



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

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

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

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

---

**EVALUACIÓN DE PARAMETROS HÍDRICOS Y DE CRECIMIENTO  
BAJO DOS CONDICIONES DE RIEGO EN UNA PLANTACIÓN DE  
*Quillaja saponaria* Mol. Y *Maytenus boaria* Mol. EN LA COMUNA DE  
LIMACHE.**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniera Forestal

**ANA VERÓNICA MORALES SEPÚLVEDA**

Profesor Guía: Ing. Forestal, Dra. Karen Peña Rojas  
Colaborador: Ing. Forestal Álvaro González

---

**Santiago, Chile**

**2017**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA**  
**CONSERVACION DE LA NATURALEZA**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACION DE LA**  
**NATURALEZA**

**EVALUACIÓN DE PARAMETROS HÍDRICOS Y DE CRECIMIENTO**  
**BAJO DOS CONDICIONES DE RIEGO EN UNA PLANTACIÓN DE**  
***Quillaja saponaria* Mol. Y *Maytenus boaria* Mol. EN LA COMUNA DE**  
**LIMACHE.**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniera Forestal

**ANA VERÓNICA MORALES SEPÚLVEDA**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Srta. Karen Peña Rojas	6.5	.....
Prof. Consejero Sr. Sergio Donoso	6.8	.....
Prof. Consejero Sr. Horacio Bown	6.7	.....

## AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este trabajo y agradecer a mi familia por sus raíces y su fuerza creadora. Gracias a mi mamá Verónica Sepúlveda y Transito Cartagena por su inmenso apoyo y esfuerzo que hoy me permite ser pionera en el mundo universitario y profesional dentro de mi familia.

Gracias a mi guardiana Noelia Espinoza, por su cariño y buenas energías que guían mis pasos. A mi tía María, que han sido parte importante de mi formación como persona. Gracias a los amigos que me ha entregado la vida en los diferentes procesos, especialmente a María Fernanda Veliz, cuya amistad ha sido un gran regalo, y gracias al apoyo y motivación de los amigos que me entregó la universidad; Bryan Ramírez, Nicolás Calderón, Scarlet Soto y Diego Baytelman.

Gracias a los que me ayudaron a abrir senderos, a quienes fueron mis pioneros Claudia Espinoza y Ariel Petit, quienes marcaron una huella permitiendo partir desde cero, hasta el término de mi proceso académico. Agradezco a mi profesora guía Karen Peña, por sus consejos y disposición, ya que sin su apoyo este trabajo no hubiese sido posible. Del mismo modo, agradezco a mis profesores consejeros Sergio Donoso y Horacio Bown, por su disposición y guía a desarrollar mis conocimientos. A ustedes, mi sincera admiración.

Por último, agradezco a la empresa ASEMAFOR, Ltda. y al Ingeniero forestal Álvaro Gonzales, quien permitió el desarrollo de este estudio y lo financió en conjunto con el programa de Bosques Mediterráneos del Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Vegetación en climas mediterráneos.....	1
1.1.1	Quillaja saponaria Mol.....	2
1.1.2	Maytenus boaria Mol. ....	2
1.2	Actividades de compensación.....	3
1.3	Potencial hídrico ( $\psi$ ).....	4
1.4	Contenido hídrico relativo ( $CHR_{pd}\%$ ).....	5
1.5	Crecimiento y biomasa.....	5
2.	OBJETIVOS .....	6
	Objetivo general .....	6
	Objetivos específicos .....	6
3.	MATERIAL Y MÉTODO .....	7
3.1	Material .....	7
3.1.1	Descripción de la forestación .....	8
3.2	Método .....	9
3.2.1	Evaluaciones de las respuestas hídricas .....	9
3.2.2	Evaluación del crecimiento .....	10
3.2.3	Evaluación de la biomasa.....	10
3.2.4	Sobrevivencia.....	11
3.2.5	Análisis estadístico.....	11
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	12
4.1	Estado hídrico de los individuos .....	12
4.1.1	Quillay.....	12
4.1.2	Maitén .....	14
4.1.3	Comparación entre especies.....	16
4.2	Crecimiento.....	18
4.2.1	Crecimiento en diámetro para quillay .....	18

4.2.2 Crecimiento en diámetro para maitén .....	19
4.2.3 Comparación del crecimiento en diámetro entre especies .....	20
4.2.4 Crecimiento en longitud para quillay .....	21
4.2.5 Crecimiento en longitud para maitén .....	22
4.2.6 Comparación del crecimiento en longitud entre especies .....	23
4.3 Biomasa.....	25
4.3.1 Distribución de la biomasa y relación parte aérea/parte radicular para quillay ..	25
4.3.2 Distribución de la biomasa y relación parte aérea/parte radicular para maitén ..	27
4.4 Supervivencia.....	30
5. CONCLUSIONES .....	31
6. BIBLIOGRAFÍA .....	32

## ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1: Información de las precipitaciones (pp, mm) y temperaturas ambientales [ $^{\circ}\text{C}$ ; temperatura mínima (T min), temperatura media mínima (T media min), temperatura máxima (T max) y Temperatura media máxima (T media max)], en el área de estudio durante los meses del ensayo, noviembre 2014 a abril 2015 (DGA, sn). ..... 8
- Cuadro 2. Biomasa (g) total y por componentes (hojas, tallos y raíz), y relación parte aérea/parte radicular (PA/PR) para quillay, según tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición (inicial y final). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación. .... 25
- Cuadro 3. Biomasa (g) total, por componentes (hojas, tallos y raíz) y relación PA/PR para maitén, según tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición (inicial y final). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación. .... 27

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa de ubicación de la zona forestada en la Comuna de Limache, Provincia de Marga Marga, Región de Valparaíso. .... 7
- Figura 2. Potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$  MPa) para los individuos de quillay según periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación..... 12
- Figura 3. Contenido hídrico relativo a pre-alba en porcentaje ( $CHR_{pd}\%$ ) para quillay según periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación..... 13
- Figura 4. Potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$  MPa) para las plantas de maitén según periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación..... 14
- Figura 5. Contenido hídrico relativo a pre-alba en porcentaje ( $CHR_{pd}\%$ ) para maitén según periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación..... 15
- Figura 6. Potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$  MPa) según especie y periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) bajo tratamiento de riego L1: 10 litros por planta, aplicado en un riego mensual. Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especie, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación..... 17
- Figura 7. Potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$  MPa) según especie y periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) bajo tratamiento de riego L2: 20 litros por planta, aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días. Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especie, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación. .... 17
- Figura 8. Diámetro a la altura del cuello (DAC mm) para las plantas de quillay, al comienzo y final del ensayo, según tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores

representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación. .... 18

Figura 9. Crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC mm) para las plantas de maitén, al comienzo y final del ensayo y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación..... 19

Figura 10. Crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC mm) según especie (quillay y maitén), tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y periodo de evaluación (comienzo y final del ensayo). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especie, minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación..... 20

Figura 11. Crecimiento en longitud (cm) para quillay al comienzo y final del ensayo y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación. .... 22

Figura 12. Crecimiento en longitud (cm) para las plantas de maitén, al comienzo y final del ensayo y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación. .... 23

Figura 13. Crecimiento en longitud (cm) según especie (quillay y maitén), tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y periodo de evaluación (comienzo y final del ensayo). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especie, minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación. .... 24

Figura 14. Proporción de la biomasa de hojas, de tallos y de raíces en relación de la biomasa total para quillay, entre tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición. Valores representan la media. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamiento de riego y griegas indican diferencias entre periodo de evaluación. .... 26

Figura 15. Proporción de la biomasa de hojas, de tallos y de raíces en relación de la biomasa total para maitén, entre tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición. Valores representan la media. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamiento de riego y griegas indican diferencias entre periodo de evaluación. .... 28

Figura 16. Biomasa (g) total, por componentes (hojas, tallos y raíz) y relación PA/PR, según especie (quillay y maitén), tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición (inicial y final). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especies, letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación. .... 29

## RESUMEN

La región central de Chile se caracteriza por presentar un clima mediterráneo, de estacionalidad muy marcada, donde el 90% de las precipitaciones se concentran en invierno, y los veranos son secos y con altas temperaturas, lo cual genera una limitación para las actividades de plantación con especies nativas con fines de restauración y compensación forestal, ya que el riego se vuelve necesario en los primeros años para asegurar el desarrollo y sobrevivencia de las plantas.

Con el objetivo de evaluar las respuestas morfofisiológicas en una plantación con especies del bosque esclerófilo bajo diferentes dosis de riego, se desarrolló un estudio en una forestación con plantas de quillay y maitén de dos años de edad, donde las plantas fueron sometidas a dos tratamientos de riego, riego con 10 litros una vez al mes y riego de 20 litros distribuidos en dos riegos de 10 litros cada 15 días, durante el periodo estival de 2015. A través del estado hídrico de los individuos, el crecimiento en diámetro y longitud, la acumulación de biomasa total y por componente, y la sobrevivencia de las plantas según especies y dosis de riego fue evaluado.

Los resultados hídricos indican que las plantas de quillay, en ambos tratamientos de riego, fueron sometidas a una restricción hídrica leve a moderada, alcanzando valores de potencial hídrico a pre-alba menores a  $-2\text{MPa}$ , y las plantas presentaron incrementos cercanos al 50% en diámetro a la altura del cuello y longitud, permitiendo la acumulación de la biomasa aérea por sobre la radicular lo cual implica un aumento no significativo de la relación parte aérea/parte radicular. Mientras que, las plantas de maitén fueron sometidas a una restricción hídrica moderada a severa, alcanzando valores máximos de potencial hídrico a pre-alba de  $-3,6\text{MPa}$ , en ambas dosis de riego, presentando sólo incrementos en diámetro a la altura del cuello (del 40%), y permitiendo la acumulación de la biomasa en raíces, mostrando una leve tendencia a la disminución de la relación parte aérea /parte radicular. Finalmente, la sobrevivencia de ambas especies fue superior al 70%.

Basado en los resultados, las plantas de quillay y maitén presentaron diferentes requerimientos hídricos, por lo tanto, no deberían ser plantadas en una misma línea de riego. En conclusión, estas especies deberían ser plantadas con otras del bosque esclerófilo que tengan requerimientos hídricos similares

Palabras clave: Quillay, Maitén, potencial hídrico, distribución de biomasa, compensación forestal.

## ABSTRACT

The central region is characterized by presenting a Mediterranean climate, with very marked seasons, where 90% of precipitations concentrates in winter, and the summers are dry and reach high temperatures, which generates a limitation for the plantation activities with native species with objective of restauration and forest compensation, because irrigation becomes necessary to assure the development and survival of the plants.

With the objective of evaluating the morphophysiological responses in a plantation with species of the sclerophyllous forest under different doses of irrigation, a study was carried out in a plantation of two-year-old plants of quillay and maitén, where the plants were subjected to two irrigation treatments, irrigation with 10 liters once a month and irrigation of 20 liters distributed in two irrigations of 10 liters every 15 days, during the summer period of 2015. Through the hydric status of individuals, the growth in diameter and length, the accumulation of total biomass and per component, and the survival of plants according to species and irrigation dose it was evaluated.

