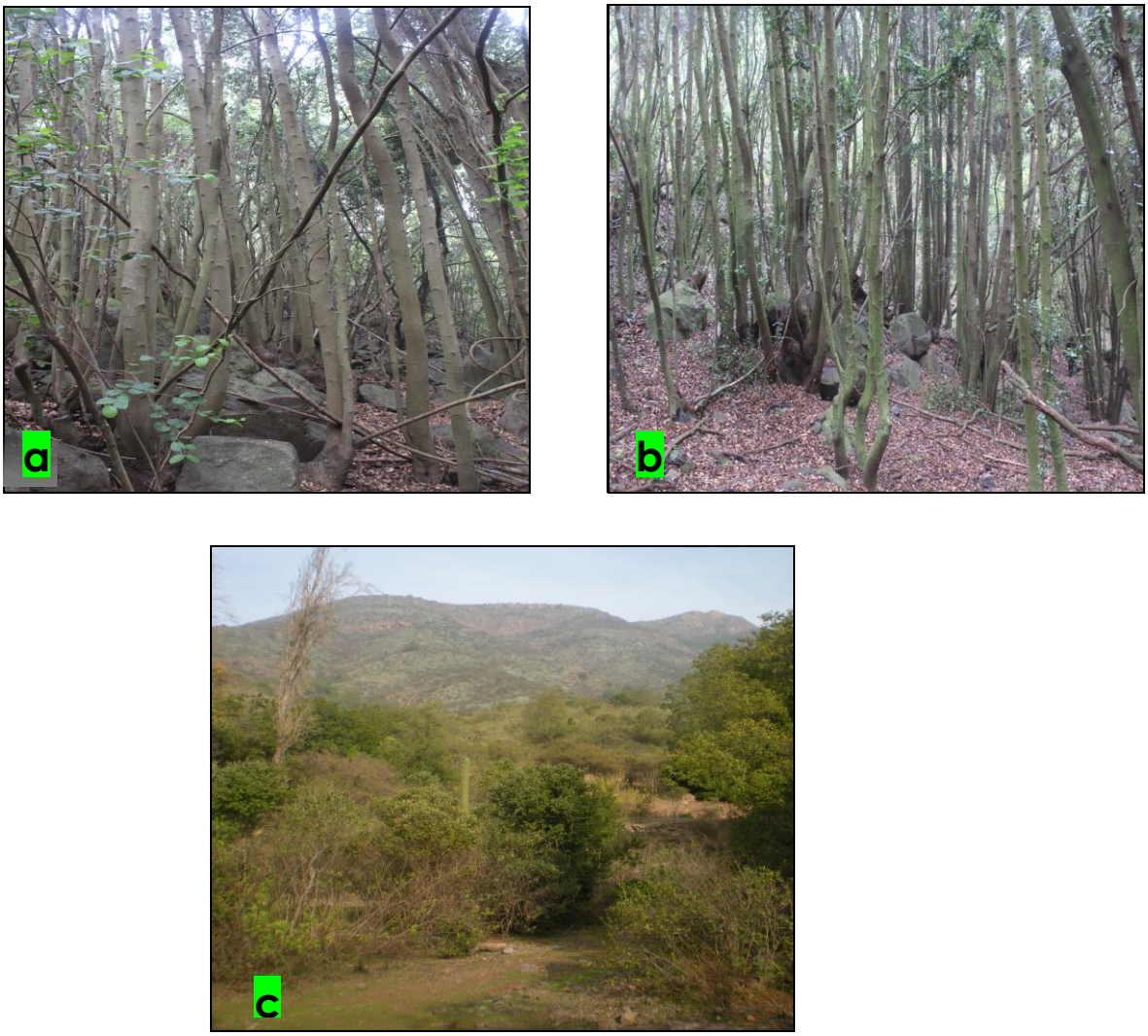

Figura 2. Fotografías digitales correspondientes a cada uno de los Sitios de estudio: Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte) (**a**), Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo) (**b**) y Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo) (**c**).

Tabla 2. Caracterización de los Sitios de estudio considerando un área de muestreo de 250 m^2 para cada uno.

Sitios	Pendiente aproximada (%)	Altitud (m.s.n.m.)	Especies arbóreas	Árboles por hectárea	DAP promedio (cm)	Rango de alturas (m)	Árboles multifustales por hectárea	[2]Cobertura arbórea (%)	Espesor promedio de la hojarasca (cm)
1 (Bosque de belloto del Norte)	5	563-570	*Beilschmiedia miersii*	800	15,5	6-25	520	88	12
			Cryptocarya alba	900	10,5	4-20	280		
			Persea lingue	40	12,6	18-21	40		
2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)	3,5	528-532	*Beilschmiedia miersii*	600	11,1	4-16	320	67	5
			Cryptocarya alba	1.500	8,7	3-12	480		
			Lithraea caustica	80	10,3	2-6	80		
			Quillaja saponaria	80	9,8	3-6	40		
			Persea lingue	40	34,0	12	0		
3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)	2	486-487	*Cryptocarya alba*	600	8,8	2-5	120	52	0
			Peumus boldus	80	9,0	4-5	40		
			Lithraea caustica	200	7,6	2-4	120		
			Quillaja saponaria	80	8,5	2-5	1		

[2] La cobertura arbórea se estimó mediante fotografías digitales hemisféricas tomadas a 1,3 m del suelo con una cámara digital Sigma y un lente ojo de pez Sigma EX DG 8 mm. El procesamiento de las imágenes se realizó con el software HemiView versión 2.1 (Delta-T Devices, 1999). En cada Sitio se tomaron fotografías en nueve puntos distribuidos sistemáticamente para obtener un valor promedio de cobertura, siguiendo un método similar al de Aguirre-Salado *et al.* (2011).

3.2 Método

3.2.1 Procedimiento

3.2.1.1 Caracterización de la dinámica hídrica y térmica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos.

La estimación del contenido de agua del suelo (m^3/m^3) se realizó mediante el empleo de sensores Decagon® 5TE. Estos fueron ubicados a tres profundidades (10, 20 y 30 cm), teniendo para cada caso tres repeticiones (tres sensores separados entre 6 y 9 m entre sí). Por consiguiente, se utilizó nueve sensores por cada uno de los tres Sitios de estudio, sumando un total de 27. Estos dispositivos estuvieron conectados a cajas electrónicas dataloggers Decagon® EM50 para la recepción, almacenamiento y manejo de datos, fijándose una periodicidad de una hora para las mediciones, a través del software ECH2O.

Para la calibración de los sensores de medición del contenido de agua del suelo se siguió el proceso recomendado por Decagon Services (2013). En tal sentido, en cuatro ocasiones se obtuvo muestras de suelo con un cilindro metálico en zonas aledañas a cada uno de los sensores distribuidos en los tres Sitios. Posteriormente, se calculó el contenido volumétrico de agua del suelo mediante el procedimiento señalado por Osman (2013), utilizando la ecuación 1:

$$\boldsymbol{\theta v = (Wh - Ws) / (Pa * Vc)} \qquad (1)$$

Donde:

Θv = Contenido volumétrico de agua del suelo (m^3/m^3)

Wh = Peso de la muestra en húmedo (kg)

Ws = Peso de la muestra luego de haber sido secada a 105 °C por 24 horas (kg)

Pa = Densidad del agua (1.000 kg/m^3 a 20 °C)

Vc = Volumen del cilindro metálico utilizado para tomar la muestra (m^3)

Para construir las curvas de calibración de cada sensor, los datos obtenidos por el procedimiento antes descrito se ubicaron en el eje de las abscisas y los generados por los sensores, en el eje de las ordenadas.

Adicionalmente, se estimó la densidad aparente a cada profundidad mediante la ecuación 2, sugerida por Osman (2013):

$$\mathbf{Pb = Ws / Vc} \qquad (\mathbf{2})$$

Donde:

Pb = Densidad aparente del suelo en kg/m^3

Ws = Peso de la muestra luego de haber sido secada a 105 °C por 24 horas (kg)

Vc = Volumen del cilindro metálico utilizado para tomar la muestra (m^3)

Tomando en cuenta que en cada Sitio se calcularon tres valores de densidad aparente por cada profundidad, estos se promediaron para obtener un solo valor a 10, 20 y 30 cm. Los resultados se presentan en el Anexo 5.

Para estimar la temperatura del suelo (°C) se utilizaron los mismos sensores Decagon® 5TE que funcionan mediante un termistor (sensor que mide temperatura) (Decagon Services, 2013). El procedimiento de obtención y almacenamiento de datos de esta variable fue similar al del contenido de agua del suelo.

Considerando el contenido de agua del suelo se determinaron dos temporadas para la obtención y análisis de datos: una de “Recarga” (abril-agosto 2013) y otra de “Pérdida” (septiembre 2013-marzo 2014), como se observa en la Figura 3. La información referente a precipitación promedio mensual y temperatura atmosférica promedio mensual fue proporcionada por la Estación meteorológica Isla de Maipo, situada a 14 km del lugar del ensayo (coordenadas UTM: Huso 19H, Norte: 6262411, Este: 325268) (Sistema Agroclimático FDF-INIA-DMC, 2014).

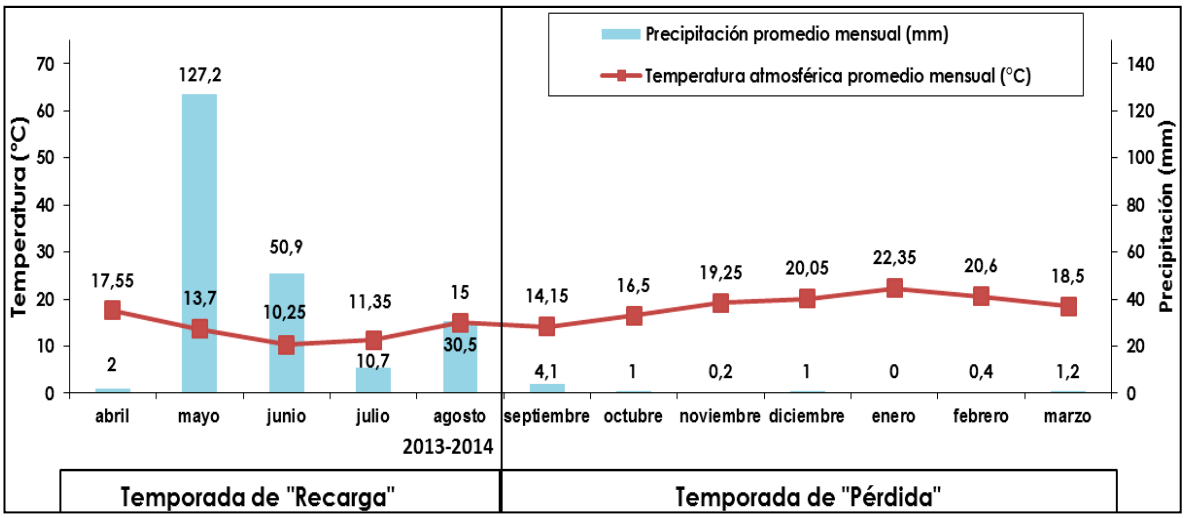

Figura 3. Precipitación promedio mensual y temperatura atmosférica promedio mensual registradas en la Estación meteorológica Isla de Maipo (Sistema Agroclimático FDF-INIA-DMC, 2014) durante las temporadas de "Recarga" y "Pérdida".

3.2.1.2 Relación de los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con la proporción de semillas germinadas

Esta sección se sustenta en los datos de proporción de semillas germinadas[3] generados en los tres Sitios de estudio por Kremer (2015), quien utilizó dos tratamientos en cuanto a disponibilidad hídrica ("alta" y "baja") y tres tratamientos de profundidad de hojarasca ("0 cm", "5 cm" y "12 cm"). Para esta investigación se utilizaron únicamente los datos de proporción de semillas germinadas que coinciden con la profundidad de hojarasca registrada originalmente en cada Sitio, es decir, "0 cm" en el Sitio 3, "5 cm" en el Sitio 2 y "12 cm" en el Sitio 1 (Tabla 2), todos correspondientes al tratamiento de disponibilidad hídrica "baja".

Para determinar el efecto de la temperatura y el contenido de agua del suelo sobre la germinación, se correlacionó la proporción de semillas germinadas obtenida en agosto del 2013 en los tres Sitios con el valor del contenido promedio de agua de suelo a 10 cm de todo el período de germinación (mayo-agosto 2013), así como con los días-grado acumulados durante dicho período.

[3] En el ensayo realizado por Kremer (2015) se consideró a una semilla como germinada una vez que la radícula emergió de ella, luego de fracturarse la testa (Becerra *et al.*, 2004; Fenner y Thompson, 2005).

3.2.1.2.1 Cálculo de los días-grado acumulados en el período de germinación

Considerando que la germinación de las especies arbóreas depende mayormente de la temperatura registrada en los primeros centímetros de suelo (Zasada *et al*., 1992), se estimó la cantidad de grados de temperatura acumulados diariamente (días-grado) a 10 cm en los tres Sitios desde mayo hasta agosto del 2013.

Para esto se consideró el procedimiento señalado por Martin y Sauerborn (2013), el cual comprende las ecuaciones 3 y 4:

$$T_n = \Sigma T' \quad (3)$$

$$T' = [(T_{max} + T_{min})/2 - T_{base}] \quad (4)$$

Donde:

T_n = Días-grado

T' = Suma de temperatura en un día

T_{min} = Temperatura mínima diaria

T_{max}= Temperatura máxima diaria

T_b = Temperatura base

En este caso se utilizó como Temperatura base la temperatura mínima de germinación para belloto del Norte (5 °C), formulada por Cabello y Anselmo (1999).