The hydric results indicate that the quillay plants, in both irrigation treatments, were subjected to a mild to moderate hydric restriction, reaching values of hydric potential at pre-dawn less than -2MPa and the plants showed increases close to 50% in diameter and length, permit the accumulation of aerial biomass over the root. Which implicate into a non-significant increase of the shoot / root relationship. While, the maitén plants were subjected to a moderate to severe hydric restriction, reaching maximum values of hydric potential at pre-dawn of -3,6 MPa in both irrigation doses, presenting only increments in diameter at the height of the collar (of 40%) and permit the accumulation of root biomass, showing a slight tendency to decrease of the shoot / root part relationship. Finally, the survival of the both species it was higher than 70%.

Based on the results, the quillay and maitén plants presented different hydric requirements, therefore, they should not be planted on the same irrigation line. In conclusion, these species should be planted with others of the sclerophyllous forest that have similar hydric requirements.

Key words: Quillay, Maitén, water potential, biomass distribution, forest compensation

## 1. INTRODUCCIÓN

En Chile, la región central del país presenta un clima mediterráneo que se caracteriza por una concentración de los eventos pluviométricos en la estación invernal y veranos secos con ausencia casi total de precipitaciones, lo que implica un alto déficit de humedad ambiental. Dicho escenario junto con la elevada radiación solar y altas temperaturas ambientales provocan una acentuada sequía estival con baja disponibilidad hídrica en los suelos, generando una reducción del crecimiento y alteración de las funciones metabólicas de la célula, donde destaca el proceso fotosintético (Donoso, 1982; Villagrosa *et al.*, 2003).

Por otro lado, los montos de agua disponible en los suelos son determinante en el establecimiento de especies nativas, de formaciones del tipo esclerófilas en la región mediterránea de Chile central. El desarrollo y sobrevivencia de estas especies se rigen en gran medida por la disponibilidad hídrica, a la que se han adaptado, ya sea por características ecológicas y fisiológicas, como mecanismos de resistencia a la sequía como: escapar, de evitar o tolerar (Herralde, 2000; Valladares y Niinemets, 2008; Asbjornsen *et al.*, 2011).

### 1.1 Vegetación en climas mediterráneos

El área de estudio se sitúa en la Comuna de Limache, Región de Valparaíso, la cual es descrita por Luebert y Pliscoff (2006), dentro del piso vegetacional “Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Lithraea caustica* Mol. (Litre) y *Cryptocarya alba* Mol. (Peumo)”. La especie dominante es litre acompañada generalmente por peumo, *Schinus latifolius* Gill. (Molle), además de *Peumus boldus* Mol. (Boldo), *Quillaja saponaria* Mol. (Quillay), *Schinus polygamus* Cav. (Huingán), entre otros.

Mientras que Donoso (1982), describe el área vegetal como “Bosques latifoliados siempreverdes esclerófilos con lluvias invernales y sequía estival pronunciada, de tierras altas y de media altura”, dominado por formaciones de quillay – litre asociándose a especies esclerófilas como; peumo, *Maytenus boaria* Mol. (Maitén), *Kageneckia oblonga* Ruiz y Pav. (Bollen) y huingán, normalmente en exposiciones secas y cálidas, no expuestas al mar.

En el bosque esclerófilo, una de las especies más utilizadas en actividades de compensación corresponde a quillay y maitén, las cuales tienen características propias de distribución y asociación con otras especies.

### 1.1.1 *Quillaja saponaria* Mol.

El quillay corresponde a un árbol siempreverde endémico de Chile, típico de la zona central. Se distribuye desde la cuenca del río Limarí en la Región de Coquimbo hasta Angol en la Región de la Araucanía, formando parte del tipo forestal esclerófilo, como especie principal según lo descrito por Donoso (1995). Mientras que, a partir de la descripción propuesta por Gajardo (1994), se encuentra formando parte de la región de matorral y del bosque esclerófilo.

El quillay es reconocido por Gajardo (1994), como la especie principal del bosque esclerófilo, por lo que se asocia con una gran variedad de especie dependiendo la situación geográfica en que se ubique, es una especie muy plástica que se adapta a gran variedad de condiciones ambientales. Es una de las pocas especies arbóreas que se encuentran en los hábitats más xéricos de la región mediterránea chilena (Armesto y Pickett, 1985).

Frecuentemente se encuentra en asociaciones con *C. alba*, *L. caustica*, *P. boldus* y *Acacia cavén* (Espino), así como también con ejemplares arbustivos de *Colliguaja odorífera* Mol. (Colliguay) y *Trevoa trinervis* Miers (Tevo) (Cruz *et al.*, 2006).

### 1.1.2 *Maytenus boaria* Mol.

El maitén es un árbol siempreverde nativo de Chile y Argentina, el cual también es posible encontrarlo en territorio brasileño, es una especie de amplia extensión y forma parte del bosque esclerófilo como especie acompañante, asociándose a un gran número de especies de distintos tipos forestales a lo largo de su distribución (Donoso y Wendler, 1984). En Chile se distribuye desde la Provincia del Huasco, hasta la Provincia de Aysén (Rodríguez *et al.*, 1983). Por otro lado Dollenz (2003), señala la presencia de la especie en la Provincia de Magallanes, en el sector de la Península, en Lago Toro donde se registró la presencia de individuos localizados de forma dispersa.

En su distribución norte, es posible encontrar a *M. boaria* en asociación con *Quillaja saponaria*, y *Lithaea caustica* en laderas de cerros, mientras que en sectores con mayor humedad se asocia con *Cryptocarya alba*, *Peumus boldus* y *Beilschmiedia miersii*. Más hacia el sur se encuentra escasamente en bosques dominados por *Nothofagus*, hasta volver a aparecer junto al tipo forestal siempreverde (Donoso *et al.*, 2006). Sin embargo, es importante resaltar que maitén es una especie que presenta sus mejores estadios en condiciones ambientales donde la humedad del suelo no es un factor limitante (Armesto y Pickett, 1985).

Hoy en día, la vegetación mediterránea ha sufrido transformaciones, haciéndose habitual la disminución progresiva de la vegetación, producto de actividades de degradación y perturbaciones generadas por; obras civiles, cultivos y la ganadería (Donoso, 1982).

Actualmente, para la ejecución de obras civiles, que realizan cambios en el uso del suelo, alterando y degradando la vegetación, se les exige a través de la legislación chilena, someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA), dependiente de la Ley N° 19.300 y el Decreto Supremo N°40/2012, el cual exige medidas de mitigación, reparación o compensación, ante un impacto al medio ambiente (SEA, 2014).

## **1.2 Actividades de compensación**

La forestación debe ser llevada a cabo a partir de lo estipulado en el artículo 21 de la Ley 20.283 del Bosque Nativo, con especies propias del lugar a intervenir, procurando que sean del mismo tipo forestal, en una superficie de tamaño igual o superior a la intervenida y que este sitio seleccionado no cuente actualmente con la condición de bosque (MINAGRI, 2008).

En la zona mediterránea, las actividades de compensación forestal cuentan con una serie de dificultades relacionadas con las condiciones ambientales, principalmente por la falta de agua en la época de verano, donde existe la mayor restricción ambiental para las especies vegetales, por lo que las empresas deben incurrir en una serie de gastos, ya que deben incluir actividades culturales como; riegos periódicos, desmalezado, fertilización, protección contra lagomorfos, roedores y ganado, entre otras, con el fin de asegurar la sobrevivencia, establecimiento y crecimiento de las especies nativas utilizadas (Vita, 1990 y Cruz y Duchens, 2000).

En Chile, durante los primeros años de una plantación en zonas de clima mediterráneo, para asegurar el establecimiento se aplica riego quincenalmente, entre los meses de periodo estival (Benedetti y Perret 1995). El agua es un recurso limitante aún más en la zona central del país, por lo que se debe procurar hacer un uso eficiente del recurso (Santelices, 2005).

Según Benedetti *et al.* (2000), para el establecimiento de plantas de quillay se debe asegurar un riego mínimo de 5 litros de agua por planta por mes, los dos primeros años durante el periodo de sequía estival, ya que son plantas altamente sensibles a la sequía.

Además de asegurar el establecimiento de las plantas, se debe considerar el proceso de abandono de la plantación, lo que incluye la disminución gradual de los montos de riego

con el fin de incentivar el fortalecimiento y crecimiento de raíces en busca del recurso hídrico a mayor profundidad del suelo, ya que la eliminación total de agua en una forma brusca podría generar la muerte de los individuos (Becerra *et al*, 2013). Por otra parte, el abandono gradual permitirá disminuir los costos asociados al riego, bajo un contexto de déficit hídrico como ocurre en la región mediterránea de Chile.

Para tener certeza de la condición hídrica a las que están siendo sometidas las plantas, Taiz y Zeiger (2002) propone evaluar la falta de agua en la planta mediante el potencial hídrico, herramienta que permite conocer el estado hídrico en que se encuentra la planta. Las variables fisiológicas como las hídricas entregan un rápido diagnóstico del estado de las plantas, y permite la toma de decisiones como la necesidad de aplicar o no riego, junto con definir los montos e intensidades de riego necesarios, lo que influye en el éxito de una plantación. Adquiriendo mayor relevancia frente a un escenario de cambio climático, el que pronostica una reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos y aumento de las temperaturas en la zona mediterránea chilena (Benedetti y Perret, 1995; Cabrera, 2008).

### 1.3 Potencial hídrico ( $\Psi$ )

El potencial hídrico corresponde a la capacidad de movimiento de las moléculas de agua dentro de un sistema particular, siendo una medida de energía libre del agua en un sistema. Desde la perspectiva energética es definido como: “El trabajo que se debe suministrar a una unidad de masa de agua (ligada) al suelo, o tejidos de una planta, para llevarla de un estado de unión a un estado de referencia (o libre), manteniendo igual temperatura y presión atmosférica” (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2008).

A nivel de vegetación, el potencial hídrico se ha establecido a partir de la ecuación 1:

$$\text{Ecuación 1: } \Psi = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g$$

Donde;  $\Psi_p$  representa el potencial de presión, constituyendo la presión que es hecha por el protoplasto contra la pared celular;  $\Psi_s$  potencial de soluto (u osmótico), el cual representa los efectos que producen los solutos en la disolución celular;  $\Psi_m$  potencial mátrico instaura los efectos que implica la retención de agua en los microcapilares, además de las superficies de paredes y componentes celulares, y por último el  $\Psi_g$  se refieren a las diferencias de energía potencial la cual es influenciada por la altura a partir de un nivel de referencia. Sin embargo, a nivel celular los componentes mátricos y gravimétricos no son considerados debido su insignificante efecto en el potencial hídrico (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2008).

#### **1.4 Contenido hídrico relativo ( $CHR_{pd}\%$ )**

El contenido hídrico relativo permite determinar el estado hídrico de las plantas, en conjunto al  $\Psi_{pd}$ , éste es definido como: “la cantidad de agua de un tejido en comparación con la que podría contener en un estado de hidratación completa” (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2008).

Según Boyer (1969), el contenido hídrico relativo expresa la cantidad de agua al interior de los tejidos, ya que corresponde a un porcentaje del contenido de agua a plena saturación. Por ende, una disminución o aumento del  $\Psi_{pd}$  y  $CHR_{pd}\%$  incidirá en la fotosíntesis y crecimiento de las plantas.

#### **1.5 Crecimiento y biomasa**

El estrés hídrico de las plantas, altera los procesos fisiológicos y metabólicos de los individuos generando variaciones negativas en el crecimiento y distribución de biomasa en su relación parte aérea/parte radicular (Azcon-Bieto y Talón, 2008).

Donoso *et al.* (2011), señala que un punto crucial en el déficit hídrico ocurre cuando la planta cierra sus estomas limitando la absorción de  $CO_2$ , siendo este proceso el que restringe el crecimiento de la planta y con ello limita la acumulación de biomasa. Es por lo cual, se hace necesario conocer los requerimientos hídricos propios de la especie, que permitan el establecimiento y desarrollo de las plantas, además de establecer parámetros morfo-fisiológicos que nos permitan tomar decisiones respecto las dosis de riego más eficiente según la condición específica de cada sitio.

Sobre la base de lo anterior el presente estudio busca determinar el monto de riego más apropiado a utilizar, el segundo año de plantación con quillay y maitén, en la época estival sin alterar la sobrevivencia y desarrollo de éstas, mediante el análisis de las respuestas morfo-fisiológicas de las plantas.

## 2. OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar las respuestas hídricas, de crecimiento y acumulación de biomasa en una plantación de dos años de *Quillaja saponaria* (Quillay) y *Maytenus boaria* (Maitén), bajo dos escenarios de riego en la Comuna de Limache, Región de Valparaíso.

### Objetivos específicos

- Analizar las respuestas hídricas de quillay y maitén frente a dos condiciones de riego.
- Evaluar el efecto del tratamiento de riego en el crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC) y longitud del tallo al inicio y final del ensayo para quillay y maitén.
- Analizar la biomasa total y por componente (hojas, ramas más tallo y radicular), y la relación parte aérea/parte radicular en plantas de quillay y maitén según dosis de riego.

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1 Material

El ensayo se instaló en un área del sector Los Laureles, ubicado en la Comuna de Limache en la Región de Valparaíso (figura 1), donde el 2013 se realizó una forestación perteneciente al proyecto Embalse Chacrillas, el cual compromete en su plan de manejo de corta, la forestación de bosques para ejecución de obras civiles. La superficie forestada con especies del bosque esclerófilo fue de 33,03 ha.

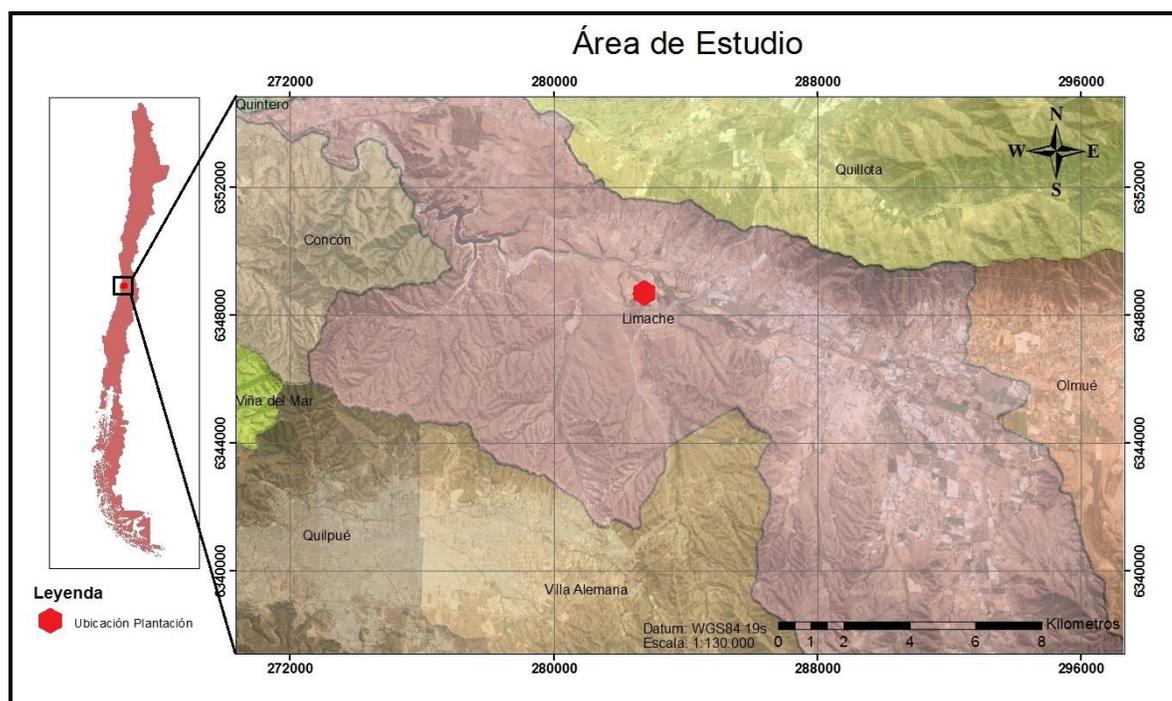


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona forestada en la Comuna de Limache, Provincia de Marga Marga, Región de Valparaíso.

La zona forestada se caracteriza por presentar un clima mediterráneo, donde la condición climática se define por la escasez de precipitaciones y altas temperaturas en la época estival. Durante el desarrollo del ensayo se presentaron temperaturas medias de 20°C, con temperaturas mínimas promedio de 9,5°C y máximas promedio de 25,6°C (cuadro 1). El mes de abril, fue el periodo donde se presentaron las máximas temperaturas llegando a valores máximos de 38°C (DGA, sn). Mientras que las precipitaciones, ocurridas en el transcurso del ensayo, tuvieron lugar en los meses de noviembre de 2014 y marzo 2015: con 2,1 y 6,5 mm de agua caída respectivamente (cuadro 1) (DGA, sn).

Cuadro 1: Información de las precipitaciones (pp, mm) y temperaturas ambientales [°C; temperatura mínima (T min), temperatura media mínima (T media min), temperatura máxima (T max) y Temperatura media máxima (T media max)], en el área de estudio durante los meses del ensayo, noviembre 2014 a abril 2015 (DGA, sn).

Meses	T min (°C)	T media min (°C)	T max. (°C)	T media max. (°C)	PP(mm)
<b>Nov</b>	3,2	7,7	32,4	25,3	2,1
<b>Dic</b>	7,2	9,9	31,4	26,4	0,0
<b>Ene</b>	5,0	11,8	34,4	28,4	0,0
<b>Feb</b>	5,5	11,3	27,4	23,8	0,0
<b>Mar</b>	9,9	11,7	32,2	28,5	6,5
<b>Abr</b>	6,2	9,5	38,0	25,7	0,0

El suelo del área de estudio tiene su origen a partir de sedimentos graníticos en posición de terrazas aluviales de esteros, de textura superficial franco arenoso a franco arcillo arenosa y estructura de poros finos, medios a gruesos en superficie, a estructuras de bloques subangulares finos en profundidad. La profundidad efectiva varía entre 35 a 60 cm, suelo de delgado a moderadamente profundo y su condición topográfica es más bien plana y de permeabilidad moderadamente rápida y buen drenaje (CIREN, 1997).

### 3.1.1 Descripción de la forestación

La forestación fue establecida el año 2013, donde se utilizaron cuatro especies arbóreas nativas, perteneciente al bosque esclerófilo: *Q. saponaria* (Quillay), *Acacia caven.* Mol. (Espino), *Maytenus boaria* (Maitén) y *Schinus polygamus* (Huingan), con una densidad de plantación de 1.200 plantas/ha en una superficie total de 33,03 ha.

El ensayo se centró en las evaluaciones morfo-fisiológicas (crecimiento, biomasa y respuestas hídricas) de dos de las cuatro especies utilizadas en la forestación; *Q. saponaria* y *M. boaria*, de dos años de edad, dispuestas sobre una superficie de 3,64 ha que se dividió en dos sectores con líneas de riego independientes. Una línea de riego comprende una superficie de 1,47 ha (Sector 1), con 652 plantas de quillay y 546 plantas de maitén, y la segunda línea de riego comprende una superficie de 2,17 ha (Sector 2), con 963 plantas de quillay y 807 plantas de maitén.

La primera línea de riego (Sector 1), se entrega luego de cada medición 10 litros de agua mensual a cada una de las plantas en dicha superficie aplicadas en un riego, de forma independiente la segunda línea de riego (Sector 2), se entrega 20 litros de agua a cada una

de las plantas después de cada evaluación y es entregada en dos riegos de 10 litros cada 15 días.

### **3.2 Método**

El ensayo consistió en la evaluación de las respuestas hídricas, en crecimiento, de biomasa y de sobrevivencia de quillay y de maitén según tratamiento de riego aplicados por planta [10 litros de agua realizado cada 30 días (L1) y 20 litros de agua entregado en dos riegos de 10 litros cada 15 días (L2)], aplicados en forma diferenciada a través de la línea de riego.

#### **3.2.1 Evaluaciones de las respuestas hídricas**

La evaluación de las respuestas hídricas [potencial hídrico ( $\Psi_{pd}$ ) y contenido hídrico relativo ( $CHR_{pd}\%$ ) foliar a pre-alba], se llevó a cabo en el periodo entre fines de primavera y verano (diciembre de 2014 a abril del 2015). Al inicio de noviembre todas las plantas fueron regadas con 20 litros, para homogenizar el estado hídrico de las plantas antes de comenzar con la aplicación de los tratamientos de riego. Posteriormente, a mediados de noviembre se realizó una evaluación inicial del estado hídrico de los individuos previo a la aplicación de los tratamientos. Luego de esta evaluación inicial se comienza con la aplicación de los tratamientos de riego por planta [10 litros aplicados en un riego cada 30 días (L1) y 20 litros entregados en dos riegos de 10 litros cada 15 días (L2)].

El ensayo tuvo una duración de cinco meses, entre los meses de diciembre de 2014 y enero de 2015, las respuestas hídricas fueron evaluadas cada 15 días, con el objetivo de prevenir la muerte de las plantas producto de los tratamientos de riego (L1 y L2). Tomando en cuenta que estos son meses donde existe una disponibilidad hídrica restringida en el suelo, elevada intensidad lumínica y alta temperatura ambiental, lo que podría generar la muerte de las plantas. En meses restantes (febrero a abril de 2015), el seguimiento se realizó una vez por mes, en base al conocimiento previo (mese diciembre a enero), de las respuestas hídricas de las especies estudiadas frente a los tratamientos de riego aplicados. Las evaluaciones hídricas se realizaron al inicio de cada mes de evaluación, siempre antes de la aplicación del riego.

Para la medición del estado hídrico de la forestación, en cada momento de evaluación se seleccionaron al azar cinco plantas de quillay y cinco plantas de maitén por tratamiento de riego. A cada planta seleccionada se le extrajo una ramilla con hojas completamente desarrolladas y sanas, ubicadas en el tercio superior de la planta, que presentaran características similares de desarrollo en términos de madurez y tamaño de las hojas.

El potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$ ), de las ramillas (muestras), fueron obtenidas con una cámara de presión modelo PMS Instrument modelo 1000, para determinar el estado hídrico de las plantas. Inmediatamente después de medir el  $\Psi_{pd}$  se obtuvo el peso fresco (Pf) de la muestra, con una balanza de precisión al miligramo (0.001 g). Luego, cada muestra fue hidratada en agua destilada por 24 horas a 4°C en oscuridad, terminado el periodo de hidratación se obtuvo el peso hidratado (Ph). Finalmente, cada muestra es secada en una estufa de aire forzado a 65°C hasta alcanzar un peso constante que equivale al peso seco (Ps). A partir de los pesos obtenidos se calcula el contenido hídrico relativo en forma porcentual ( $CHR_{pd}\%$ ), a través de la ecuación 2:

$$\text{Ecuación 2: } CHR_{pd}\% = ((Pf-Ps) / (Ph-Ps)) * 100$$

Dónde: Pf, corresponde al peso fresco de la muestra (g), Ps representa el peso seco de la muestra (g) y Ph representa el peso hidratado de la muestra (g).