3.2.1.3 Relación de los gradientes de temperatura y humedad del suelo con el desarrollo inicial de la regeneración

Con el objetivo de evaluar el desarrollo inicial de la regeneración, se dispuso de los datos obtenidos por Kremer (2015), quien dio seguimiento a las plántulas[4] producidas a partir de las semillas germinadas en los tratamientos con “0 cm” en el Sitio 3, “5 cm” en el Sitio 2 y “12 cm” en el Sitio 1, desde el mes posterior a la finalización del período de germinación (septiembre 2013) hasta una vez terminada la temporada de “Pérdida” (marzo del 2014), donde se contabilizó la proporción media de plántulas sobrevivientes en cada Sitio. Adicionalmente, tomando en cuenta que la temperatura y la disponibilidad de agua del suelo son decisivas para la regeneración de especies arbóreas en zonas mediterráneas

[4] Entiéndase por “plántula” un estado comprendido entre el momento en que la semilla germina, hasta previo a su establecimiento definitivo (Fenner y Thompson, 2005).

(Borja, 2014), se correlacionó los datos de proporción media de plántulas sobrevivientes con los valores de temperatura promedio y contenido promedio de agua del suelo a 10 cm de toda la temporada de “Pérdida”.

3.2.2 Variables y análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS Statistics 19.0 (SPSS IBM, 2011).

3.2.2.1 Determinación de la dinámica hídrica y térmica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos.

Para cada Sitio se realizaron dos ANDEVA bifactoriales de Medidas Repetidas, uno para la temporada de “Recarga” y otro para la temporada de “Pérdida”. Dichos análisis consideraron como primer factor a la profundidad, la cual constó de tres niveles (10, 20 y 30 cm), mientras que el segundo factor o medida repetida fue el mes, con cinco niveles en la temporada de “Recarga” y siete en la de “Pérdida” (Figura 3). Esto se hizo con ambas variables, es decir, tanto para el contenido promedio mensual de agua del suelo como para la temperatura promedio mensual del suelo. En el análisis *post-hoc* se utilizó la Prueba de Tukey al 5% (Field, 2009) con el fin de determinar las diferencias de las variables entre meses y entre profundidades.

Los datos de temperatura promedio mensual del suelo y contenido promedio mensual de agua del suelo cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Esto se comprobó utilizando la Prueba de Shapiro-Wilk y la Prueba de Levene, respectivamente, como recomienda Field (2009).

Adicionalmente, por tratarse de un ANDEVA de Medidas Repetidas, se aplicó la Prueba de Maulchy para comprobar que los datos de estas variables cumplan con el supuesto de esfericidad. En vista de que esto no ocurrió, se aplicó la corrección de grados de libertad de Greenhouse-Geisser, como aconseja Field (2009).

Tanto en la temporada de “Recarga como en la de “Pérdida” se determinaron los valores máximos y mínimos de temperatura promedio mensual y contenido promedio mensual de agua del suelo a las tres profundidades estudiadas para calcular la oscilación de estas variables.

Para la densidad aparente promedio se realizó un ANDEVA unifactorial en cada Sitio con la Prueba de Tukey al 5% para determinar las diferencias entre profundidades (Anexo 5).

3.2.2.2 Relación de los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con la proporción de semillas germinadas

Con el fin de determinar la relación entre la proporción de semillas germinadas y el contenido promedio de agua del suelo, así como con los días-grado acumulados a 10 cm en el período de germinación, se utilizó el Coeficiente de Correlación de Spearman (5%), pues los valores de estas dos últimas variables no cumplieron con el supuesto de normalidad (Field, 2009).

3.2.2.3 Relación de los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con el desarrollo inicial de la regeneración

Mediante el Coeficiente de Correlación de Spearman (5%) se determinó la relación entre la proporción media de plántulas sobrevivientes en cada Sitio y el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en la temporada de "Pérdida" (septiembre 2013-marzo 2014), haciendo lo mismo entre la proporción media de plántulas sobrevivientes y el valor de temperatura promedio del suelo a 10 cm para el mismo período.

Las variables dependientes e independientes se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Variables dependientes e independientes consideradas en este estudio

Variables independientes	Variables dependientes
• Temperatura promedio mensual del suelo (°C) a 10, 20 y 30 cm • Contenido promedio mensual de agua del suelo (m^3/m^3) a 10, 20 y 30 cm	
• Días-grado acumulados a 10 cm en el período de germinación (mayo-agosto 2013) • Contenido promedio de agua del suelo (m^3/m^3) a 10 cm en el período de germinación	• Proporción media de semillas germinadas (%)
• Temperatura promedio (°C) del suelo a 10 cm en la temporada de "Pérdida" • Contenido promedio de agua del suelo (m^3/m^3) a 10 cm en la temporada de "Pérdida"	• Proporción media de plántulas sobrevivientes (%)

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización de la dinámica hídrica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos

4.1.1 Temporada de “Recarga”

4.1.1.1 Sitio 1

La interacción Mes x profundidad fue estadísticamente significativa (p =0,002). En la Figura 4b se observa que esto dio lugar a que los valores del contenido promedio mensual de agua del suelo a 10 cm en junio y julio hayan sido significativamente mayores a los registrados en abril y mayo. Por otro lado, los valores de esta variable a 20 cm en mayo, junio, julio y agosto fueron significativamente mayores al que se registró en abril; en tanto que los valores del contenido promedio mensual de agua del suelo a 30 cm en junio, julio y agosto fueron significativamente mayores al registrado en abril (Figura 4b).

Estos resultados se deben al régimen climático que caracteriza a la región mediterránea de Chile central, pues, según Garreaud (1994), la mayor parte de la precipitación anual en esta zona se concentra entre mayo y agosto (Figura 4a), ocasionando un incremento en el contenido de agua del suelo (Miller y Hajek, 1981), como se observa en la Figura 4b.

Adicionalmente, la interacción Mes x profundidad originó que únicamente en mayo, junio y julio el contenido promedio mensual de agua del suelo a 20 y 30 cm haya sido significativamente mayor al registrado a 10 cm (Figura 4b), coincidiendo con un aumento en las precipitaciones en los meses antes mencionados (Figura 4a).

Esto podría atribuirse a que en el Sitio 1 predominaron árboles adultos (88% de cobertura), lo que favorece la formación de macroporos (Wang *et al*., 2013), así como la acumulación de materia orgánica en los primeros centímetros de suelo (Chaturvedi *et al*., 2014), ocasionando un aumento en la porosidad y, por consiguiente, una disminución en la densidad aparente (Osman, 2013), como se observa en el Anexo 5, donde el valor más bajo para esta variable se registró a los 10 cm. Lo anterior pudo haber permitido que el agua que alcanzó la superficie haya permeado con facilidad a través de esta y se concentre en capas subyacentes del perfil edáfico (Breshears y Barnes, 1999; James *et*

al., 2003), específicamente a 20 y 30 cm, donde el suelo presentó los valores más altos de densidad aparente.

4.1.1.2 Sitio 2

En el Sitio 2 el valor del contenido promedio mensual de agua del suelo a 10 cm fue significativamente mayor al registrado a 20 y 30 cm durante la temporada de "Recarga" (Figura 4d). Esto se debe a que, al tratarse de un renoval con un 67% de cobertura arbórea (Tabla 2), los claros en el dosel pudieron haber permitido la translocación de agua proveniente de las precipitaciones (Dalsgaard, 2007), sin embargo, la presencia de estratos rocosos continuos (observación personal) pudo haber limitado el movimiento vertical del agua en el perfil (Ward y Trimble, 2004), ocasionando que esta se concentre en primeros 10 cm de suelo (Figura 4d).

Por otra parte, el contenido promedio mensual de agua del suelo en el Sitio 2 presentó diferencias significativas dependiendo del Mes ($p < 0,001$). En la Figura 4d se observa que los valores de esta variable en junio, julio y agosto fueron significativamente mayores a los registrados en abril y mayo, debido a que en estos últimos hubo una menor incidencia de precipitaciones (Figura 4a).

4.1.1.3 Sitio 3

En la Figura 4f se observa que el contenido promedio mensual de agua del suelo presentó diferencias significativas de acuerdo al Mes ($p < 0,001$). En este sentido, los valores de esta variable en junio, julio y agosto fueron significativamente mayores a los registrados en abril y mayo en respuesta a que en los tres primeros hubo una mayor influencia de las precipitaciones (Figura 4a).

Cabe señalar que en el Sitio 3 la interacción Mes x profundidad no fue estadísticamente significativa. Asimismo, el contenido promedio mensual de agua del suelo no registró diferencias estadísticas significativas con respecto a la profundidad (Anexo 3a).

Tomando en cuenta que el principal recurso para la formación de materia orgánica en el suelo proviene de la hojarasca y esta, a su vez, depende de la vegetación existente (Wood, 1988), el hecho de que el Sitio 3 haya presentado una cobertura arbórea discontinua (52%) puede haber restringido la presencia de hojarasca (Tabla 2) y, por ende, la acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo. En consecuencia, la densidad aparente en los primeros 10 cm del suelo no difirió significativamente de la

registrada a 20 y 30 cm (Anexo 5), pues, de acuerdo a Donoso (2008), una mayor acumulación de materia orgánica tiende a disminuir los valores de esta variable. Lo anterior, sumado a la textura franco-arenosa del suelo (Anexo 2), caracterizada por una capacidad de retención hídrica moderada y una alta permeabilidad (Cogger, 2010), pudieron haber propiciado una distribución uniforme del flujo hídrico en los 30 primeros centímetros del perfil, sin que el contenido de agua del suelo haya diferido significativamente entre las tres profundidades estudiadas (Figura 4f).

4.1.2 Temporada de "Pérdida"

4.1.2.1 Sitio 1

En el Sitio 1 el contenido promedio mensual de agua del suelo no presentó diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la profundidad y la interacción Mes x profundidad no tuvo un efecto significativo (Anexo 3b). Sin embargo, esta variable presentó diferencias estadísticas significativas dependiendo del Mes ($p < 0,001$), por lo que el contenido promedio mensual de agua del suelo en septiembre fue superior al registrado en los meses posteriores (Figura 4c) debido a que a partir de octubre existió una disminución drástica en las precipitaciones (Figura 4a), lo que, según Bolle (2003), ocasiona una reducción en el contenido de agua del suelo.

4.1.2.2 Sitio 2

En el Sitio 2 el contenido promedio mensual de agua del suelo presentó diferencias estadísticas significativas respecto al Mes ($p < 0,001$), pero no de acuerdo a la profundidad (Anexo 3b). La interacción Mes x profundidad tuvo un efecto significativo sobre esta variable ($p < 0,001$), dando lugar a que únicamente entre septiembre y noviembre el contenido promedio mensual de agua del suelo a 10 cm haya sido significativamente mayor al registrado a 20 y 30 cm (Figura 4e), pues en estos meses la cobertura arbórea (67%) y la capa de hojarasca (5 cm de espesor) pudieron haber contribuido a minimizar las pérdidas de humedad por evaporación en la parte más superficial del suelo (Donoso, 2008), pero a medida que se manifestaron los efectos del verano, caracterizados por un incremento en la evaporación y una reducción en las precipitaciones (Holden, 2011), los valores del contenido promedio mensual de agua del suelo disminuyeron en la parte superficial (10 cm) hasta que no se diferenciaron estadísticamente de los registrados en

capas más profundas (20 y 30 cm), como se aprecia en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo (Figura 4e).

Adicionalmente, la interacción Mes x profundidad ocasionó que el contenido promedio mensual de agua del suelo a 10 cm en el mes de septiembre haya sido significativamente mayor al que se registró en los meses subsiguientes. Sin embargo, a 20 y 30 cm no hubo diferencias estadísticas significativas entre meses con respecto a esta variable (Figura 4e). Esto ocurrió posiblemente porque la parte más superficial del suelo es la más influida por las condiciones atmosféricas (Minet *et al.,* 2012), que en este caso implicaron una disminución notable de las precipitaciones a partir del mes de septiembre (Figura 4a), con una consecuente reducción en el contenido de agua del suelo.

4.1.2.3 Sitio 3

En la Figura 4g se observa que en esta temporada el contenido promedio mensual de agua del suelo en el Sitio 3 presentó diferencias significativas con respecto al Mes ($p < 0,001$), registrando los valores más altos de esta variable en septiembre por la influencia de las precipitaciones ocurridas en los meses previos (Figura 4a); mientras que los valores más bajos para esta variable correspondieron a febrero y marzo, como consecuencia de la sequía meteorológica que se registró en dichos meses (Figura 4a). Cabe mencionar que en el Sitio 3 el contenido promedio mensual de agua del suelo no presentó diferencias estadísticas significativas entre profundidades en ninguno de los meses de la temporada de “Pérdida” (Figura 4g). Esto podría atribuirse a que el bajo porcentaje de cobertura arbórea (52%) pudo haber permitido que la radiación solar penetre en el suelo con mayor facilidad, aumentando la evaporación (Riedl y Zachar, 1984; Lal y Shukla, 2004) y haciendo que el contenido de agua del suelo presente una tendencia similar en las tres profundidades estudiadas.