### 3.2.2 Evaluación del crecimiento

Previo al comienzo del ensayo de riego (en el mes de noviembre 2014), se seleccionaron al azar 20 plantas por especie y por tratamiento de riego. Estas fueron marcadas y caracterizadas a través del diámetro a la altura del cuello (DAC, en mm), utilizando un pie de metro digital con precisión al milímetro y la longitud del tallo principal (L, en cm), utilizando una cinta métrica con precisión al milímetro. Ambos parámetros fueron medidos a partir de una marca realizada a la altura del DAC a todas las plantas seleccionadas. Esto, con el objetivo de asegurar que las mediciones del DAC y longitud del tallo se realicen desde el mismo lugar de la planta al final del estudio y evitar errores en la medición de dichos parámetros. Además, las plantas fueron numeradas.

Posteriormente al final del ensayo (abril de 2015), se realizó nuevamente la medición de los DAC y longitud del tallo de cada una de las 20 plantas por especie y tratamiento de riego, seleccionadas aleatoriamente al inicio del ensayo, usando como referencia la marca anterior y los instrumentos antes mencionados.

### 3.2.3 Evaluación de la biomasa

La biomasa total y por componente (hojas, tallos y raíces) al inicio y final del ensayo, según tratamientos de riego aplicado, fueron estimados a partir de la extracción completa de los individuos. Para lo cual, al inicio del ensayo, antes de la aplicación de los tratamientos de riego, se seleccionaron aleatoriamente dos individuos por especie y tratamiento de riego.

Mientras que, al final del ensayo (abril de 2015) se realizó la selección aleatoria de cuatro individuos por especie y tratamiento de riego, con el propósito de analizar y comparar los cambios en biomasa total y por componente de cada especies y según tratamientos de riego.

Tanto al inicio como al final del estudio las muestras fueron extraídas completamente y almacenada en bolsas de papel rotuladas para ser llevadas al laboratorio de ecofisiología y genética de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza (FCFCN) de la Universidad de Chile, donde fueron procesadas. Este procesamiento consistió en la separación de sus componentes (hojas, ramas más tallo y raíces), para luego ser secadas en una estufa de aire forzado a 65°C hasta alcanzar en peso constante, el cual corresponde a la biomasa. Para determinar el peso se utilizó una balanza con precisión al miligramo. Es importante señalar que el reducido número de individuos extraídos, para determinar la biomasa de las especies estudiadas, es debido a que por ser una forestación por compensación ambiental se requiere la menor pérdida de individuos.

### **3.2.4 Sobrevivencia**

Para el análisis de sobrevivencia se utilizaron las plantas que fueron seleccionadas al azar para las evaluaciones del crecimiento (20 plantas por especie y tratamiento de riego). La cual fue determinada mediante el conteo del número de individuos vivos al inicio y final del estudio, siendo expresada en forma porcentual (%), según ecuación 3.

$$\text{Ecuación 3: \% Sobrevivencia} = (\text{N plantas finales} / \text{N plantas iniciales}) * 100$$

### **3.2.5 Análisis estadístico**

El diseño del ensayo es del tipo aleatorio factorial, tomando en cuenta tres factores ([especie (quillay y maitén), tratamiento de riego (10 litros aplicado en un riego cada 30 días y 20 litros entregado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fecha de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015)]. Las variables hídricas y de biomasa fueron evaluadas a partir de un análisis de varianza (ANDEVA), con un nivel de significancia de  $\alpha= 0.05$  con el propósito de establecer la existencia de diferencias significativas a nivel de especies, tratamientos de riego y fechas de evaluación. En caso de existir diferencias significativas, se realizó un análisis de comparaciones múltiples de Duncan (1955).

Para el análisis estadístico de las variables de crecimiento (DAC y L) se realizó un análisis de medidas repetidas utilizando como co-variables el DAC y longitud inicial de las plantas según el parámetro analizado.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Estado hídrico de los individuos

#### 4.1.1 Quillay

La evaluación inicial, previo inicio de los tratamientos de riego, mostró que las plantas de quillay no presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ), para los parámetros de  $\Psi_{pd}$  y  $CHR_{pd}\%$ , cuyos valores promedios de  $-0.6$  MPa y  $90\%$  de CHR (Figuras 2 y 3), indicando que las plantas se encontraban sin restricción hídrica de acuerdo a lo señalado por diferentes autores que trabajaron con especies del bosque esclerófilo (Aguirre, 2008; Ilabaca, 2008; Guajardo, 2010; Barría, 2011; Petit-Breuilh, 2016).

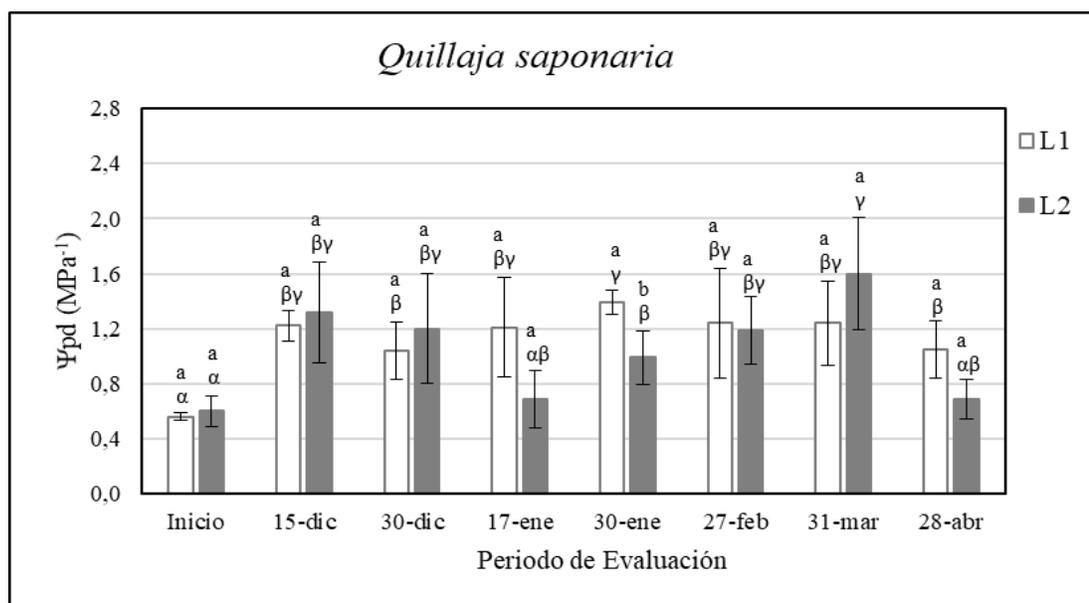


Figura 2. Potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$  MPa) para los individuos de quillay según periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Las plantas de quillay presentaron diferencias significativas en  $\Psi_{pd}$  y  $CHR_{pd}\%$  entre los tratamientos de riego (L1 y L2), sólo en la evaluación del 30 de enero de 2015. En general los valores promedios de  $\Psi_{pd}$  obtenidos por los individuos de quillay durante todo el período de evaluación, fueron menos negativos que  $-2$  MPa (figura 2), indicando que las

plantas fueron sometidas a una restricción hídrica leve a moderada, ésto a partir de lo señalado por Luna (2006) y Barría (2011), donde las plantas de quillay sometidas a restricción hídrica severo alcanzan valores de  $\Psi_{pd}$  mas negativos que -3,5 MPa, las plantas sometidas a restricción moderada alcanzan valores de -1,6 MPa y las sin restricción valores menos negativos que -0,7 MPa.

Los valores promedio de  $\Psi_{pd}$  más negativos presentados por las plantas de quillay fueron de -1,2 MPa y -1,6 MPa para los tratamientos de riego L1 y L2 respectivamente, y se alcanzaron en marzo de 2015 (figura 2). Lo anterior pudo deberse a la pérdida de agua acumulada en el transcurso de los meses anteriores, junto con la mayor radiación y elevadas temperaturas registradas en este periodo, donde marzo fue el mes que presentó la mayor tempratura promedio (28,5°C) durante el transcurso del estudio (cuadro 1). Lo que provocó que las plantas de quillay de ambos tratamientos de riego (L1 y L2) fueran sometidas a una restricción hídrica leve a moderada, situación que fue mas favorable a lo observado por Petit-Breuilh (2016), quien señala que en plantas de quillay con  $\Psi_{pd}$  de -2.3 MPa presentan una condición hídrica en la que no requiere la aplicación de riego sin afectar la sobrevivencia de ellas.

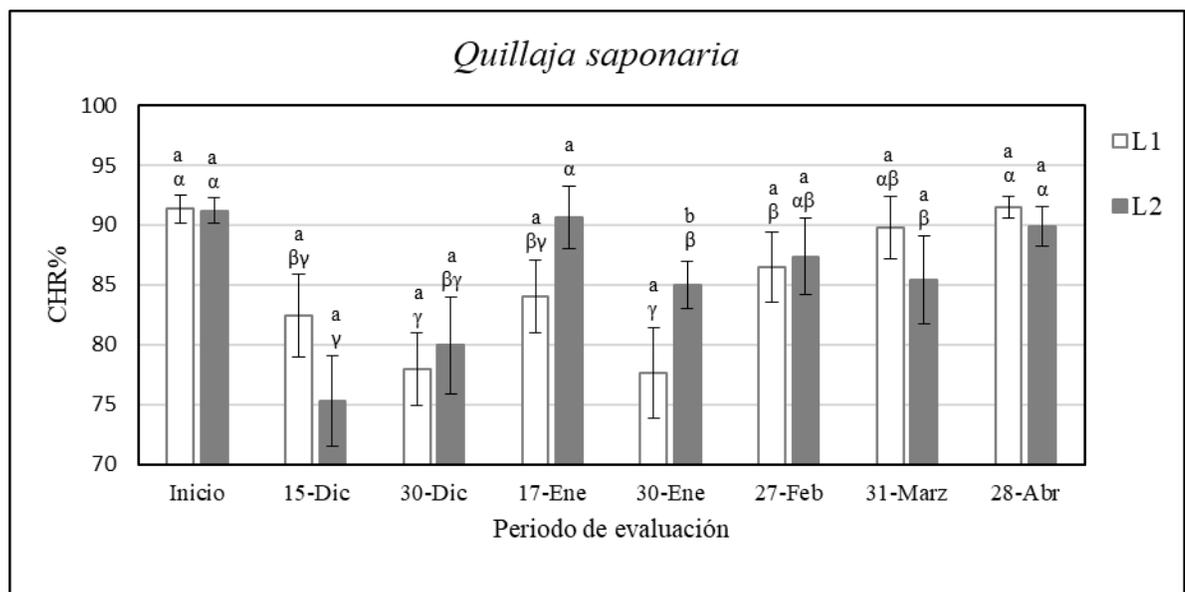


Figura 3. Contenido hídrico relativo a pre-alba en porcentaje (CHR<sub>pd</sub>%), para quillay según periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias ± error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Los valores promedios de  $CHR_{pd}\%$  de las plantas de quillay en ambos tratamientos de riego, durante todo el ensayo fueron superiores a 75% (figura 3), indicando que las plantas de quillay de los tratamientos L1 y L2 presentaron un estado hídrico adecuado para llevar a cabo los procesos fisiológicos y metabólicos. Esto concuerda con lo registrado por Luna (2006), Barría (2011) y Reyes (2012), donde quillay alcanza contenidos hídricos generalmente superior al 80%, manteniendo el turgor necesario en sus células, utilizando el ajuste osmótico como mecanismo de respuesta ante un estrés hídrico. Lo que también ha sido registrado para otras especies del bosque esclerófilo como; litre (Guajardo, 2010; Reyes, 2012; Petit-Breuilh 2016), y peumo (Ilabaca, 2008).