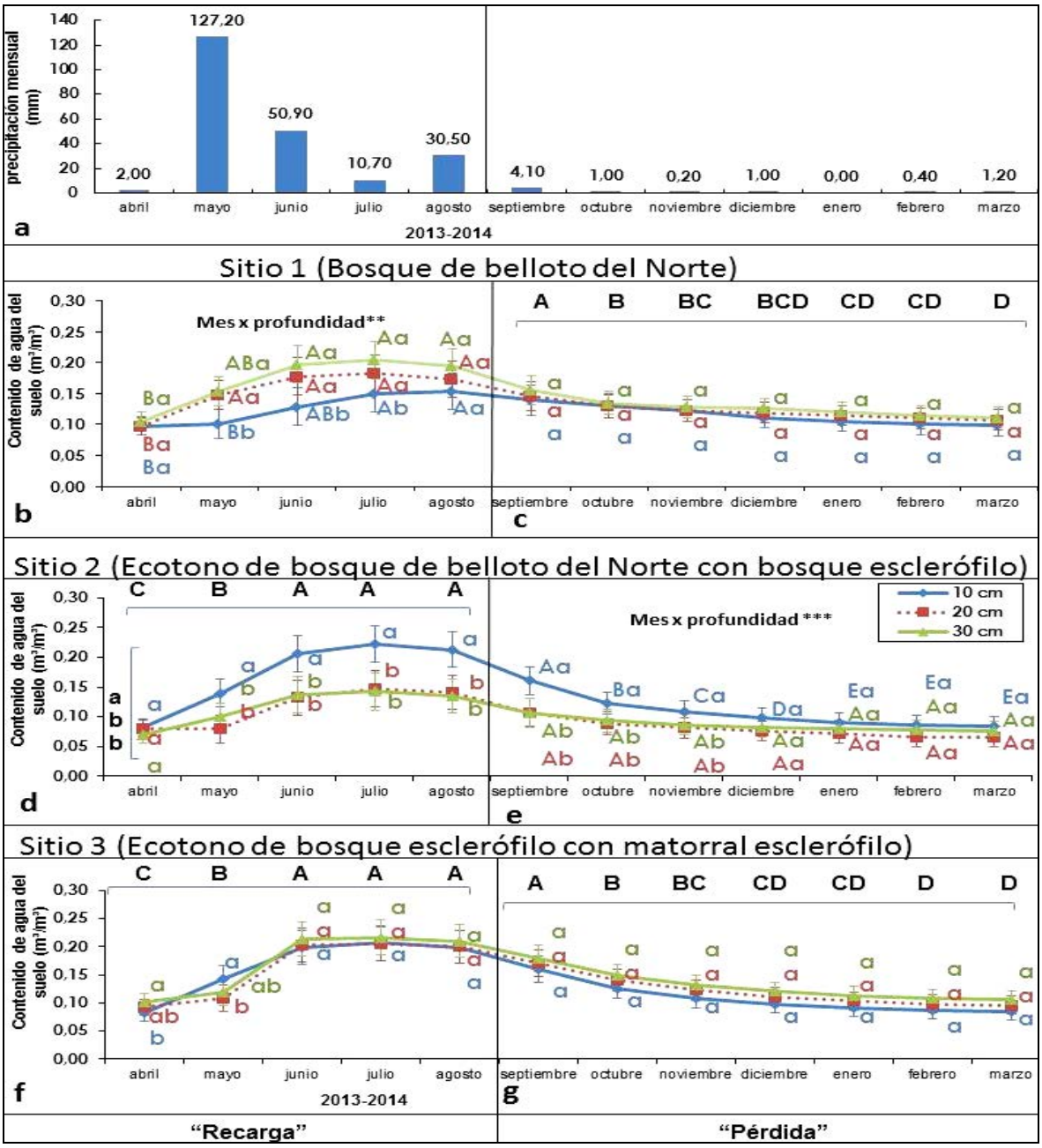

Figura 4. Precipitación promedio mensual registrada en la Estación meteorológica Isla de Maipo entre abril 2013 y marzo 2014 (**a**) (Sistema Agroclimático FDF-INIA-DMC, 2014). Contenido promedio mensual de agua del suelo de acuerdo a la profundidad en los tres Sitios de estudio en las temporadas de "Recarga" (**b, d** y **f**) y "Pérdida" (**c, e** y **g**). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas en función de la profundidad en cada mes. Letras mayúsculas distintas dan cuenta de las diferencias estadísticas entre meses. La significancia estadística de la interacción Mes x profundidad está dada por: *= p <0,05; **= p <0,01 y ***= p <0,001. Las barras indican +/- una desviación estándar (n=3).

4.1.3 Oscilación del contenido promedio mensual de agua del suelo en los Sitios de estudio

En la Tabla 4 se observa que, tanto en la temporada de “Recarga” como en la de “Pérdida”, los Sitios 2 y 3 presentaron una mayor amplitud en la oscilación del contenido promedio mensual de agua del suelo a 10 cm, en relación al Sitio 1; lo que puede asociarse a que este último presentó el porcentaje de cobertura arbórea más alto (88%), así como la capa de hojarasca de mayor espesor (12 cm), en relación a los Sitios 2 y 3 (Tabla 2). Consecuentemente, una mayor cobertura arbórea contribuye a reducir pérdidas por evaporación e interceptar por medio del dosel una mayor cantidad de agua proveniente de las precipitaciones (Asbjornsen *et al*., 2004). Asimismo, la hojarasca protege al suelo de las fluctuaciones microclimáticas del medio (Sayer, 2006), pues intercepta el agua proveniente de las precipitaciones (Tsiko *et al*., 2012), evitando el impacto directo de las gotas de agua en la superficie edáfica (Thomas y Packham, 2007). Por otra parte, la hojarasca regula la pérdida de agua desde el suelo, impidiendo la difusión de vapor (Facelli y Pickett, 1991).

Asimismo, el Sitio 3 presentó la mayor amplitud de la oscilación del contenido promedio mensual de agua del suelo a 20 y 30 cm, en relación a los Sitios 1 y 2 en ambas temporadas (Tabla 4). Esto podría atribuirse a que el Sitio 3 estuvo situado en la parte más baja de la pendiente (Tabla 2), lo que, según Hairston y Grigal (1994) y Meixia *et al*. (2013), permite generar una mayor acumulación de flujos hídricos, especialmente cuando existen precipitaciones (temporada de “Recarga”). Asimismo, el hecho de que el Sitio 3 haya presentado el porcentaje de cobertura arbórea más bajo (52%) pudo haber permitido que el agua procedente de las precipitaciones alcance la superficie e ingrese a través del suelo con mayor facilidad (Collins *et al*., 1985; Donoso, 2008). Sin embargo, la falta de cobertura arbórea también favorece la penetración de la radiación solar en el perfil edáfico (Lal y Shukla, 2004), más aun tratándose, como en este caso, de un suelo de textura gruesa (Anexo 2) (Geiger *et al*., 1995), generando mayores pérdidas por evaporación (Donoso, 2008) y aumentando así la amplitud de la oscilación del contenido de agua del suelo (Potts *et al*., 2010; Berg, 2012).

Tabla 4. Valores máximos, mínimos y oscilación del contenido promedio mensual de agua del suelo (m³/m³) en los tres Sitios de estudio a tres profundidades (10, 20 y 30 cm), en dos temporadas: “Recarga” y “Pérdida”.

Sitio	Profundidad (cm)	**“Recarga”** (abril-agosto 2013)			**“Pérdida”** (septiembre 2013-marzo 2014)		
		Máx. (m³/m³)	Mín. (m³/m³)	Oscilación (m³/m³)	Máx. (m³/m³)	Mín. (m³/m³)	Oscilación (m³/m³)
1 (Bosque de belloto del Norte)	10	0,15	0,10	**0,05**	0,14	0,10	**0,04**
	20	0,18	0,10	**0,08**	0,14	0,11	**0,03**
	30	0,20	0,11	**0,09**	0,16	0,11	**0,05**
2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)	10	0,22	0,08	**0,14**	0,16	0,08	**0,08**
	20	0,15	0,08	**0,07**	0,11	0,07	**0,04**
	30	0,14	0,07	**0,07**	0,11	0,08	**0,03**
3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)	10	0,21	0,08	**0,13**	0,16	0,08	**0,08**
	20	0,21	0,09	**0,12**	0,17	0,10	**0,07**
	30	0,22	0,10	**0,12**	0,18	0,11	**0,07**

4.2 Caracterización de la dinámica térmica del suelo bajo bosques de belloto del Norte y en sus ecotonos

4.2.1 Temporada de “Recarga”

En el Anexo 4a se observa que en los tres Sitios de estudio la temperatura promedio mensual del suelo no presentó diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la profundidad y la interacción Mes x profundidad no tuvo un efecto significativo. Sin embargo, esta variable presentó diferencias significativas de acuerdo al Mes ($p < 0,001$) en los tres Sitios, exhibiendo los valores más altos en abril y los más bajos en junio, julio y agosto (Figuras 5b, 5d y 5f).

La temperatura atmosférica está relacionada con el calor que es proporcionado a través de la radiación solar de onda corta (Denecke y Carr, 2007; Donoso, 2008). En este sentido, durante períodos de invierno (junio, julio y agosto), donde existe una menor incidencia de este tipo de radiación, la temperatura atmosférica disminuye (Denecke y Carr, 2007) (Figura 5a), ocasionando que la superficie del suelo sea más fría en relación al subsuelo, lo cual da lugar a un gradiente térmico que permite la transferencia de calor en forma vertical desde el interior del suelo hacia la superficie (Horton y Tyson, 2012; Pramanik y Aggarwal, 2013). Esto ocurre debido a que el calor se mueve verticalmente desde zonas de mayor energía cinética (mayor temperatura) hasta otras de menor energía cinética (menor temperatura) (Horton y Tyson, 2012).

Asimismo, el hecho de que durante junio, julio y agosto se hayan registrado los valores de temperatura promedio mensual más bajos en la temporada de “Recarga” en los tres Sitios puede asociarse a que en dichos meses se presentaron los valores más altos de contenido promedio mensual de agua del suelo (Figuras 4b, 4d y 4f), pues, según Donoso (2008) y Osman (2013), cuando las partículas de suelo están mojadas es más difícil que su temperatura se eleve, debido a que el agua tiene un alto calor específico (calor necesario para elevar en un grado centígrado la temperatura de un gramo de una substancia), el cual es cinco veces mayor al que presentan las partículas de suelo.

Adicionalmente, en la Figura 5f se observa que únicamente en los meses de mayo y junio, los valores de temperatura promedio mensual del suelo registrados en el Sitio 3 a 20 y 30 cm fueron significativamente mayores a los presentados a 10 cm. Esto se atribuye a que, debido a la escasa cobertura arbórea (52%) y la falta de hojarasca (espesor promedio de

0 cm), los primeros centímetros de suelo en el Sitio 3 estuvieron más propensos a la disminución en las temperaturas atmosféricas que hubo en mayo y junio (Figura 5a), en relación a las capas de suelo subyacentes (20 y 30 cm), pues, según Hadas (2008) y Donoso (2008), la vegetación y la hojarasca poseen un efecto aislante que evita las pérdidas de calor por reirradiación desde el suelo durante los meses de invierno.

4.2.2 Temporada de "Pérdida"

Durante esta temporada en ninguno de los tres Sitios la temperatura promedio mensual del suelo presentó diferencias estadísticas significativas con respecto a la profundidad y la interacción Mes x profundidad no tuvo significancia estadística sobre dicha variable (Anexo 4b). Sin embargo, en los tres Sitios la temperatura promedio mensual del suelo presentó diferencias significativas de acuerdo al Mes ($p < 0{,}001$), registrando los valores más altos en enero y febrero, mientras que el valor más bajo se presentó en septiembre (Figuras 5c, 5e y 5g), coincidiendo con el comportamiento de la temperatura atmosférica promedio mensual (Figura 5a).

Estos resultados demuestran que los cambios que se producen en la interfase suelo-atmósfera afectan la temperatura del suelo, como señalan Syltie (2002) y Hillel (2003). En este sentido, a medida que se presentan los efectos del verano, caracterizados por una mayor radiación de onda corta proveniente del sol, las temperaturas del aire circundante a la superficie aumentan (Donoso, 2008). Esto ocasiona que la temperatura en los primeros centímetros del suelo sea mayor a la que se registra en capas subyacentes, creando un gradiente térmico que permite que el flujo de calor se dirija verticalmente desde las capas más cercanas a la superficie hacia capas situadas a mayor profundidad (Horton y Tyson, 2012; Pramanik y Aggarwal, 2013).

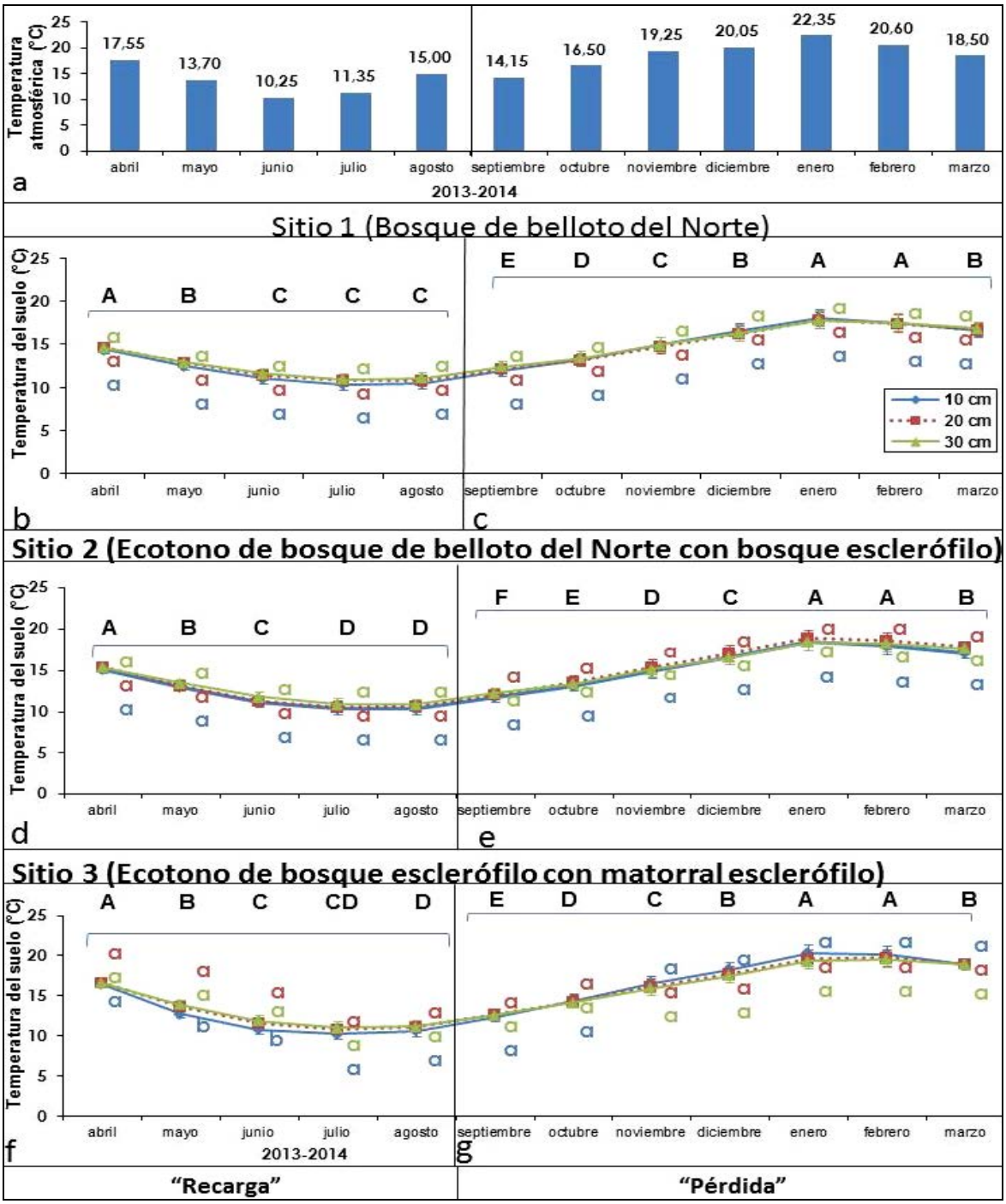

Figura 5. Temperatura atmosférica promedio mensual en la Estación meteorológica Isla de Maipo entre abril 2013 y marzo 2014 (**a**) (Sistema Agroclimático FDF-INIA-DMC, 2014). Temperatura promedio mensual del suelo en función de la profundidad en los tres Sitios en las temporadas de "Recarga" (**b, d** y **f**) y "Pérdida" (**c, e** y **g**). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas en función de la profundidad en cada mes. Letras mayúsculas distintas dan cuenta de las diferencias estadísticas entre meses. Las barras indican +/- una desviación estándar (n = 3).

4.2.3 Oscilación de la temperatura promedio mensual del suelo en los Sitios de estudio

En la Tabla 5 se observa que, tanto en la temporada de “Recarga” como en la temporada de “Perdida”, el Sitio 3 presentó la mayor amplitud en la oscilación de la temperatura promedio mensual del suelo a las tres profundidades analizadas.

Dichos resultados se atribuyen a que los lugares con menos cobertura arbórea (Sitio 3), están más propensos a las condiciones atmosféricas, presentando mayores oscilaciones en relación a zonas con más cobertura arbórea (Sitios 1 y 2) (Osman, 2013). Esto se debe a que el dosel afecta el intercambio de energía en la superficie, generando sombra y reduciendo la radiación solar directa (Miller, 1983). Asimismo, la vegetación arbórea emite radiación de onda larga hacia la superficie y recibe desde ella radiación solar reflejada y radiación de onda larga (Miller, 1983). En consecuencia, el dosel limita el aumento de la temperatura en verano (Breshears *et al*., 1998; Donoso, 2008), mientras que en invierno impide el enfriamiento, disminuyendo la pérdida de calor desde el suelo y, por consiguiente, el descenso de la temperatura (Stanton y Chilton, 1972; Donoso, 2008).

Adicionalmente, el que la menor amplitud en la oscilación de la temperatura promedio del suelo a las tres profundidades se haya registrado en los Sitios 1 y 2 puede atribuirse a que estos presentaron los valores más bajos de densidad aparente a 10, 20 y 30 cm, en relación al Sitio 3 (Anexo 5). Esto puede asociarse a que las zonas con un mayor porcentaje de cobertura arbórea y hojarasca (Sitios 1 y 2) generalmente tienen una mayor acumulación de materia orgánica (Wood, 1988), la cual tiene menor conductividad térmica en comparación a las partículas minerales del suelo, debido a que posee mayor porosidad y, por ende, menor área de contacto entre partículas (Osman, 2013).

Es importante resaltar el rol de la hojarasca, la cual tuvo un mayor espesor promedio en el Sitio 1 (12 cm), seguido por el Sitio 2 (5 cm) y el Sitio 3 (0 cm). Este factor pudo haber ayudado a aminorar las oscilaciones térmicas del suelo en los Sitios 1 y 2, pues según Ponte (2004) y Stanton y Chilton (1972), las variaciones de temperatura del suelo no son muy severas cuando existen capas gruesas de hojarasca, debido a que esta posee una baja conductividad térmica.

Adicionalmente, se observa que en ambas temporadas la oscilación de la temperatura promedio mensual del suelo disminuyó con la profundidad en los tres Sitios (Tabla 5). Esto se atribuye a que el flujo de calor se conduce lentamente a través del suelo y en la superficie la temperatura fluctúa con mayor facilidad en comparación con el subsuelo, porque está más propensa a los cambios atmosféricos (Osman, 2013).

Por otro lado, en la Tabla 5 se aprecia que las oscilaciones en la temporada de "Recarga" tuvieron una mayor amplitud, en comparación a las registradas en la temporada de "Pérdida" en los tres Sitios y a las tres profundidades estudiadas. Esto se debe a que en la temporada de "Recarga" se registraron valores más altos de contenido promedio mensual de agua del suelo (Figuras 4b, 4d y 4f), pues, según Schaetzl y Thompson (2015), el agua posee un alto calor específico que le permite absorber o perder grandes cantidades de energía con cambios mínimos en su temperatura, por lo cual los suelos húmedos se calientan y enfrían con menos rapidez que los suelos secos.

Tabla 5. Valores máximos, mínimos y oscilación de la temperatura promedio mensual del suelo en los tres Sitios de estudio a tres profundidades (10, 20 y 30 cm), en dos temporadas: "Recarga" y "Pérdida".

Sitio	Profundidad	**"Recarga"** (abril-agosto 2013)			**"Pérdida"** (septiembre 2013-marzo 2014)		
		Máx. (°C)	Mín. (°C)	Oscilación (°C)	Máx. (°C)	Mín. (°C)	Oscilación (°C)
1 (Bosque de belloto del Norte)	10	14,38	10,36	**4,02**	18,07	11,88	**7,58**
	20	14,59	10,79	**3,80**	17,79	12,13	**7,00**
	30	14,61	10,97	**3,64**	17,82	12,43	**6,76**
2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)	10	15,12	10,32	**4,80**	18,40	11,77	**6,67**
	20	15,37	10,56	**4,81**	18,93	12,14	**6,79**
	30	15,36	10,84	**4,52**	18,43	12,23	**6,20**
3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)	10	16,44	10,18	**6,26**	20,31	12,32	**7,99**
	20	16,64	10,82	**5,82**	19,72	12,63	**7,09**
	30	16,60	11,01	**5,59**	19,53	12,60	**6,93**

4.3 Relación de los gradientes de humedad y temperatura del suelo con la proporción de semillas germinadas

4.3.1 Relación de la proporción de semillas germinadas con el contenido promedio de agua del suelo en el período de germinación

En la Figura 6 se observa que no hubo una correlación positiva estadísticamente significativa entre el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en el período de germinación y la proporción media de semillas germinadas en cada Sitio.

A pesar de que se esperaría una relación positiva entre ambas variables, debido a que las semillas de belloto del Norte son recalcitrantes y poseen altos requerimientos hídricos para germinar (Bustamante y Simonetti, 2000; Becerra *et al*., 2004), estos resultados indican que, en este caso, un mayor contenido de agua en el suelo no representó necesariamente un aumento en la proporción media de semillas germinadas en los tres Sitios de estudio, lo cual permite inferir que hay otras variables que influyen en dicha relación. Este podría ser el caso de la hojarasca, la cual ha demostrado favorecer la germinación de belloto del Norte en situaciones de déficit hídrico (Becerra *et al*., 2004), facilitando la retención de humedad (Eckstein y Donath, 2005; Sotes *et al*., 2013) y, por consiguiente, la imbibición de las semillas (Facelli *et al*., 1999). Por lo anterior, en la Figura 6 se observa que, independientemente del contenido de agua del suelo, los Sitios 1 y 2, cuya capa de hojarasca tuvo un espesor promedio de 12 y 5 cm, respectivamente, presentaron una mayor proporción de semillas germinadas, en relación al Sitio 3, donde la capa de hojarasca registró un espesor promedio de 0 cm.

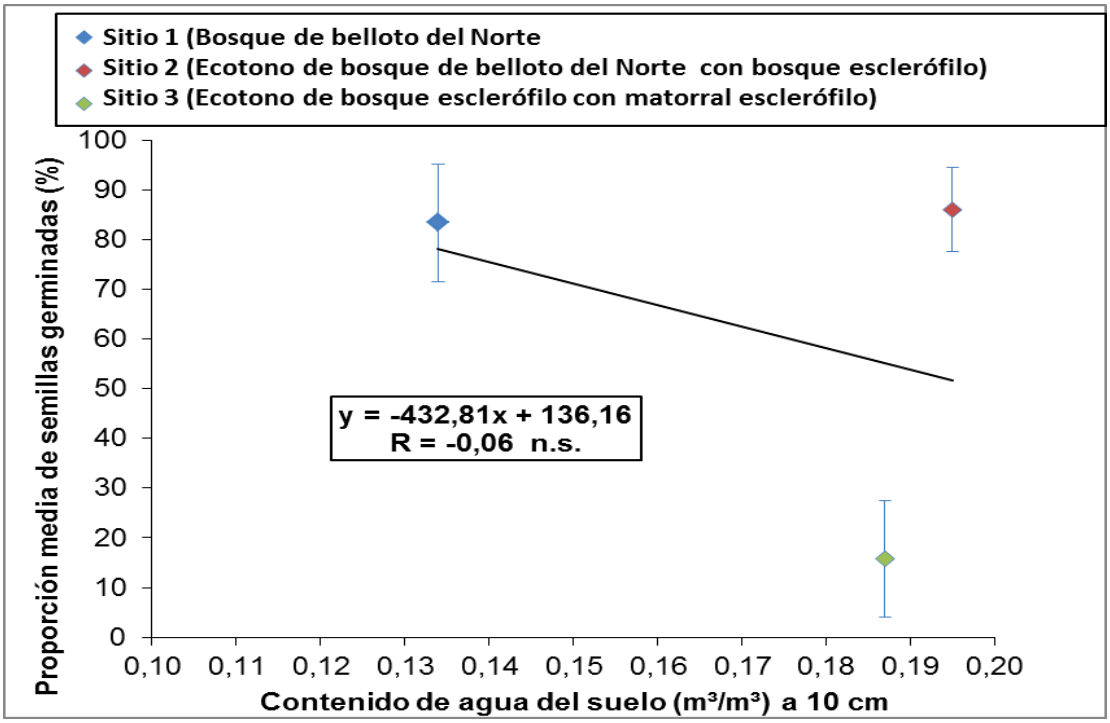

Figura 6. Correlación entre el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en el período de germinación (mayo-agosto 2013) y la proporción media de semillas germinadas en cada Sitio. Las barras indican +/- una desviación estándar (n=4).

4.3.2 Relación de la proporción de semillas germinadas con los días-grado acumulados en el período de germinación

En la Figura 7 se observa que hubo una correlación positiva estadísticamente significativa entre la proporción de semillas germinadas en cada Sitio y los días-grado acumulados a 10 cm en este período.

Considerando que el rango óptimo de germinación para belloto del Norte es de 10-15 °C (Cabello y Anselmo, 1999), cabe señalar que durante el período de germinación no se registraron temperaturas diarias máximas que superen el límite superior de este rango (>15 °C). Sin embargo, si hubo temperaturas mínimas subóptimas (<10 °C), las cuales en ningún caso fueron menores a la temperatura base para la germinación de esta especie (5 °C), propuesta por Cabello y Anselmo (1999). Por lo anterior, se infiere que una mayor cantidad de días-grado habría permitido alcanzar el rango óptimo de germinación con más facilidad, pues a pesar de que el belloto del Norte requiere temperaturas bajas para

romper la latencia fisiológica[5] de las semillas (Cabello y Anselmo, 1999; Figueroa y Jaksic, 2004), un aumento de temperatura hacia el rango óptimo puede estimular la germinación (Fenner y Thompson, 2005), facilitando la producción de enzimas para la elongación del embrión y el aparecimiento de la radícula por sobre la cubierta seminal (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

Asimismo, estos resultados indican que el rango óptimo de germinación determinado por Cabello y Anselmo (1999) en condiciones de laboratorio concuerda con el rango óptimo de germinación de esta especie en estado natural, lo cual confirma lo sostenido por Vázquez-Yanes (1976), quien asevera que el rango óptimo de germinación corresponde a un mecanismo de adaptación de las especies a su hábitat.