#### 4.1.2 Maitén

Al inicio del estudio no se observaron diferencias significativas en  $\Psi_{pd}$  entre las plantas de maitén de los tratamientos de riego L1 y L2 (presentando valores promedios de -1,0 y -0,6 MPa respectivamente; figura 4). Estos valores al compararlos con los obtenidos por Petit-Breuilh (2016) para quillay ( $\Psi_{pd}$  promedios de -1,4 a -2,3 MPa), indicaron que las plantas se encontraban sin restricción hídrica.

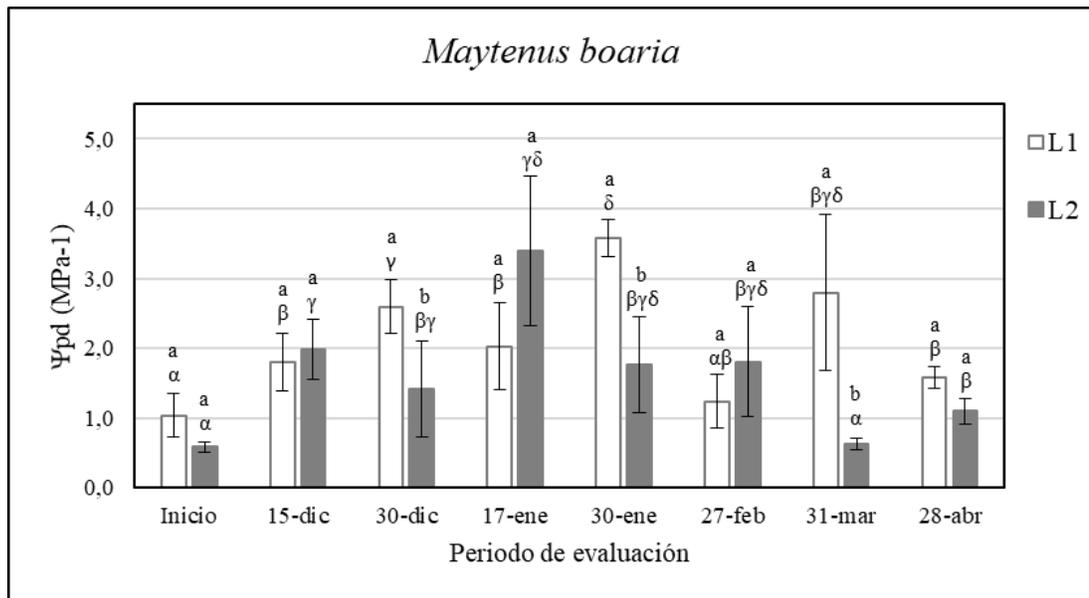


Figura 4. Potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$  MPa) para las plantas de maitén según periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Las evaluaciones posteriores a la puesta en marcha de los tratamientos de riego indicaron que existen diferencias significativas en  $\Psi_{pd}$  entre los tratamientos de riego L1 y L2, para las evaluaciones del 30 de diciembre, 30 de enero y 31 de marzo (figura 4), mientras que en  $CHR_{pd}\%$ , no se observan diferencias significativas entre los tratamientos de riego aplicados (figura 5).

En el transcurso del ensayo y de forma paulatina, las plantas de maitén mostraron una tendencia a presentar potenciales hídricos más negativos, llegando a valores promedios de -3,6 MPa en el tratamiento de riego L1 y -3,5 MPa para el tratamiento de riego L2 (figura 4), valores de  $\Psi_{pd}$  podría indicar la presencia de una restricción hídrica severa, esto a partir de lo señalado por Luna, (2006), Barría, (2011) y Petit-Breuilh (2016) para plantas de quillay, y lo observado en otras especies del bosque esclerófilo como; boldo, peumo y litre (Ilabaca, 2008, Guajardo, 2010, Donoso *et al*, 2011, Reyes, 2012, Petit-Breuilh, 2016).

Si bien no se presentan diferencias significativas en  $CHR_{pd}\%$  entre los tratamientos de riego aplicados, se observa que en la evaluación inicial se registraron los mayores valores, con CHR del 89% en plantas de maitén del tratamiento L1 y 94% en las del tratamiento L2 (figura 5).

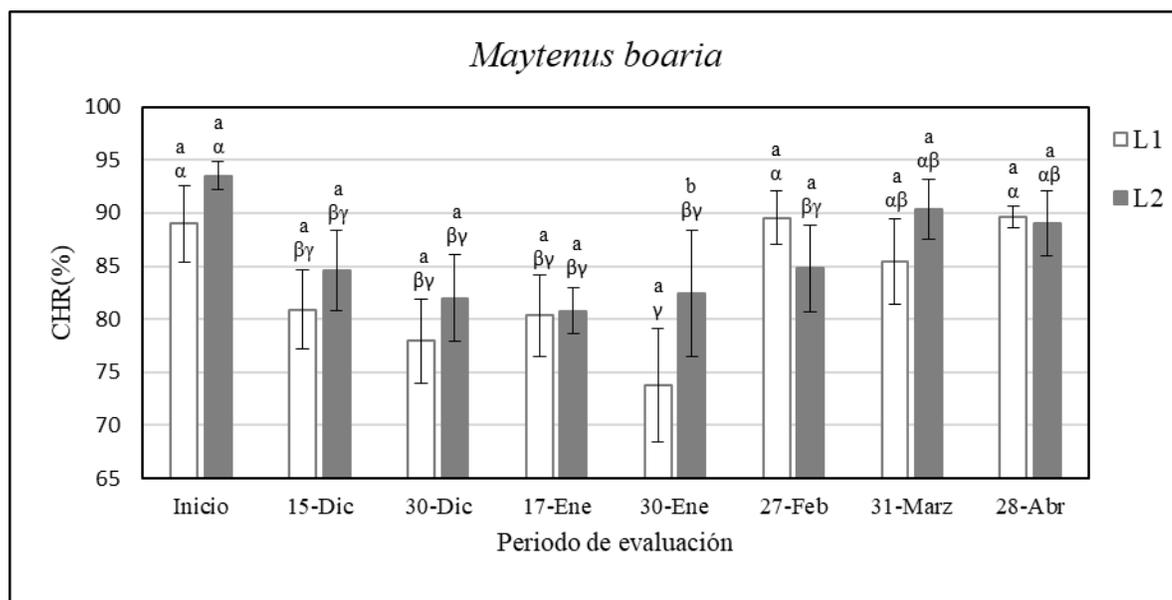


Figura 5. Contenido hídrico relativo a pre-alba en porcentaje ( $CHR_{pd}\%$ ) para maitén según periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Además, no se registraron diferencias significativas en  $CHR_{pd}\%$  entre los periodo de evaluación dentro de cada tratamiento de riego (figura 5). Situación similar fue registrada, en un estudio de campo, por Reyes (2012) donde dosis de riego de 5 y 10 litros de agua mensual no presentan diferencias significativas en el potencial hídrico a pre-alba y contenido hídrico relativo en plantas de litre y de quillay.

Los valores de  $\Psi_{pd}$  más negativos que -3 MPa y  $CHR_{pd}\%$  sobre el 85% presentados por las plantas de maitén posteriores a la evaluación de diciembre, sugieren que éstas pudieron haber usado alguna estrategia como el ajuste osmótico, para mantener un  $CHR_{pd}\%$  altos y así lograr un turgor celular que le permita seguir realizando los procesos fisiológicos necesarios para su sobrevivencia, esto de acuerdo a lo observado en otras especies del bosque esclerófilo como quillay (Barría, 2011; Luna, 2006, Petit-Breuilh, 2016; Reyes, 2012), peumo (Donoso *et al*, 2011) y litre (Guajardo, 2010; Petit-Breuilh, 2016; Reyes, 2012). A diferencia de boldo que realiza ajuste elástico que le permitiría mantener un turgor celular alto a pesar de presentar valores de  $CHR_{pd}\%$  inferiores a 60% cuando su potencial hídrico llega a valores inferiores a -3,5MPa (Ilabaca, 2008). El ajuste osmótico consiste en la acumulación de solutos en los tejidos celulares ante un estrés hídrico (Acevedo *et al.*, 2003), lo que permite la absorción de agua y/o retención de agua en las células, por lo cual un turgor celular óptimo para el funcionamiento de las plantas. Sin embargo, para asegurar que maitén utilizó este tipo de mecanismo seria necesario la construcción de curvas de presión/volumen, con el objetivo de conocer los potenciales de presión, y osmóticos a 100% y 0% de turgor celular en función de las variaciones del volumen celular (Herralde, 2000).

#### 4.1.3 Comparación entre especies

A partir de los resultados anteriores de  $\Psi_{pd}$  en quillay y maitén (Figuras 2 y 4), se efectuó un análisis estadístico de la variable  $\Psi_{pd}$  entre especies para cada tratamiento de riego L1 y L2 por separado (Figuras 6 y 7).

Los resultados obtenidos indican que las plantas de quillay, de los tratamientos de riego L1 y L2, muestran una tendencia a presentar valores de  $\Psi_{pd}$  menos negativos que las plantas de maitén. Siendo esta diferencia de  $\Psi_{pd}$  entre especies significativa estadísticamente sólo en algunas evaluaciones, tanto para el tratamiento L1 como en L2 (Figuras 6 y 7). En el tratamiento de riego L1 las plantas de maitén presentaron  $\Psi_{pd}$  significativamente más negativos que las plantas de quillay a inicio (diciembre 30) y finales de verano (marzo y abril; figura 6). Mientras que, para el tratamiento de riego L2 las plantas de maitén presentaron  $\Psi_{pd}$  significativamente más negativos que las plantas de quillay a principios de enero y abril (figura 7)