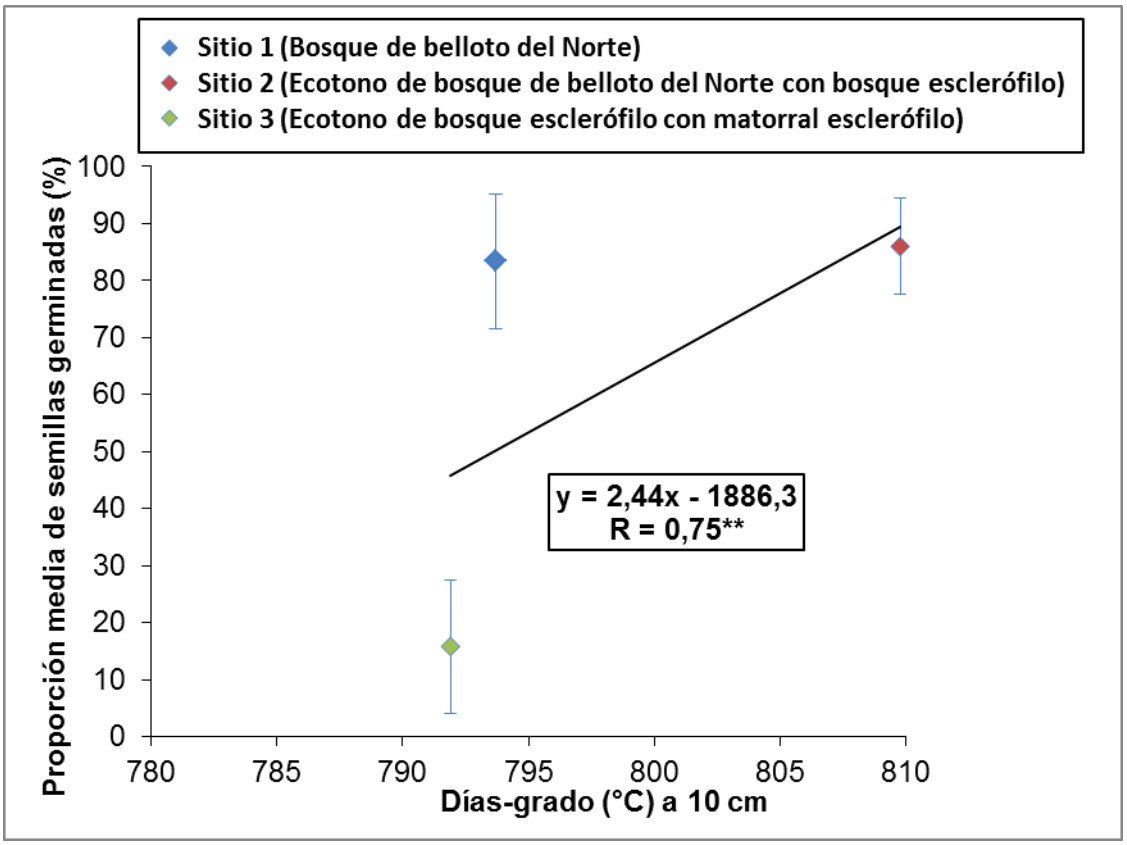

Figura 7. Correlación entre los días-grado acumulados a 10 cm en el período de germinación (mayo-agosto 2013) y la proporción media de semillas germinadas en cada Sitio. Las barras indican +/- una desviación estándar (n=4).

[5] La latencia endógena de tipo fisiológico se da cuando las semillas, a pesar de estar maduras anatómicamente, no pueden germinar hasta que ocurran complejos cambios fisiológicos en el embrión, los cotiledones o el endosperma. La latencia se asocia con la incapacidad del embrión para movilizar y utilizar las reservas del endosperma y los cotiledones (Arnáez y Moreira, 1996).

4.4 Relación de los gradientes de temperatura y contenido de agua del suelo con el desarrollo inicial de la regeneración

4.4.1 Relación entre el contenido promedio de agua del suelo en la temporada de "Pérdida" y la proporción media de plántulas sobrevivientes

En la Figura 8 se observa que existió una correlación positiva estadísticamente significativa entre el contenido promedio de agua del suelo registrado a 10 cm durante la temporada de "Pérdida" y la proporción media de plántulas sobrevivientes.

Esto se explica por el hecho de que el belloto del Norte es una especie altamente sensible a la escasez hídrica (Novoa, 2004), de manera que las plántulas de especies con esta característica tienen mayores posibilidades de resistir los efectos de la sequía en lugares con mayor cobertura arbórea (Sitio 1), en comparación a zonas con mayor cantidad de claros (Sitios 2 y 3) (Monnier *et al*., 2013; von Arx *et al.,* 2013), pues el dosel (Marañón *et al*., 2004; Donoso, 2008) y la hojarasca (Sayer, 2006) evitan la difusión de vapor y permiten una mayor retención de humedad en el suelo (Facelli y Pickett, 1991).

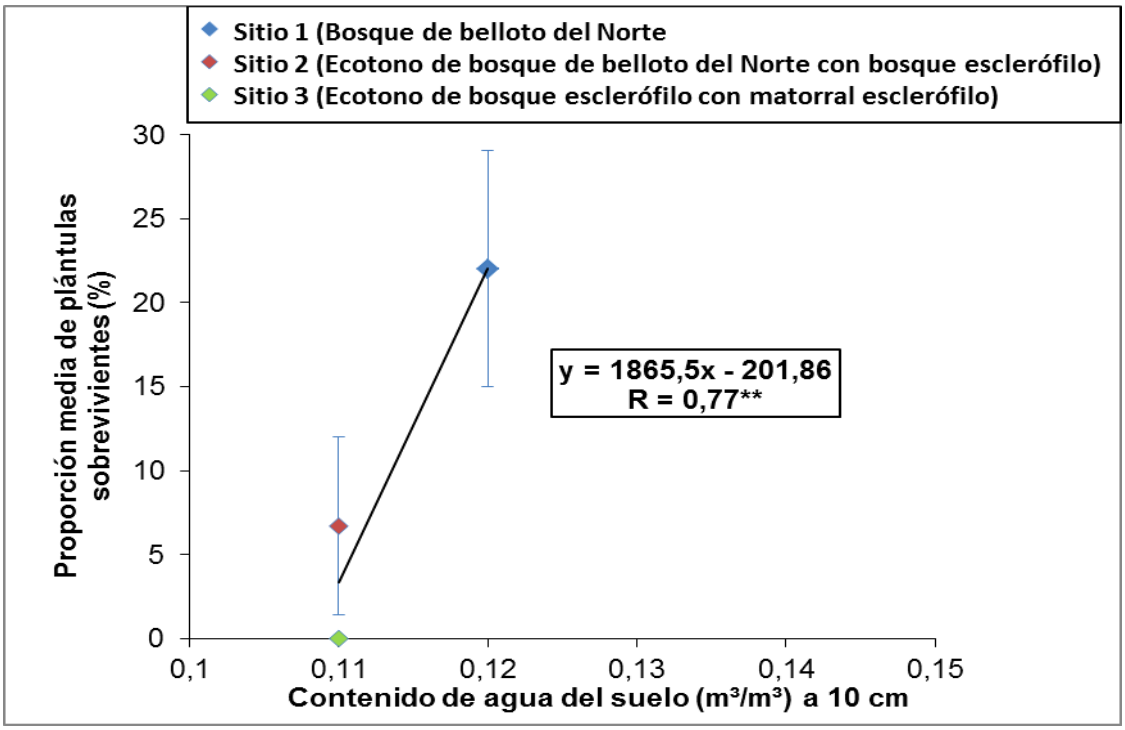

Figura 8. Correlación entre el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en la temporada de "Pérdida" y la proporción media de plántulas sobrevivientes en cada Sitio**.** Las barras indican +/- una desviación estándar (n=4).

4.4.2 Relación entre la temperatura promedio del suelo en la temporada de “Pérdida” y la proporción media de plántulas sobrevivientes

En la Figura 9 se observa que existió una correlación negativa estadísticamente significativa entre los valores promedio de temperatura del suelo a 10 cm en la temporada de “Pérdida” y la proporción media de plántulas sobrevivientes.

El que la proporción media de plántulas sobrevivientes haya aumentado en lugares con menos temperatura del suelo puede atribuirse al efecto de la vegetación sobre el microclima. En este sentido, cabe mencionar que el Sitio 1 presentó un mayor porcentaje de cobertura arbórea en comparación a los Sitios 2 y 3 (Tabla 2), lo que pudo haber limitado el ingreso de radiación solar, disminuyendo el déficit de presión de vapor, la temperatura del aire, la temperatura del suelo y, por consiguiente, la pérdida de agua por evaporación y transpiración (Gómez-Aparicio *et al.,* 2004; Donoso, 2008), favoreciendo la supervivencia de las plántulas de esta especie. Adicionalmente, cabe señalar que en el Sitio 1 hubo más árboles adultos de belloto del Norte (Tabla 2), así como una mayor proporción de plántulas de regeneración (Figura 9), lo cual podría ser un indicio de algún tipo de facilitación o lo que Sotes *et al*. (2013) denominan “efecto nodriza”.

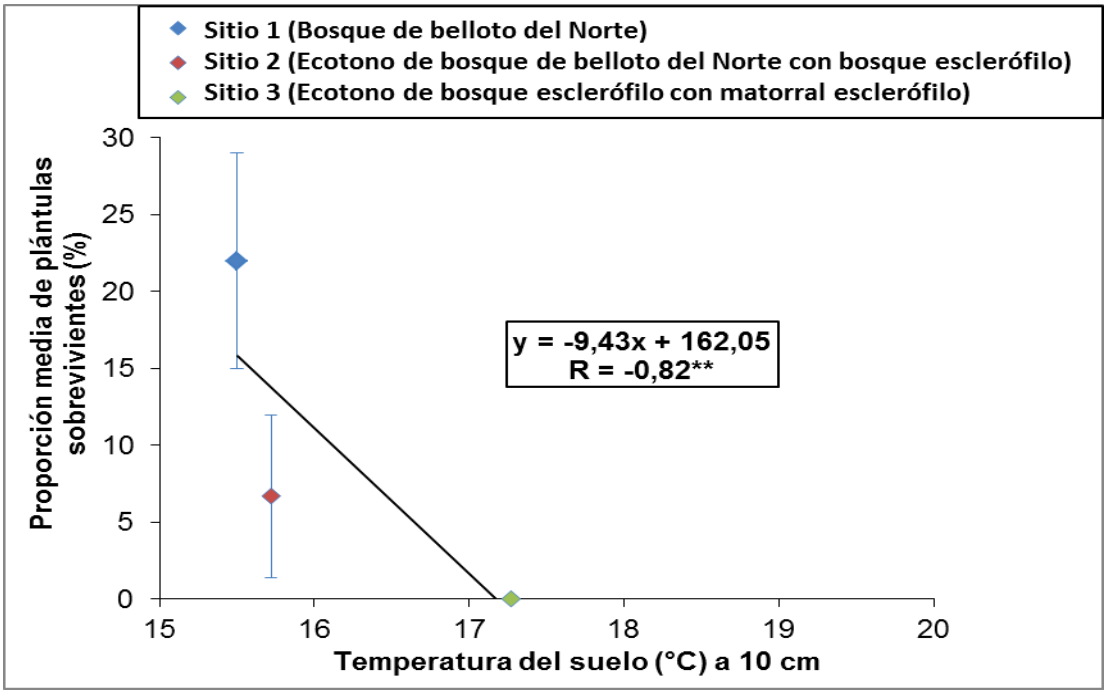

Figura 9. Correlación entre la temperatura promedio del suelo a 10 cm en la temporada de “Pérdida” (septiembre 2013-marzo 2014) y la proporción media de plántulas sobrevivientes en cada Sitio**.** Las barras indican +/- una desviación estándar (n=4).

4.5 Medidas para favorecer la germinación y el desarrollo inicial de la regeneración de belloto del Norte para fines de conservación

Con base en los resultados expuestos anteriormente se recomiendan las siguientes prácticas para favorecer la germinación y el desarrollo inicial de la regeneración de belloto del Norte en la zona de estudio:

- La mayor proporción media de semillas germinadas se registró en presencia de hojarasca, específicamente en los Sitios 1 y 2, con un espesor promedio de 12 y 5 cm, respectivamente. Por tal motivo, se sugiere mantener una capa de hojarasca con un espesor promedio de al menos 5 cm y controlar el aprovechamiento de este recurso en zonas de regeneración de esta especie, pues en el sector de Altos de Cantillana y en toda la Región Metropolitana la extracción de tierra de hoja es una actividad que se realiza hasta el momento sin ninguna restricción de tipo legal (CONAMA, 2007; Ramírez *et al*., 2007; SINIA, 2014).

- Para la germinación de semillas de belloto del Norte, considerando una capa de hojarasca con un espesor de al menos 5 cm, se recomienda mantener a 10 cm de profundidad valores de contenido promedio mensual de agua del suelo mayores a 0,14 m^3/m^3, así como valores de temperatura promedio diaria del suelo entre 10 y 15°C.

- Tomando en cuenta que la mayor proporción media de plántulas sobrevivientes se registró en el Sitio 1, se recomienda mantener a 10 cm de profundidad una temperatura promedio mensual de 12 a 18°C, así como un contenido promedio mensual de agua del suelo no menor a 0,10 m^3/m^3.

- Asimismo, se hace fundamental preservar el mayor porcentaje posible de cobertura arbórea sobre zonas de regeneración, pues los árboles adultos de belloto del Norte, a más de constituir una fuente de semillas, facilitan la supervivencia de plántulas (“efecto nodriza”), proveyendo hojarasca, sombra y resguardándolas de la desecación, especialmente en épocas de déficit hídrico.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación demostró que, tanto en la temporada de “Recarga” (abril-agosto 2013) como en la de “Pérdida” (septiembre 2013-marzo 2014), el contenido promedio mensual de agua del suelo en cada uno de los tres Sitios varió de acuerdo al Mes, la profundidad, o bien, debido a la interacción entre ambos factores. Estas variaciones pudieron estar influenciadas principalmente por la distribución temporal de las precipitaciones, el porcentaje de cobertura arbórea, el espesor promedio de la hojarasca y las características físicas del suelo (densidad aparente y textura). En tal sentido, es posible que los Sitios con menos hojarasca y cobertura arbórea (Sitios 2 y 3) hayan tenido más aportación de agua por parte de las precipitaciones y mayores pérdidas por evaporación, registrando una mayor amplitud en la oscilación del contenido promedio mensual del agua del suelo a 10 cm en ambas temporadas, en relación al Sitio 1. En tanto que a 20 y 30 cm de profundidad, el Sitio 3 presentó la mayor amplitud de la oscilación de esta variable, en comparación a los Sitios 1 y 2.