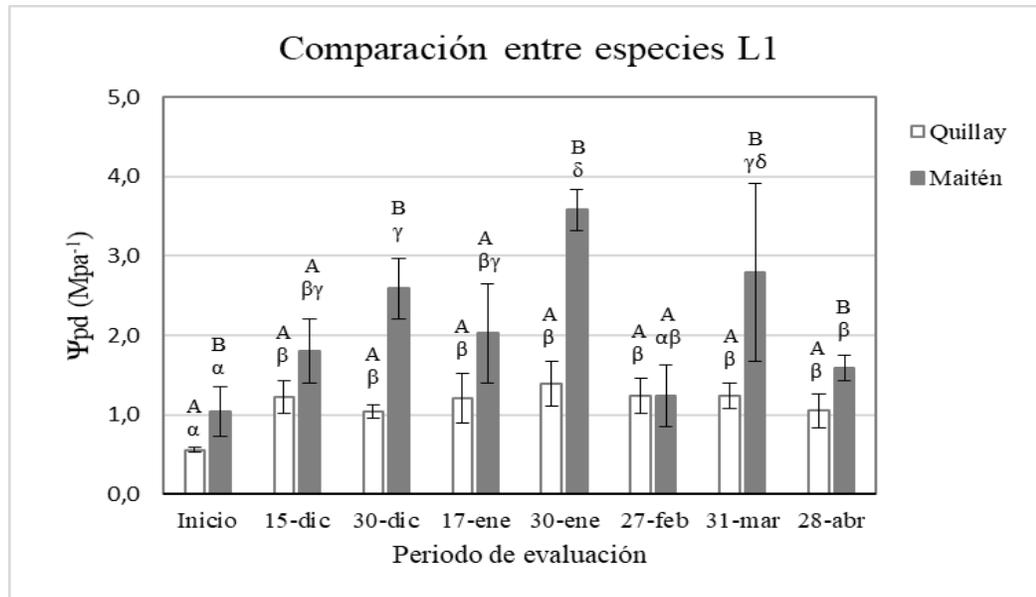


Figura 6. Potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$  MPa) según especie y periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) bajo tratamiento de riego L1: 10 litros por planta, aplicado en un riego mensual. Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especie, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

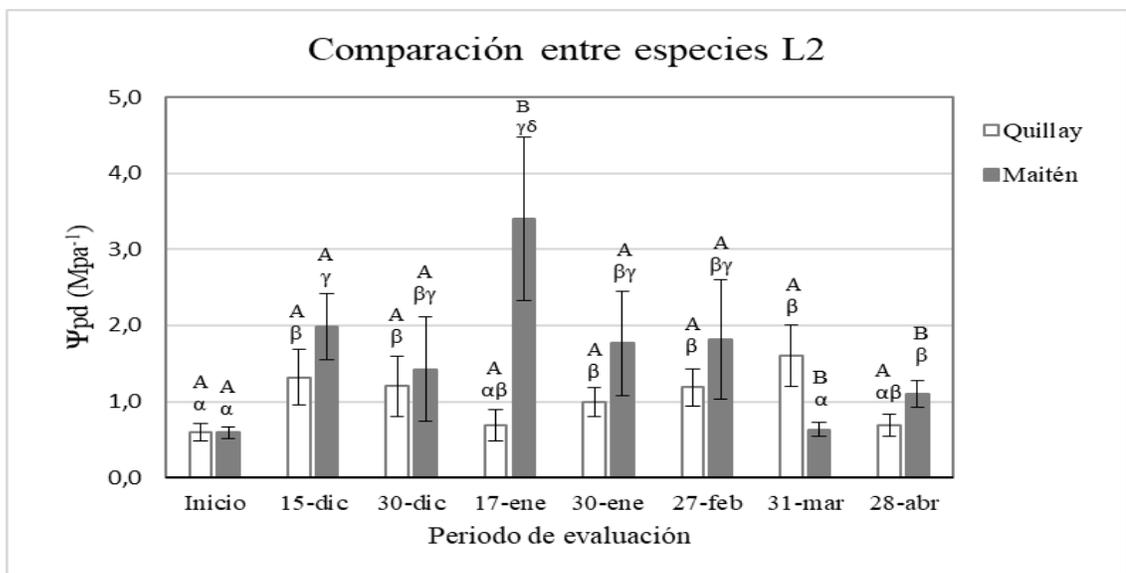


Figura 7. Potencial hídrico a pre-alba ( $\Psi_{pd}$  MPa) según especie y periodo de evaluación (noviembre 2014 a abril 2015) bajo tratamiento de riego L2: 20 litros por planta, aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días. Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especie, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Por otra parte, las diferencias en respuestas hídricas observadas entre las especies estudiadas pueden ser debido a que quillay es una especie más bien plástica, adaptable a una gran variedad de ambientes y se desarrolla sin grandes problemas bajo condiciones semiáridas, mientras que maitén al ser una especie hidrófila requiere una mayor disponibilidad de agua y protección nodriza para su desarrollo (Armesto y Pickett, 1985; Besio, 2011).

## 4.2 Crecimiento

### 4.2.1 Crecimiento en diámetro para quillay

Al inicio del ensayo las plantas de quillay no presentaron diferencias significativas en diámetro a la altura del cuello (DAC), entre tratamientos de riego (figura 8), por lo que no fue necesario el uso de co-variable (DAC inicial) al evaluar el incremento en DAC según tratamiento de riego.

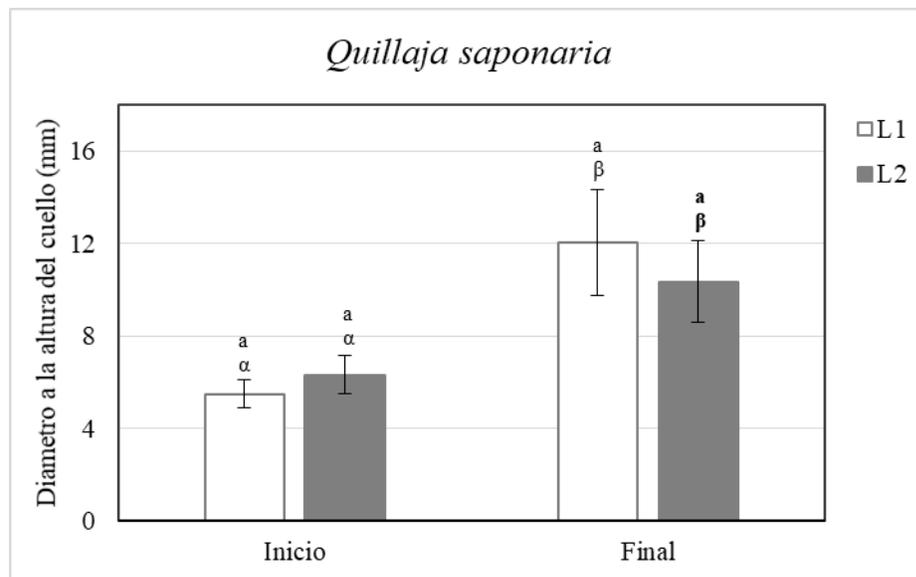


Figura 8. Diámetro a la altura del cuello (DAC mm) para las plantas de quillay, al comienzo y final del ensayo, según tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Al final del ensayo las plantas de quillay no presentaron diferencias significativas en DAC (figura 8), entre los tratamientos de riego L1 (13,3 mm en promedio) y L2 (12 mm en

promedio). En ambos tratamientos existió un incremento significativo del DAC al final del ensayo. Las plantas de quillay del tratamiento L1 presentaron un incremento significativo en DAC de 6,5 mm y L2 de 4 mm en promedio. Estos resultados concuerdan con que las plantas de quillay sólo fueron sometidas a una restricción hídrica moderada a leve, ya que según Luna (2006), Donoso *et al.* (2011) y Petit-Breuilh (2016) las plantas de quillay que son sometidas a restricción hídrica severa experimentan decrecimientos en DAC. Resultados que indican las dosis de riego aplicadas permiten que las plantas de quillay no fueran afectadas en su crecimiento en DAC. Por esta razón, podemos indicar que quillay en el próximo periodo estival podría ser regado con una dosis igual a L1 (10 litros) o incluso aplicar riego sólo en el o los meses de verano que requiera la planta de acuerdo a su estado hídrico.

#### 4.2.2 Crecimiento en diámetro para maitén

Las plantas de maitén en su condición inicial previo inicio de los tratamientos de riego, no presentaron diferencias significativas en DAC (figura 9), por lo que no fue necesario el uso de co-variable (DAC inicial), al evaluar el incremento en DAC según tratamiento de riego, similar a lo que ocurre con las plantas de quillay.

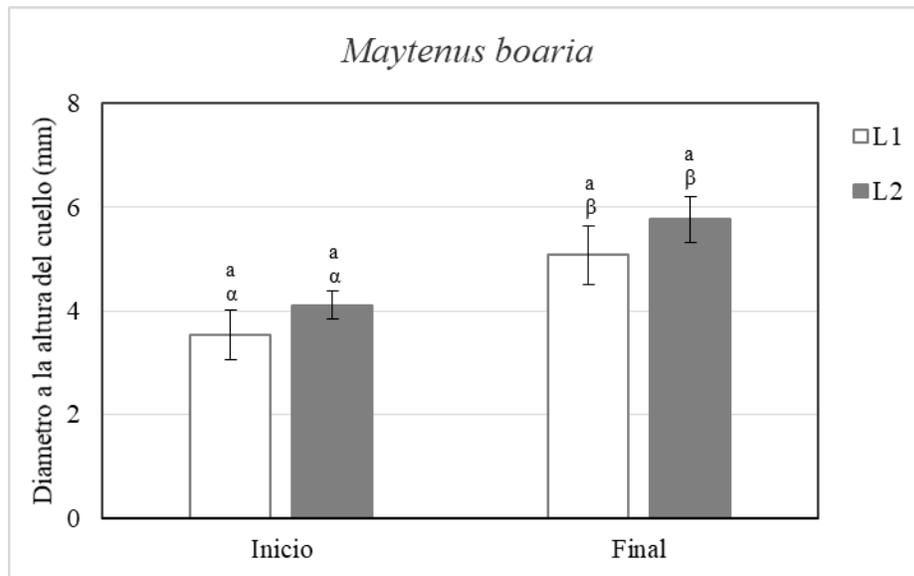


Figura 9. Crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC mm) para las plantas de maitén, al comienzo y final del ensayo y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Al término del ensayo, no se observaron diferencias significativas en DAC entre los tratamientos de riego (L1 y L2) para maitén. No obstante, existen diferencias significativas en DAC entre la evaluación inicial y final para cada tratamiento de riego (figura 9). Las plantas de maitén del tratamiento L2 incrementaron en promedio en DAC 1,65 mm y las del tratamiento L1 incrementaron 1,54 mm en promedio. Los crecimientos en DAC observados podrían indicar que maitén está sometido a una restricción hídrica moderada a severa, ya que si bien sus crecimientos son mínimos las plantas no decrecen como fue observado en otras especies mediterráneas como; *Quercus ilex*, peumo y quillay (Ogaya *et al*, 2003; Aguirre, 2008; Donoso *et al*, 2011), cuando son sometidas a estrés hídrico

#### 4.2.3 Comparación del crecimiento en diámetro entre especies

Al inicio del estudio las plantas de quillay presentan DAC significativamente superiores a las plantas de maitén, por lo que se usó el DAC inicial de cada especie como co-variable al evaluar el DAC final y el incremento en DAC al final del periodo de evaluación. (figura 10).

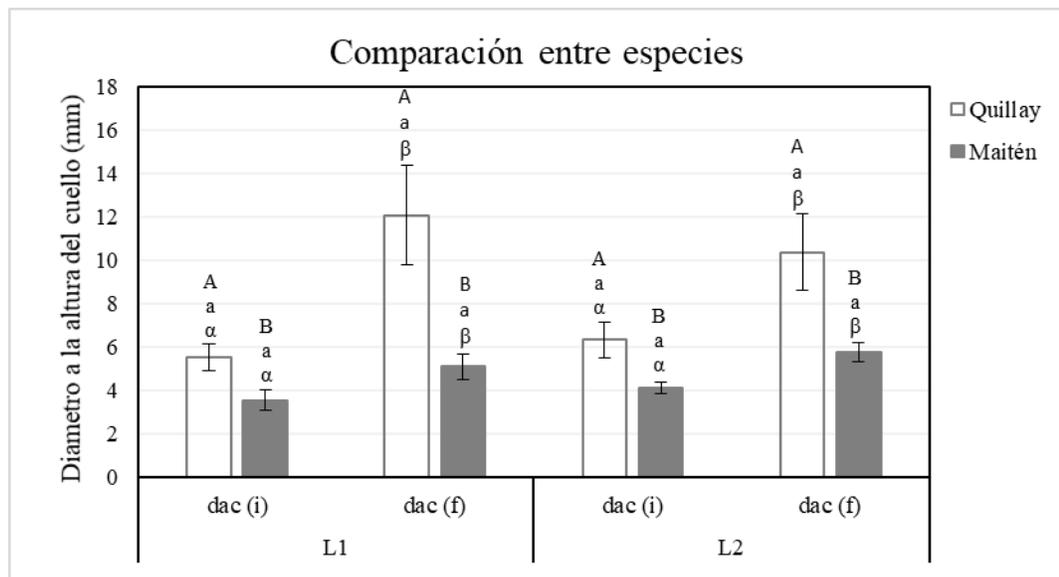


Figura 10. Crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC mm) según especie (quillay y maitén), tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y periodo de evaluación (comienzo y final del ensayo). Valores representan las medias ± error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especie, minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego mientras que letras griegas indican diferencias a significativas entre periodo de evaluación.

Al término del ensayo, se observaron diferencias significativas en DAC entre las plantas de quillay y maitén (figura 10). Los incrementos en DAC también fueron significativos entre especie dentro de cada tratamiento de riego, ya que quillay presentó un incremento mayor a maitén en un 57% para el tratamiento L1 y 44% para el L2. El incremento en DAC de las plantas de quillay fue el doble que el presentado por las plantas de maitén en ambos tratamientos de riego, lo cual se debió a la buena condición hídrica que presentó quillay respecto maitén de acuerdo a los potenciales hídricos obtenidos en el estudio. Además, de las capacidades de crecimiento propias de la especie frente a sequía, tal como señala Becerra *et al.* (2013), en estudios de riego en Puchuncavi, donde indica que quillay mostró mayor tolerancia a la sequía a diferencia de maitén, quien es una especie que demanda más agua, viéndose ambas especies afectadas positivamente en su crecimiento por el riego.

A pesar de las diferencias entre quillay y maitén (figura 10), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos de riego para cada una de las especies (Figuras 8 y 9), ya que tanto quillay como maitén tienen tasas de crecimientos similares en DAC al aplicar el riego L1 o L2, tal como señala Valenzuela (2007) con plantas de quillay, en la comuna de San Pedro, Melipilla donde no se registraron diferencias significativas en DAC al regar con 5 litros mensuales y eliminar el riego. Por esto sería importante considerar si los beneficios logrados al aplicar dosis de riego mayores a 10 litros al mes justifican los costos y el mayor uso del recurso hídrico disponible que se incurren al establecer una forestación, dado que no se obtienen diferencias significativas en el crecimiento en DAC ente los tratamientos de riego aplicados, tanto para quillay como para maitén (figuras 8 y 9).

#### **4.2.4 Crecimiento en longitud para quillay**

Al inicio del ensayo, las plantas de quillay no presentaron diferencias significativas en longitud del tallo, entre los tratamientos de riego (50,3 cm y 46,7 cm para L1 y L2 respectivamente; figura 11), por lo que no fue necesario el uso de la longitud inicial de las plantas como co-variable al evaluar las diferencias en el incremento en longitud según tratamiento de riego.

Las plantas de quillay presentaron incrementos significativos en longitud del tallo, los que fueron cercanos al 50% respecto la medición inicial, en ambos tratamientos de riego (L1 y L2) al final del estudio. Las plantas del tratamiento L1 incrementaron significativamente en 41,7 cm y L2 en 43,1 cm promedio. Al término del periodo de evaluación no se observaron diferencias significativas en longitud del tallo entre tratamientos de riego, alcanzaron valores promedio de 92 cm y 89,9 cm para los tratamientos de riego L1 y L2 respectivamente (figura 11). Situación similar a lo ocurrió en la evaluación del DAC (figura 8).

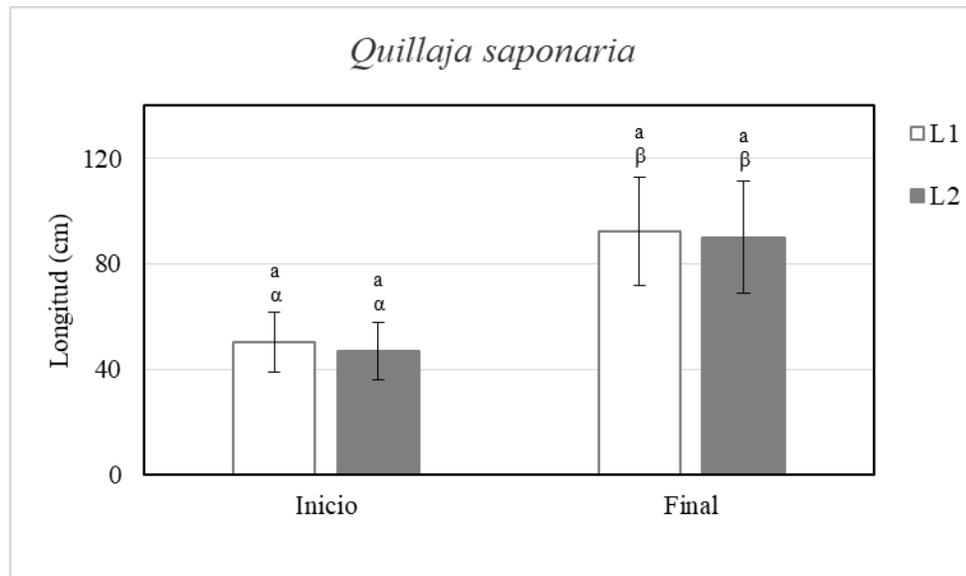


Figura 11. Crecimiento en longitud (cm) para quillay al comienzo y final del ensayo y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Los resultados de crecimiento en DAC y longitud del tallo (figuras 8 y 11), concuerdan con las respuestas hídricas (figuras 2 y 3), de las plantas de quillay, en ambos tratamientos de riego. Señalando que éstas se encuentran bajo una restricción leve a moderada, lo que permite que los aspectos fisiológicos y morfológicos no se vean afectados negativamente por la falta de agua, de acuerdo a Luna (2006), que observó un efecto negativo en el crecimiento longitudinal, en plantas de quillay sometidas a déficit hídrico severo, las que incrementaron sólo 1 cm bajo  $\Psi_{pd}$  de -4,4 MPa.

#### 4.2.5 Crecimiento en longitud para maitén

Las plantas de maitén al inicio del ensayo no presentó diferencias estadísticamente significativas para la variable longitud del tallo entre los tratamientos (L1 y L2), las cuales fueron en promedio, de 37,3 cm y 44,9 cm respectivamente (figura 12), por lo que no se usó la co-variable (longitud inicial del tallo) al evaluar el incremento en longitud de las plantas.

Al término del ensayo no se observaron diferencias significativas en longitud entre los tratamientos de riego, para las plantas de maitén (figura 12) a pesar de estar sometidas a

una restricción hídrica moderada a severa de acuerdo a las respuestas hídricas obtenidas (Figuras 4 y 5). Según Valenzuela (2007), existe influencia positiva del riego en el crecimiento longitudinal de plantas de quillay donde; plantas regadas con 5 litros mensuales alcanzaron valores de crecimiento en longitud significativamente mayores que las plantas no regadas (20 cm y 16 cm respectivamente). Las plantas de maitén presentaron incrementos en longitud del tallo, los cuales no fueron significativos, al estar sometidas bajo una restricción hídrica moderada a severa de acuerdo a las respuestas hídricas (Figuras 4 y 5) obtenidas en el estudio.

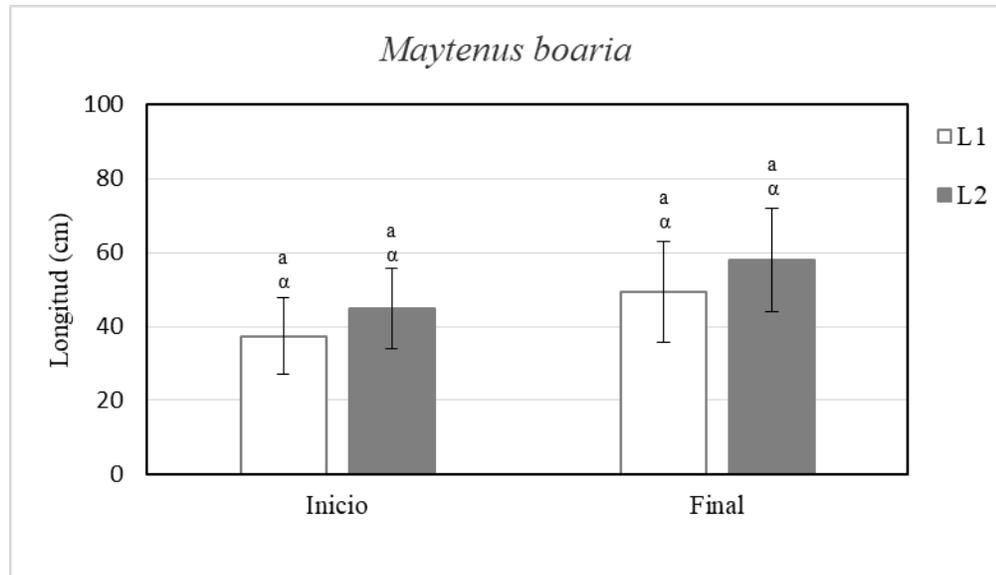


Figura 12. Crecimiento en longitud (cm) para las plantas de maitén, al comienzo y final del ensayo y tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

#### 4.2.6 Comparación del crecimiento en longitud entre especies

Al inicio del estudio, las plantas de quillay y maitén no presentan diferencias significativas en longitud del tallo entre ellas, alcanzando valores promedio de 45 cm en longitud del tallo. Mientras que al final del estudio, existen diferencias significativas en longitud del tallo entre especies según tratamiento de riego (figura 13).