Tanto en la temporada de “Recarga” como en la de “Pérdida” la temperatura promedio mensual del suelo presentó diferencias estadísticas significativas de acuerdo al Mes en los tres Sitios, lo cual se puede atribuir a los cambios temporales en las temperaturas atmosféricas. Por otro lado, a medida que aumentó el porcentaje de cobertura arbórea y el espesor de la capa de hojarasca, la amplitud de la oscilación de la temperatura promedio mensual del suelo disminuyó a las tres profundidades en el siguiente orden: Sitio 3>Sitio 2>Sitio 1, demostrando que las zonas con más cobertura arbórea y hojarasca estuvieron menos propensas a los cambios atmosféricos.

Según estos resultados, la proporción media de semillas germinadas de esta especie no tuvo una relación estadísticamente significativa con el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm en el período de germinación, lo que podría atribuirse a que hay otras variables que influencian dicha relación, tal es el caso de la hojarasca, la cual, según Becerra *et al*. (2004) y Kremer (2015), protege a la semilla de la desecación. Por otro lado, hubo una relación positiva estadísticamente significativa entre la proporción media de semillas germinadas y los días-grado a 10 cm, pues considerando que durante el período de germinación las temperaturas promedio diarias del suelo a esta profundidad estuvieron entre el límite mínimo (5° C) y el rango óptimo (10-15 °C) recomendado por

Cabello y Anselmo (1999) para esta especie, es posible que una mayor cantidad de días-grado haya permitido alcanzar el rango óptimo con más facilidad, aumentando así la tasa de germinación.

La proporción de plántulas sobrevivientes de esta especie presentó una relación positiva estadísticamente significativa con el contenido promedio de agua del suelo a 10 cm y una relación negativa estadísticamente significativa con la temperatura promedio del suelo a 10 cm en la temporada de “Pérdida”. Esto se atribuye a que, según Novoa (2004), se trata de una especie sensible a la desecación. En este sentido, el desarrollo inicial de la regeneración fue favorecido en zonas con un mayor porcentaje de cobertura arbórea y mayor cantidad de hojarasca, como el Sitio 1, donde la vegetación, al parecer, ejerció un efecto nodriza sobre las plántulas, brindándoles sombra y resguardándolas de la deshidratación que ocasiona el aumento de la temperatura ambiental en períodos de sequía meteorológica.

Cabe señalar que los valores de temperatura y contenido de agua del suelo recomendados en este estudio no pueden ser necesariamente extrapolados a toda situación, ya que un rango más amplio de decisión ameritaría realizar estudios en otras localidades de distribución de belloto del Norte, considerando un período más prolongado de mediciones.

Asimismo, vale mencionar que las acciones para la conservación de esta especie no solo deberían tomar en cuenta los aspectos mencionados en este estudio, sino muchos otros, como por ejemplo el control de la pérdida y fragmentación del hábitat, pues, según Wen y Cai (2014), las plantas de semillas recalcitrantes son altamente dependientes de la continuidad de los bosques para su germinación y establecimiento. Asimismo, Guerrero y Bustamante (2009) sostienen que en la zona mediterránea de Chile central las plantas intolerantes a la sequía son más propensas a disminuir su regeneración en bosques fragmentados. Adicionalmente, se recomienda realizar estudios que involucren otras variables como la depredación de semillas y plántulas de belloto del Norte, pues, de acuerdo a Fenner y Thompson (2005), son aspectos que pueden influir de manera determinante en la regeneración de las especies arbóreas.

6. BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE-SALADO, C. A., VALDEZ-LAZALDE, J. R., ÁNGELES-PÉREZ, G., DE LOS SANTOS-POSADAS, H. M., y AGUIRRE-SALADO, A. I. 2011. Mapeo del índice de área foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos SPOT 5 HRG: regresión y k-nn. Agrociencia 45(1): 105-119.

AMIGO, J. y FLORES-TORO, L. 2012. Syntaxonomical revision of the sclerophyllous woodlands in Central Chile: the Cryptocaryon albae alliance. Lazaroa 33: 171-196.

ARNÁEZ, E y MOREIRA, I. 1996. La Semilla: elemento primordial en la Conservación. En: CURSO REGIONAL de Recolección y Procesamiento de Semillas Forestales: mayo 27 a junio 7 de 1996. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. pp. 8-14.

ARROYO, M. T. K. y CAVIERES, L. 1997. The Mediterranean-type climate flora of central Chile-What do we know and how can we assure its protection. Noticiero de Biología 5: 48-56.

von ARX, G., GRAF PANNATIER, E., THIMONIER, A. y REBETEZ, M. 2013. Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate. Journal of Ecology 101 (5): 1201–1213.

ASBJORNSEN, H., ASHTON, P. M. S., VOGT, D. y PALACIOS, S. 2004. Effects of habitat fragmentation on the buffering capacity of edge environments in a seasonally-dry tropical oak forest ecosystem in Oaxaca, Mexico. Agriculture Ecosystems & Environment 103(3):481–95.

BAI, Y., SCOTT, T. y Q. MIN. 2014. Climate change implications of soil temperature in the Mojave Desert, USA. Frontiers of Earth Science 8(2): 302-308.

BARIK, S., TRIPATRI, S., PANDEY, H. y RAO, P. 1996. Tree Regeneration in a Subtropical Humid Forest: Effect of Cultural Disturbance on Seed Production, Dispersal and Germination. Journal of Applied Ecology 33 (6): 1551-1560.

BECERRA, P., J. CELIZ-DEZ y R. O. BUSTAMANTE. 2004. Effects of leaf litter and precipitation on germination and seedling survival of the endangered tree *Beilschmiedia miersii*. Applied Vegetation Science 7: 253-257.

BERG, M. P. 2012. Patterns of biodiversity at fine and small spatial scales. En: WALL, D. H. (Ed.) Soil Ecology and Ecosystem Services. Oxford University Press, Oxford. pp. 136-149.

BEWLEY, J. D. BLACK, M. y HALMER, P. 2006. The Encyclopedia of Seeds, Science Technology & Uses. CABI international, Londres. 844 p.

BINKLEY, D. y FISHER, R. 2013. Ecology and management of forest soils. 4ª ed. Wiley, Sussex, Reino Unido. 347 p.

BOLLE, H. J. 2003. Climate, climate variability, and impacts in the Mediterranean area: an overview. En: BOLLE, H. J. (ed.) Mediterranean Climate. Springer-Verlag, Berlín. pp. 5-86.

BORJA, M. E. L. 2014. Climate Change and Forest Natural Regeneration in Mediterranean Mountain Areas. Forest Research 3: e108.

BRESHEARS, D., J. NYHAN, C. HEIL y B. WILCOX. 1998. Effects of Woody Plants on Microclimate in a Semiarid Woodland: Soil Temperature and Evaporation in Canopy and Intercanopy Patches. International Journal of Plant Sciences 159 (6):1010-1017.

BRESHEARS, D. y BARNES, F. 1999. Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within the grassland/forest continuum: a unified conceptual model. Landscape Ecology 14(5): 465-478.

BRITO, E. y FLORES-TORO, L. 2014. Estructura y dinámica de los bosques de belloto el Norte (*Beilschmiedia miersii*) de la Cordillera El Melón, Comuna de Nogales, Región de Valparaíso, Chile. Bosque (Valdivia) 35(1): 13-21.

BUSTAMANTE, R. y J. SIMONETTI. 2000. Seed predation and seedling recruitment in plants: the effect of the distance between parents. Plant Ecology 147: 173-183.

CABELLO, A., 2007. *Beilschmiedia miersii*. En: DONOSO, C. (Ed.). Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia. pp. 180-185.

CABELLO, A. y ANSELMO, M. 1999. Algunos factores que inciden en la germinación y producción de plantas de *Beilschmiedia miersii* (Belloto del Norte). Centro de Estudios de Semillas de Árboles Forestales (Chile) N° 9. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. [en línea] <http://uchile.cl/facultades/cs_forestales/cesaf> [consulta: 30 mayo 2013]

CASTILLO, J. C. y MORENO, G. 2002. Semillas forestales del bosque nativo chileno. Editorial Universitaria, Santiago Chile. 241 p.

CENTRO EULA-CHILE, 2004. Establecimiento de un Ordenamiento Territorial orientado a la protección y uso sustentable del área de Cordón de Cantillana. Concepción, Chile, Universidad de Concepción. [En línea] <http://www.sinia.cl/1292/articles-37027_eula.pdf> [consulta: 10 julio 2013]

CHATURVEDI, O. P., KAUSHAL, R., TOMAR, J. M. S., PRANDIYAL, A. K. y PANWAR, P. 2014. Agroforestry for Wasteland Rehabilitation: Mined, Ravine, and Degraded Watershed Areas. In Agroforestry Systems in India: Livelihood Security & Ecosystem Services. En: DAGAR, J. C., SINGH, A. K., y ARUNACHALAM, A. (Eds.). Agroforestry Systems in India: Livelihood Security & Ecosystem Services. Springer, India. pp. 233-271.

COGGER, C. 2010. Soil Science. En: WASHINGTON STATE UNIVERSITY EXTENTION. Master Gardener Manual. Washington State University, Pullman, WA. pp. 30-52.

COLLINS, B. S., DUNE, K. P. y PICKETT, S. T. A. 1985. Responses of forest herbs to canopy gaps. En: PICKETT, S. T. A. y WHITE, P. S. (Eds.). The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, Orlando, FL. pp. 217-234.

CONAMA (COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE). 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe Final Texto Realizado por Departamento de Geofísica Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Comisión

Nacional del Medio Ambiente. [en línea] <http://www.dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf.Accessed 24 February 2011>. [consulta: 15 julio 2013]

CONAMA (COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE). 2007. Profundización de la línea de base ambiental y ecológica del sector de mayor valor ecológico del Cordón de Cantillana. Comisión Nacional de Medio Ambiente. [En línea] <https://www.google.cl/interstitial?url=http://www.librorojo.cl/wpcontent/uploads/sitiospriorit arios/Linea_base_ambiental_y_ecologica_Cantillana.pdf> [consulta: 25 julio 2013]

COPERLAND L. y MCDONALD, M. 2001. Principles of seed science and technology. 4ª ed. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts. 467 p.

CRAWFORD, R. M. M. 2008. Plants at the margin. Ecological limits and climate change. Cambridge University Press, Cambridge. 478 p.

CUEVAS, G. R., GARCÌA, M. E., ANTONIO, V. G. J. y NÙÑEZ, L. N. M. 2008. Estructura poblacional y relaciones ambientales del árbol tropical *Nectandra rudis* (Lauraceae), una especie rara en el occidente de México. Revista de Biología Tropical 56(1): 247-256.

DALSGAARD, L. 2007. Above and below ground gaps: the effects of a small canopy opening on throughfall, soil moisture and tree transpiration in Suserup Skov, Denmark. Ecological Bulletins 52: 81-102.

DECAGON DEVICES 2013. [en línea] <http://www.decagon.com/products/sensors/soil-moisture-sensors/5te-soil-moisture-temperature-and-ec/> [consulta: 26 mayo 2013]. Decagon Devices, Inc. 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163 USA.

DELTA-T DEVICES. 1999. HemiView User Manual Versión 2.1. Delta-T Devices, Ltd. Cambridge, UK.

DENECKE, E. J. y CARR, W. H. 2007. Let's Review: Earth science-the physical setting. 3ª ed. Barron's Educational series, Hauppauge, NY. 775p.

DONOSO, C. 1981. Tipos Forestales de los bosques nativos de Chile. Investigación y desarrollo forestal. Santiago, Chile. CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL)-FAO (Food and Agriculture Organization, UN). 70 p. (Documento de trabajo N°38).

DONOSO, C. 2008. Ecología Forestal El bosque y su medio ambiente. 6ª ed. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 369 p.

ECKSTEIN R. L. y DONATH T. W. 2005. Interactions between litter and water availability affect seedling emergence in four familial pairs of floodplain species. Journal of Ecology 93: 807–816.

ENGELBRECHT, B. M., KURSAR, T. A., y TYREE, M. T. 2005. Drought effects on seedling survival in a tropical moist forest. Trees 19(3): 312-321.

FACELLI, J. M. y PICKETT, S. T. A. 1991. Plant litter: its effect on plant community structure. Botanical Review 57(1): 1-32.

FACELLI, J. M., WILLIAMS, R., FRICKER, S. y LADD, B. 1999. Establishment and growth of seedlings of *Eucalyptus obliqua*: interactive effects of litter, water and pathogens. Australian Journal of Ecology 24: 484–494.

FENNER, M., y THOMPSON, K. 2005. The ecology of seeds. Cambridge University Press, Cambridge. 250 p.

FIELD, A. 2009. Discovering statistics using SPSS. Sage publications, Londres. 857 p.

FIGUEROA, P. 1999. Germinación de semillas de *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser y *Persea lingue* Ness bajo distintas condiciones de temperatura. Tesis de Ingeniero Forestal. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. 45 p.

FIGUEROA, J. A. y JAKSIC, F. M. 2004. Latencia y banco de semillas en plantas de la región mediterránea de Chile central. Revista chilena de historia natural 77(1): 201-215.

FINCH-SAVAGE, W.E. y LEUBNER-METZGER, G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. New Phytologist, 171: 501-523.

FISICHELLI, N., FRELICH, L., y REICH, P. 2014. Temperate tree expansion into adjacent boreal forest patches facilitated by warmer temperatures. Ecography 37(2): 152-161.

FORTE LAY, J., SCARPATI, O. y CAPRIOLO, A. 2008. Precipitation variability and soil water content in Pampean Flatlands (Argentina). Geofísica Internacional 47: 341-354.

FUENZALIDA, H. 1971. Climatología de Chile, Depto. de Geofísica y Geodesia, publicación interna. Santiago, Chile.

GAJARDO, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 165 p.

GAJARDO, R. y SERRA, M. T. 1987. Fichas técnicas de lugares específicos con presencia de especies leñosas amenazadas de extinción, V Región. Programa de Protección y recuperación de la Flora Nativa de Chile. Santiago, Universidad de Chile, Corporación Nacional Forestal. 110 p.

GARREAUD, R. 1994. Configuraciones atmosféricas regionales durante grandes tormentas pluviales en Chile central. Meteorológica 19:73-81.

GEIGER, R., ARON, R. y TODHUNTER, P. 1995. The Climate Near The Ground. Harvard University Press, Cambridge, MA. 528 p.

GÓMEZ-APARICIO, L., ZAMORA, R., GÓMEZ, J. M., HÓDAR, J. A., CASTRO, J. y BARAZA, E. 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: A meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. Ecological Applications 14: 1128-1138.

GRAU, H. 2004. Landscape context and local-scale environment influence regeneration of pioneer tree species in treefall gaps. Biotropica 36(1): 52-59.

GUERRERO, P. C. y BUSTAMANTE, R. O. 2009. Abiotic alterations caused by forest fragmentation affect tree regeneration: a shade and drought tolerance gradient in the remnants of Coastal Maulino Forest. Revista Chilena De Historia Natural 82(3): 413-424.

GUZMAN-GRAJALES, S.M. y WALKER, L. R. 1991. Differential seedling response to litter after Hurricane Hugo in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Biotropica 23: 407–413.

HADAS, A. 2008. Thermal Regime. En: CHESWORTH, W. (Ed.). Encyclopedia of Soil Science. Springer, Dordrecht, Países Bajos. pp. 767-772.

HAIRSTON, A. B. y GRIGAL, D. F. 1994. Topographic variation in soil water and nitrogen for two forested landforms in Minnesota, U.S.A. Geoderma 64:125-138.

HENRÍQUEZ, C. y SIMONETTI, J. 2001. The effect of introduced herbivores upon an endangered tree (*Beilschmiedia miersii*, Lauraceae). Biological Conservation 98: 69-76.

HILLEL, D. 2003. Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Academic Press, Londres. 494 p.

HOLDEN, J. 2011. Physical geography: the basics. Routledge. Abingdon, Reino Unido. 167 p.

HORTON, R. y TYSON, O. 2012. Soil Thermal Regime. En: HUANG, P. M., LI, Y. y SUMMER, M. (Eds.). Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 9.1-9.18.

JAMES, S. E., PARTEL, M., WILSON, S. D., y PELTZER, D. A. 2003. Temporal heterogeneity of soil moisture in grassland and forest. Journal of Ecology 91(2): 234-239.

KEELEY, J. E., BOND, W., BRADSTOCK, R., PAUSAS, J. y RUNDEL, P. 2012. Fire in Mediterranean Ecosystems Ecology Evolution and Management. Cambridge University Press, Cambridge. 528 p.

KIKUZAWA, K. y KOYAMA, H. 1999. Scaling of soil water absorption by seeds: an experiment using seed analogues. Seed Science Research 9:171-178.

KÖPPEN, W. 1948. Climatología. Con un estudio de los climas de la tierra. Versión directa de HENDRICHS. México, Fondo de Cultura Económica.

KREMER, K. 2015. Efecto de la disponibilidad hídrica y profundidad de hojarasca sobre la germinación de semillas y supervivencia y crecimiento inicial de plantas de regeneración de *Beilschmiedia miersii* (Gay) Kostermans en la Quebrada del Árbol, Región Metropolitana. Tesis de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 52 p.

LAL, R. y SHUKLA, M. K. 2004. Principles of soil physics. CRC Press, Nueva York. 716 p.

LLORET, F., PEÑUELAS, J. y ESTIARTE, M. 2004. Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. Global Change Biology 10(2): 248-258.

LUZIO, W. 2010. Suelos de Chile. Maval Ediciones, Santiago de Chile. 364 p.

MAGNITSKIY, S. y PLAZA, G. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. Agronomía Colombiana 25(1): 96-103.

MARAÑÓN, T., CAMARERO, J.J., CASTRO, J., DÍAZ, M., ESPELTA, J.M., HAMPE, A. y ZAMORA, R. 2004. Heterogeneidad ambiental y nichos de regeneración. En: VALLADARES, F. (Ed.). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. pp. 69-101.

MARTIN, K. y SAUERBORN, J. 2013. Agroecology. Springer, Dordrecht. 112 p.

MARTÍNEZ, M. 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perennifolias. En: GÓMEZ, A. y DEL AMO, S. (Eds.). Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Editorial Alhambra Mexicana, Xalapa, Veracruz, México. pp. 191-240.

MEIXIA, L., H. ZHENCHUN, L. ZHEN y ZHONGBO, Y. 2013. Conditions for lateral downslope unsaturated flow and effects of slope angle on soil moisture movement, Journal of Hydrology 486: 321-333.

MILLER, P. C. y HAJEK, E. 1981. Resource availability and environmental characteristics of Mediterranean type ecosystems. En: MILLER, P.C. (Ed.). Resource Use by Chaparral and Matorral. Springer-Verlag, New York. pp. 17-41.

MILLER, P. C. 1983. Canopy Structure of Mediterranean-Type Shrubs in Relation to Heat and Moisture. En: KRUGER, F. J., MITCHEL, D. T. y JARVIS, J. U. M. (Eds.) Mediterranean-Type Ecosystems. Springer-Verlag, New York. pp. 121-133.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura de Chile). 1995. Decreto Supremo N°13/1995. Chile. Declara monumento natural las especies forestales queule, pitao, belloto del sur, belloto del norte y ruil. Santiago, Chile. Decreto N° 13. Declara monumento natural las especies forestales queule, pitao, belloto del sur, belloto del norte y ruil. [En línea]. 14 de marzo de 1995. Santiago, Chile: 03 de abril de 1995. Recuperado en: <http://www.conaf.cl/cms/editorweb/transparencia/potestades/Dto-13_queule-pitao-belloto-ruil.pdf>. Consultado el: 12 de mayo de 2014.

MINET J., JADOON K.Z., JONARD F., MAHMOUDZADE M.R., TRAN P.A. y LAMBOT S. 2012. Advanced Ground Penetrating Radar for Soil Moisture Retrieval. En: CHANG, N. y YANG, H. (Eds.). Multiscale Hydrologic Remote Sensing for Monitoring Global Changes. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 9-27.

MINISEGPRES (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, CL). 2008. Decreto Supremo Nº 50/2008. Chile. Aprueba y oficializa nómina para el segundo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Santiago, Chile.

MITTERMEIER, R., TURNER, W., LARSEN, F., BROOKS, T. y GASCON, C. 2011. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. En: ZACHOS, F. y J. HABEL (Eds.). Biodiversity hotspots. Springer-Verlag, Berlín. pp. 3-22.

MOLOFSKY, J. y AUGSPURGER, C. K. 1992. The effect of leaf litter on early seedling establishment in a tropical forest. Ecology 73(1): 68-77.

MONGUILLO, J. F. y ZIERDT-WARSHAW, L. 2000. Encyclopedia of environmental science. University Rochester Press, Rochester, Nueva York. 453 p.

MONNIER, Y., B. PREVOSTO, C. RIPERT, A. CORBANI y C. FERNANDEZ. 2013. Forest Microhabitats Differentially Influence Seedling Phenology of Two Co-existing Mediterranean Oak Species. Journal of Vegetation Science 23(2): 260-270.

MYERS, N., MITTERMEJER, R., MITTERMEIER, C., DA FONSECA, G. y KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403 (6772): 853-858.

NOVOA, P. 2004. Determinación del grado de amenaza del belloto del norte (*Beilschmiedia miersii* Kosterm., Lauraceae), mediante el uso de la metodología UICN 2001 (versión 3.1). [en línea] Chlorischilensis. Vol.7, Nº2 http://www.chlorischile.cl/bellotonovoa/bellotopaper.htm [consulta: 12 mayo 2013]

OSMAN, K. T. 2013. Forest Soils Properties and Management. Springer International Publishing. Suiza. 271 p.

PADILLA, R. 2007. Dinámica geomorfológica actual del paisaje de montaña, correspondiente al bloque sur-oeste de la Región Metropolitana. Tesis de Geógrafo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 151 p.

PAMMENTER, N.W. y BERJAK, P. 2000. Aspects of Recalcitrant seed Phisiology. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal 12 (Edición Especial):56-69.

PARADA, T. y LUSK, C. H. 2011. Patterns of tree seedling mortality in a temperate-mediterranean transition zone forest in Chile. Gayana. Botánica 68(2): 236-243.

PONTE, K. J. 2004. Retaining Soil Moisture in the American Southwest. Sunstone Press, Nuevo México. 112 p.

POTTS, D. L., SCOTT, R. L., BAYRAM, S., y CARBONARA, J. 2010. Woody plants modulate the temporal dynamics of soil moisture in a semi-arid mesquite savanna. Ecohydrology 3(1): 20-27.

PRAMANIK, P. y AGGARWAL, P. 2013. Comparison of thermal properties of three texturally different soils under two compaction levels. African Journal of Agricultural Research 8(28): 3679-3687.

PROBERT, R. J. 2000. The Role of Temperature in the Regulation of Seed Dormancy and Germination. En: FENNER, M. (Ed.). The Ecology of Regeneration in Plant Communities. 2ª ed. CABI Publishing, Wallingford. pp. 261-292.

QUINTANILLA, V., CADIÑANOS, J., LATASA, I. y LOZANO, P. 2012. Aproximación Biogeográfica a los Bosques de la Zona Mediterránea de Chile: Caracterización e Inventario. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles 60: 91-114.

QUIROZ, I., GARCÍA, E., CHUNG, P. y SOTO, H. 2009. Vivero Forestal Producción de Plantas Nativas a Raíz cubierta. Concepción. Centro Tecnológico de la Planta Forestal-INFOR Sede Bio-Bio. 128 p.

RAMÍREZ, C., SAN MARTÍN, C., SAN MARTÍN, J. y VILLASEÑOR, R. 2004. Comparación Fitosociológica de los bosques de Belloto (*Beilschmedia*, Lauraceae) en Chile Central. Bosque 25(1): 69-85.

RAMÍREZ, J., ESCOBAR, A., FARÍAS, R., GIRARDI, G., LOBOS, J., NÚÑEZ, M.A. *et al*. 2007. Sobre extracción y protección de tierra de hoja. (Documento Técnico N° 5570-12). Congreso de Chile. [en línea] <http://beta.congresoabierto.cl/proyectos/5570-12> [consulta: 23 de marzo 2014].

REY BENAYAS, J. M., BULLOCK, J. M. y NEWTON, A. C. 2008. Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. Frontiers in Ecology and the Environment 6(6): 329-336.

RIEDL, O. y ZACHAR, D. 1984. Forest Amelioration. Elsevier, Amsterdam. 623 p.

RODRÍGUEZ, R., RUIZ, E. y ELISSETCHE, J. 2005. Árboles en Chile. Editorial Universidad de Concepción, Chile. 183 p.

SABAJ, R. 2008. Identificación y Caracterización de Estructuras Potencialmente Activas en la Cordillera de la Costa entre los 33° y 33° 45´ s. Tesis de Geólogo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 92 p.

SAN MARTÍN, J., TRONCOSO, A., SAN MARTÍN., C. y DUARTE, A. 1990. Estudio florístico de los bosques pantanosos nativos de la Cordillera de la Costa entre los ríos Rapel y Mataquito en Chile central. Revista de geografía de Chile Terra Australis 33: 103-128.

SANTIBÁÑEZ, F. y URIBE, J. M. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Agroclimatología. Santiago, Chile. 66 p.

SAYER, E. J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. Biological reviews 81(1): 1-31.

SCHAETZL, R. J. y THOMPSON, S. 2015. Soils: Genesis and geomorphology. 2ª ed. Cambridge University Press, Nueva York. 821 p.

SCHMITHÜSEN, J. 1956. Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Bonner Geographische Abhandlungen. 17:1-89.

SERRA, M., GAJARDO, R. y CABELLO, A. 1986. *Beilschmiedia miersii* (Gay) Kosterm. 'Belloto' (Lauraceae). Ficha técnica de especies amenazadas. Programa de protección y recuperación de la flora nativa de Chile. Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile.

SEXTON, J., MCINTYRE, P., ANGERT, A., y RICE, K. 2009. Evolution and ecology of species range limits. Annual Review of Ecology Evolution and Systematics 40:415–36.

SINIA (SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL). 2014. Política Ambiental para la Región Metropolitana. Gobierno de Chile. [en línea] <http://www.sinia.cl/1292/w3-article-48354.html> [consulta: 26 Marzo 2014]

SISTEMA AGROCLIMÁTICO FDF-INIA-DMC (Fundación para el Desarrollo Frutícola-Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Dirección Meteorológica de Chile). 2014. Información general Estación Meteorológica Isla de Maipo. [en línea] <http://www.agroclima.cl/InfoEstacionv2.aspx?IdEst=131&Ubi =13> [consulta: 6 Abril 2014]

SMITH, D. 1997. The Practice of Silviculture: Applied Forest Ecology. 9ª ed. Wiley, Nueva York, 168 p.

SOTES, G., R. BUSTAMANTE y C. HENRIQUEZ. 2013. Distribución de plántulas y germinación de semillas del lúcumo chileno (*Pouteria splendens*) en Los Molles, Chile. Revista Chilena de Historia Natural 86(3): 337-344. [en línea] <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716078X2013000300010&lng=es&nrm=iso> [consulta: 25 enero 2014].

SPSS IBM. 2011. SPSS Statistics 19.0. Chicago, Illinois, USA.

STANTON, T. y R. CHILTON. 1972. Patterns of maximum and minimum air and soil temperatures near a forest edge. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie 20(3-4): 285-298.

SYLTIE, P. 2002. How Soils Work. Xulon Press, Fairfax VA. 159 p.

THOMAS, P. y PACKHAM, J. 2007. Ecology of woodlands and forests: description, dynamics and diversity. Cambridge University Press, Cambridge. 528 p.

TRAVIS, J. y DYTHAM, C. 2004. A method for simulating patterns of habitat availability at static and dynamic range margins. Oikos 410-416.

TSIKO, C.T., MAKURIRA, H., GERRITS, A.M.J., SAVENJIE H.H.G. 2012. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. Physics and Chemistry of the Earth 47–48: 122–127.

URBIETA, I. R., PEREZ-RAMOS, I. M., ZAVALA, M. A., MARANON, T., y KOBE, R. K. 2008. Soil water content and emergence time control seedling establishment in three co-occurring Mediterranean oak species. Canadian Journal of Forest Research 38(9): 2382-2393.

VÁZQUEZ-YANES, C., 1976. Estudios sobre la ecofisiología de la germinación en una zona cálido-húmeda de México. En: GOMEZ-POMPA, A., GÓMEZ-POMPA, A., VÁZQUEZ-YANES, C., DEL AMO, S. y BUTANDA, A. Regeneración de Selvas. Compañía Editorial Continental, México. pp. 279-387.

VÁZQUEZ-YANES, C. y OROZCO-SEGOVIA, A. 1992. Effects of litter from a tropical rainforest on tree seed germination and establishment under controlled conditions. Tree Physiology 11(4): 391-400.

WADSWORTH, F. 2000. Producción Forestal para América Tropical. United States Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook #710 Washington, DC. 563 p.

WANG, C., ZHAO, C., XU, Z., WANG, Y. y PENG, H. 2013. Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. Journal of Arid Land 5(2): 207-219.

WARD, A. D. y TRIMBLE, S. W. 2004. Environmental hydrology. CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 472 p.

WATSON, B. 2013. Trees: Their Use, Management, Cultivation and Biology-A Comprehensive Guide. Crowood Press, Wiltshire, Reino Unido. 384 p.

WEN, B. y CAI, Y. 2014. Seed viability as a function of moisture and temperature in the recalcitrant rainforest species *Baccaurea ramiflora* (Euphorbiaceae). Annals of Forest Science 1-9.

WOOD, K. 1988. Rangeland vegetation - hydrologic interactions. En: TUELLER (Ed.) Vegetation science applications for rangeland analysis and management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos. pp. 469-492.

XIONG, S. y NILSSON, C. 1999. The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis. Journal of Ecology 87: 984–994.

ZASADA, J. C., SHARIK, T. R. y NYGREN, M. 1992. The reproductive process in boreal forest trees. En: SHUGART, H. H., LEEMANS, R. y BONAN, G. B (Eds.). A systems analysis of the global boreal forest. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 85-125.

ANEXOS

Anexo 1

a. Contenido promedio mensual de agua del suelo (m^3/m^3) y desviación estándar a tres distintas profundidades (10, 20 y 30 cm), en los tres Sitios de estudio entre abril del 2013 y marzo del 2014.

Mes 2013-2014	Profundidad	Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte)	Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)	Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)
abril	10 cm	0,10±0,00	0,08±0,00	0,08±0,01
	20 cm	0,10±0,00	0,08±0,01	0,09±0,02
	30 cm	0,11±0,00	0,07±0,00	0,10±0,03
mayo	10 cm	0,10±0,01	0,14±0,05	0,14±0,05
	20 cm	0,15±0,03	0,08±0,03	0,11±0,05
	30 cm	0,15±0,04	0,10±0,03	0,12±0,06
junio	10 cm	0,13±0,01	0,21±0,03	0,20±0,02
	20 cm	0,18±0,02	0,13±0,02	0,20±0,01
	30 cm	0,20±0,02	0,14±0,02	0,21±0,02
julio	10 cm	0,15±0,00	0,22±0,02	0,21±0,01
	20 cm	0,18±0,01	0,15±0,01	0,21±0,01
	30 cm	0,20±0,02	0,14±0,01	0,22±0,01
agosto	10 cm	0,15±0,01	0,21±0,02	0,20±0,02
	20 cm	0,17±0,01	0,14±0,02	0,20±0,01
	30 cm	0,19±0,02	0,13±0,01	0,21±0,01
septiembre	10 cm	0,14±0,01	0,16±0,01	0,16±0,01
	20 cm	0,15±0,01	0,11±0,01	0,17±0,01
	30 cm	0,16±0,01	0,11±0,01	0,18±0,01
octubre	10 cm	0,13±0,00	0,12±0,01	0,13±0,01
	20 cm	0,13±0,00	0,09±0,00	0,14±0,01
	30 cm	0,14±0,00	0,09±0,00	0,15±0,01
noviembre	10 cm	0,12±0,00	0,11±0,00	0,11±0,00
	20 cm	0,12±0,00	0,08±0,00	0,12±0,00
	30 cm	0,13±0,00	0,09±0,00	0,13±0,00
diciembre	10 cm	0,11±0,00	0,10±0,00	0,10±0,00
	20 cm	0,12±0,00	0,08±0,00	0,11±0,00
	30 cm	0,13±0,00	0,08±0,00	0,12±0,00
enero	10 cm	0,10±0,00	0,09±0,00	0,09±0,00
	20 cm	0,12±0,00	0,07±0,00	0,10±0,00
	30 cm	0,12±0,00	0,08±0,00	0,11±0,00
febrero	10 cm	0,10±0,00	0,09±0,00	0,09±0,00
	20 cm	0,11±0,00	0,07±0,00	0,10±0,00
	30 cm	0,11±0,00	0,08±0,00	0,11±0,00
marzo	10 cm	0,10±0,00	0,08±0,00	0,09±0,00
	20 cm	0,11±0,00	0,07±0,00	0,10±0,00
	30 cm	0,11±0,00	0,08±0,00	0,11±0,00

b. Temperatura promedio mensual del suelo (°C) y desviación estándar a tres distintas profundidades (10, 20 y 30 cm) en los tres Sitios de estudio entre abril del 2013 y marzo del 2014.

Mes 2013-2014	Profundidad	Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte)	Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)	Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)
abril	10 cm	14,38±0,62	15,12±0,92	16,44±1,15
	20 cm	14,59±0,58	15,37±0,76	16,64±0,72
	30 cm	14,61±0,39	15,36±0,54	16,59±0,64
mayo	10 cm	12,50±1,03	13,03±1,20	12,72±1,36
	20 cm	12,88±0,87	13,10±1,11	13,62±1,19
	30 cm	12,93±0,89	13,46±0,97	13,91±1,09
junio	10 cm	11,02±1,02	11,18±0,97	10,78±1,09
	20 cm	11,49±0,76	11,32±0,90	11,61±0,84
	30 cm	11,57±0,72	11,79±0,70	11,87±0,75
julio	10 cm	10,36±0,69	10,32±0,64	10,18±0,75
	20 cm	10,79±0,47	10,56±0,60	10,82±0,50
	30 cm	10,97±0,43	10,89±0,42	11,01±0,41
agosto	10 cm	10,48±0,79	10,35±0,71	10,60±0,91
	20 cm	10,79±0,56	10,65±0,67	11,04±0,65
	30 cm	11,06±0,53	10,84±0,48	11,15±0,55
septiembre	10 cm	11,88±1,25	11,77±1,10	12,32±1,16
	20 cm	12,13±0,85	12,13±0,97	12,63±0,77
	30 cm	12,43±0,76	12,23±0,71	12,59±0,79
octubre	10 cm	13,19±0,87	13,17±0,86	14,40±0,99
	20 cm	13,19±0,78	13,58±0,85	14,27±0,86
	30 cm	13,40±0,72	13,42±0,77	14,16±0,80
noviembre	10 cm	14,92±0,75	14,94±0,73	16,54±0,78
	20 cm	14,83±0,61	15,40±0,72	16,17±0,64
	30 cm	14,92±0,56	15,12±0,62	15,96±0,61
diciembre	10 cm	16,53±0,68	16,63±0,67	18,28±0,75
	20 cm	16,27±0,52	17,05±0,65	17,75±0,57
	30 cm	16,31±0,50	16,64±0,51	17,49±0,52
enero	10 cm	18,06±0,39	18,37±0,33	20,31±0,36
	20 cm	17,79±0,25	18,91±0,30	19,64±0,28
	30 cm	17,82±0,23	18,42±0,26	19,34±0,28
febrero	10 cm	17,39±0,44	18,00±0,40	20,18±0,57
	20 cm	17,37±0,29	18,60±0,38	19,72±0,31
	30 cm	17,51±0,25	18,30±0,25	19,53±0,23
marzo	10 cm	16,53±0,56	17,17±0,51	18,88±0,72
	20 cm	16,62±0,31	17,79±0,49	18,91±0,37
	30 cm	16,86±0,28	17,63±0,29	18,90±0,29

Anexo 2

Análisis de textura del suelo para cada uno de los tres Sitios de estudio: Sitio 1 (bosque de belloto del Norte), Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo) y Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo).

Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile
Departamento de Silvicultura & Cons. Nat.
Laboratorio de Ecología de Suelos
Avenida Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, RM Chile
Fono: 56-29785941 FAX 56-25417955

Reporte de resultados de análisis

Cliente: Claudio Sánchez
Dirección: Avenida Estadio Colo- Colo SN, Macul, Santiago, RM
e-mail:
Claudio Sánchez: 258467474
Fecha recepción muestras: 11 de Septiembre de 2014
Predio y Localidad: Proyecto Belloto del Norte (Proyecto CONAF 033/2012)

N° Laboratorio	Identificación	a	L	A	Clase textural
		(%)			
9346	Sitio 1	87,1	10,3	2,6	Arenosa
9347	Sitio 2	87,7	9,4	2,9	Arenosa
9348	Sitio 3	71,4	19,6	9,0	Franco arenosa

Clase textural según categorías USDA
a: arena (2-0.05 mm)
L: limo (0.005-0.002 mm)
A: arcilla (<0.002 mm)

Anexo 3. Resultados del ANDEVA de Medidas Repetidas del contenido promedio mensual de agua del suelo en los tres Sitios a tres profundidades (10, 20 y 30 cm) durante las temporadas de "Recarga" (abril-agosto 2013) (**a**) y "Pérdida" (septiembre 2013-marzo 2014) (**b**). La significancia estadística está dada por: n.s. = p no significativo; * = p<0,05; ** = p<0,01 y *** = p<0,001. Valores en negrita indican que se realizó la corrección de Greenhouse-Geisser.

a)

Variables	**"Recarga"**								
	Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte)			**Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)**			**Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)**		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Mes	4	94,74	0,000***	**1,24**	66,44	0,000***	**1,45**	208.75	0,000***
Mes x profundidad	8	4,62	0,002**	**2,49**	4,27	0,053 n.s.	**2,89**	2,34	0,145 n.s.
Error	24			**7,46**			**8,69**		
profundidad	2	5,75	0,040*	2	6,25	0,034*	2	0,34	0,725 n.s.
Error	6			6			6		

b)

Variables	**"Pérdida"**								
	Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte)			**Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)**			**Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)**		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Mes	**1,71**	60,56	0,000***	**1,26**	212,6	0,000***	**1,07**	250,417	0,000***
Mes x profundidad	**3,42**	0,660	0,613 n.s.	**2,51**	16,99	0,000***	**2,14**	0,061	0,950 n.s.
Error	**10,26**			**7,53**			**6,43**		
profundidad	2	1,03	0,412 n.s.	2	1,94	0,224 n.s.	2	2,17	0,195 n.s.
Error	6			6			6		

Anexo 4. Resultados del ANDEVA de Medidas Repetidas de la temperatura promedio mensual del suelo en los tres Sitios a tres profundidades (10, 20 y 30 cm) durante las temporadas de "Recarga" (abril-agosto 2013) (**a**) y "Pérdida" (septiembre 2013-marzo 2014) (**b**). La significancia estadística está dada por: n.s. = p no significativo; * = p<0,05; ** = p<0,01 y *** = p<0,001. Valores en negrita indican que se realizó la corrección de Greenhouse-Geisser.

a)

Variables	**"Recarga"**								
	Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte)			**Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)**			**Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)**		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Mes	1,06	319,74	0,000***	**1,54**	782,20	0,000***	**1,17**	1465,29	0,000***
Mes x profundidad	2,13	0,30	0,757 n.s.	**3,09**	0,67	0,594 n.s.	**2,34**	3,70	0,076 n.s.
Error	6,39			**9,26**			**7,00**		
profundidad	2	0,48	0,636 n.s.	2	2,25	0,187 n.s.	2	4,11	0,075 n.s.
Error	6			6			6		

b)

Variables	**"Pérdida"**								
	Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte)			**Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)**			**Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)**		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Mes	**1,41**	770,36	0,000***	**1,301**	936,55	0,000***	**1,14**	339,84	0,000***
Mes x profundidad	**2,82**	1,17	0,373 n.s.	**2,60**	0,54	0,667 n.s.	**2,27**	0,79	0,507 n.s.
Error	**8,46**			**7,80**			**6,81**		
profundidad	2	0,07	0,934 n.s.	2	0,57	0,596 n.s.	2	0,230	0,801 n.s.
Error	6			6			6		

Anexo 5

Densidad aparente promedio del suelo en los tres Sitios de estudio. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades.

Profundidad (cm)	**Sitio 1 (Bosque de belloto del Norte)** (kg/m^3)	**Sitio 2 (Ecotono de bosque de belloto del Norte con bosque esclerófilo)** (kg/m^3)	**Sitio 3 (Ecotono de bosque esclerófilo con matorral esclerófilo)** (kg/m^3)
10	1.200 **a**	1.230 **a**	1.404 **a**
20	1.360 **b**	1.367 **b**	1.409 **a**
30	1.381 **b**	1.392 **b**	1.411 **a**