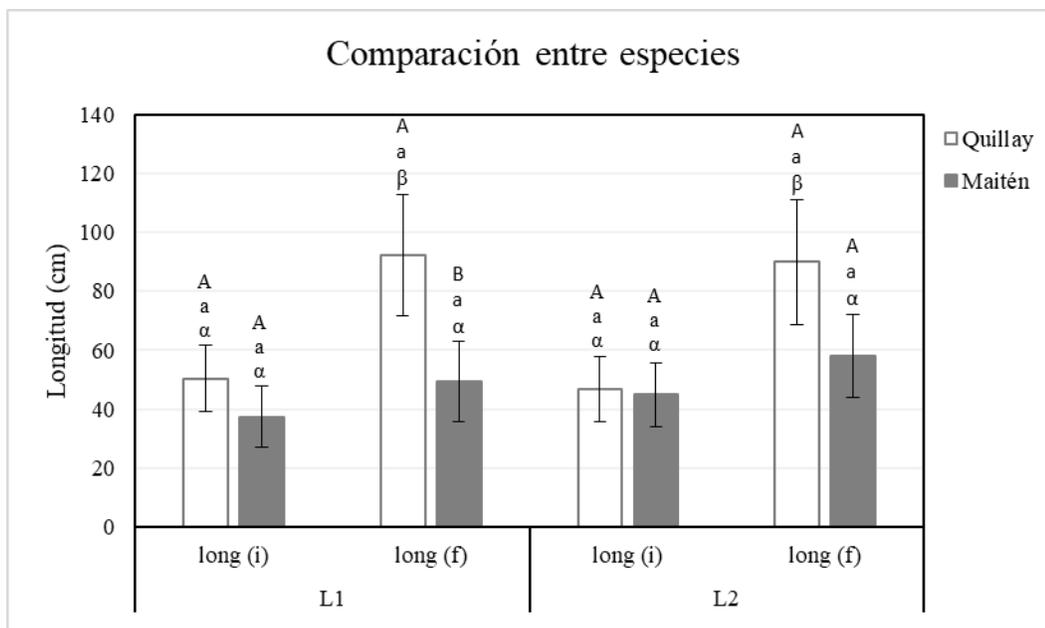


Figura 13. Crecimiento en longitud (cm) según especie (quillay y maitén), tratamiento de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y periodo de evaluación (comienzo y final del ensayo). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especie, minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Si bien existió incremento en DAC y longitud del tallo en las plantas de maitén en ambos tratamientos de riego, los incrementos presentados por las plantas de quillay son significativamente mayores en un 50% respecto a maitén dentro de cada tratamiento (Figuras 10 y 13). Los resultados de crecimiento obtenidos, se deben a que quillay presentó un mejor estado hídrico que maitén en ambos tratamientos de riego (L1 y L2).

Diferentes autores sostienen que una de las señales de estrés en la planta es expresado al detener el crecimiento, siendo la variable más sensible la longitud del tallo, la cual se detiene casi de forma instantánea frente restricción hídrica moderada mientras que para llegar a una reducción del DAC, la planta debe estar enfrentando una restricción hídrica severa, el cual afecte el turgor celular (Luna, 2006; Valenzuela, 2007; Donoso *et al.*, 2011).

### 4.3 Biomasa

#### 4.3.1 Distribución de la biomasa y relación parte aérea/parte radicular para quillay

Las plantas de quillay al inicio del ensayo presentaron una biomasa total de 24,8 g, la cual se distribuyó en los componentes hoja (8,9 g), tallo (11,3 g) y raíz (4,6 g) y su relación de biomasa parte aérea/parte radicular (PA/PR) fue de 4,4 (cuadro 2).

Cuadro 2. Biomasa (g) total y por componentes (hojas, tallos y raíz), y relación parte aérea/parte radicular (PA/PR) para quillay, según tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición (inicial y final). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Quillay	Inicio	Tratamiento	Final
<b>Biomasa Total</b>	24,8 $\pm$ 15,8 $\alpha$	L1	63,1 $\pm$ 24 $\alpha\alpha$
		L2	28,4 $\pm$ 12,9 $\alpha\alpha$
<b>Biomasa Hojas</b>	8,9 $\pm$ 5,6 $\alpha$	L1	22,5 $\pm$ 10,7 $\alpha\alpha$
		L2	11,7 $\pm$ 5,2 $\alpha\alpha$
<b>Biomasa Tallo</b>	11,3 $\pm$ 7,4 $\alpha$	L1	30,8 $\pm$ 15,5 $\alpha\alpha$
		L2	13,2 $\pm$ 6,1 $\alpha\alpha$
<b>Biomasa Raiz</b>	4,6 $\pm$ 2,5 $\alpha$	L1	9,9 $\pm$ 4,2 $\alpha\alpha$
		L2	3,5 $\pm$ 1,4 $\alpha\alpha$
<b>Relación PA/PR</b>	4,4 $\pm$ 2,2 $\alpha$	L1	5,4 $\pm$ 3 $\alpha\alpha$
		L2	7,1 $\pm$ 3,8 $\alpha\alpha$

Los resultados de biomasa para las plantas de quillay, indicaron que no existen diferencias significativas en la acumulación de biomasa total, de hojas, tallo y raíces entre los tratamientos de riego aplicados (L1 y L2), al final del ensayo, ni entre el inicio y final de éste (cuadro 2). No obstante, se puede observar que, las plantas del tratamiento L1 aumentaron en promedio en un 60,5% la biomasa total, 60,4% el componente hoja, 63,3% el componente tallo y 53,5% el componente raíz. Mientras que las plantas de L2 aumentaron en un 12% la biomasa total; 23,9% el componente hoja, 14,4% el componente tallo y el componente raíz disminuyó en un 31,4%.

A pesar de no existir diferencias significativas en los parámetros de crecimiento y biomasa en las plantas de quillay, si se observa una tendencia al incremento de estos parámetros, lo cual se puede deber a que las plantas de quillay, de ambos tratamientos de riego, no fueron sometidas a una restricción hídrica severa de acuerdo a los resultados hídricos obtenidos (figuras 2 y 3; cuadro 2). Luna (2006), señala que las plantas de quillay sometidas a restricción hídrica severa incrementaron la biomasa total en 1,9 g y las plantas del tratamiento testigo (a capacidad de campo) incrementaron en un 59% su biomasa total. Por otro lado, respecto al componente hoja, Donoso *et al*, (2011) describe de forma particular la defoliación ocurrida en quillay ante restricción hídrica severa, llegando a disminuir un 55% respecto la condición inicial, lo que no ocurrió en las plantas de quillay de los tratamientos de riego L1 y L2 (figura 14). Por último, Giliberto y Estay (1978) y Luna (2006), describen el comportamiento de quillay como una especie que favorece la penetración radicular ante la necesidad de conseguir el recurso hídrico, mientras que en el presente estudio se observa una tendencia a la disminución (cuadro 2 y figura 14).

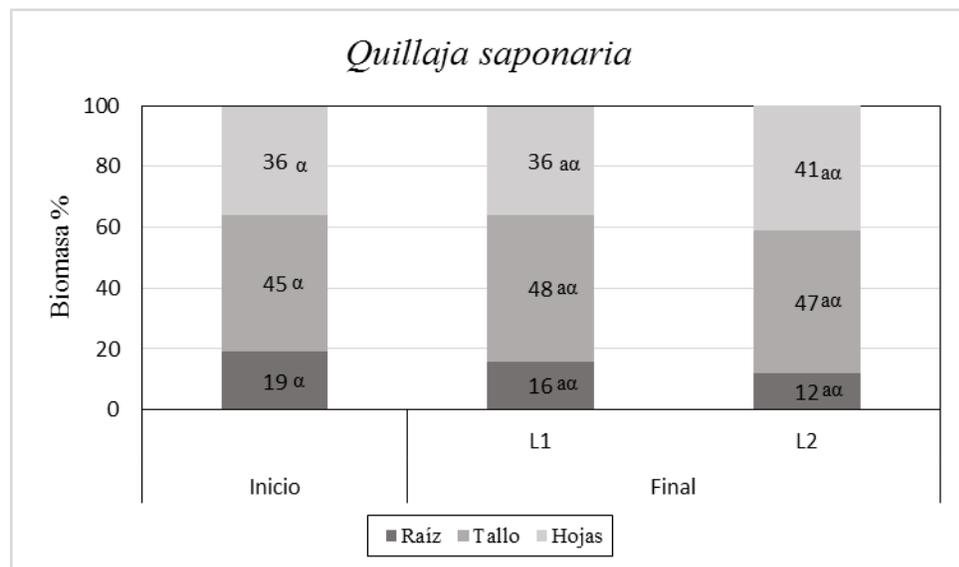


Figura 14. Proporción de la biomasa de hojas, de tallos y de raíces en relación de la biomasa total para quillay, entre tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición. Valores representan la media. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamiento de riego y griegas indican diferencias entre periodo de evaluación.

Al inicio y final del ensayo, las plantas de quillay presentaron una biomasa distribuida principalmente en la parte aérea (figura 14). El análisis de la relación PA/PR indica que al final del ensayo no existen diferencias significativas entre los tratamientos de riego, ni entre el inicio y final (cuadro 2), lo que podría indicar que quillay tiende a ser una especie mas resistente a la sequía y más plástica, tal como lo señala Armesto y Pickett (1985), donde las plantas de ambos tratamientos tienden a favorecer el crecimiento aéreo, incrementando su

relación PA/PR en un 22% en L1 y 61% en L2. Por otro lado, se ha descrito que especies de climas mediterráneos sometidas a restricción hídrica disminuye la relación PA/PR con el fin de favorecer un equilibrio entre su capacidad de absorción de agua y demanda de transpiración, el cual se ejemplifica en una condición de déficit hídrico, donde las plantas favorecen el crecimiento radicular sobre el aéreo (Peña-Rojas *et al*, 2004; Ilabaca, 2008, Barría, 2011), sin embargo, en quillay estas diferencias no son significativas.

#### 4.3.2 Distribución de la biomasa y relación parte aérea/parte radicular para maitén

La biomasa total al inicio del ensayo presentada por las plantas de maitén fue de 5,9 g, distribuida en 1,8 g de hojas, 2,1 g de tallo y 1,9 g de raíz, y una relación PA/PR de 2,1 (cuadro 3).

Cuadro 3. Biomasa (g) total, por componentes (hojas, tallos y raíz) y relación PA/PR para maitén, según tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición (inicial y final). Valores representan las medias  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Maitén	Inicio	Tratamiento	Final
<b>Biomasa Total</b>	5,9 $\pm$ 2,9 $\alpha\alpha$	L1	20,6 $\pm$ 9,5 $a\beta$
		L2	14,9 $\pm$ 4,8 $a\beta$
<b>Biomasa Hojas</b>	1,8 $\pm$ 0,9 $\alpha\alpha$	L1	6,6 $\pm$ 3,1 $a\beta$
		L2	4,3 $\pm$ 1,1 $a\beta$
<b>Biomasa Tallo</b>	2,1 $\pm$ 1,2 $\alpha\alpha$	L1	6,5 $\pm$ 3,6 $\alpha\alpha$
		L2	4,1 $\pm$ 1,4 $\alpha\alpha$
<b>Biomasa Raíz</b>	1,9 $\pm$ 0,7 $\alpha\alpha$	L1	7,5 $\pm$ 2,9 $a\beta$
		L2	6,4 $\pm$ 2,3 $a\beta$
<b>Relación PA/PR</b>	2,1 $\pm$ 0,5 $\alpha\alpha$	L1	1,7 $\pm$ 0,8 $\alpha\alpha$
		L2	1,3 $\pm$ 0,5 $\alpha\alpha$

Las plantas de maitén, en ambos tratamientos de riego, presentaron una biomasa total, de hojas y de raíces al final del estudio significativamente mayor que al inicio (cuadro 3). Al término del ensayo, las plantas de maitén no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de riego aplicados (L1y L2), respecto la acumulación de biomasa total, de hojas, de tallo y de raíces. El incremento promedio en biomasa total para las plantas de maitén del tratamiento L1 fue del 71,4%, el componente hoja aumentó en un 72,7%, 67,7%

el tallo, y el componente raíz aumentó un 74,7%. El tratamiento de riego L2 incrementó la biomasa total en un 60,4%, 58% el componente hoja, 48,8% el componente tallo, y un 70,3% el componente raíz.

En observaciones de campo, las plantas de maitén del tratamiento de riego L1, presentaron una leve defoliación en las ramas laterales, sin una decoloración previa, la cual puede deberse a la restricción hídrica severa a la que fueron expuestas las plantas según los resultados hídricos obtenidos (figura 4).

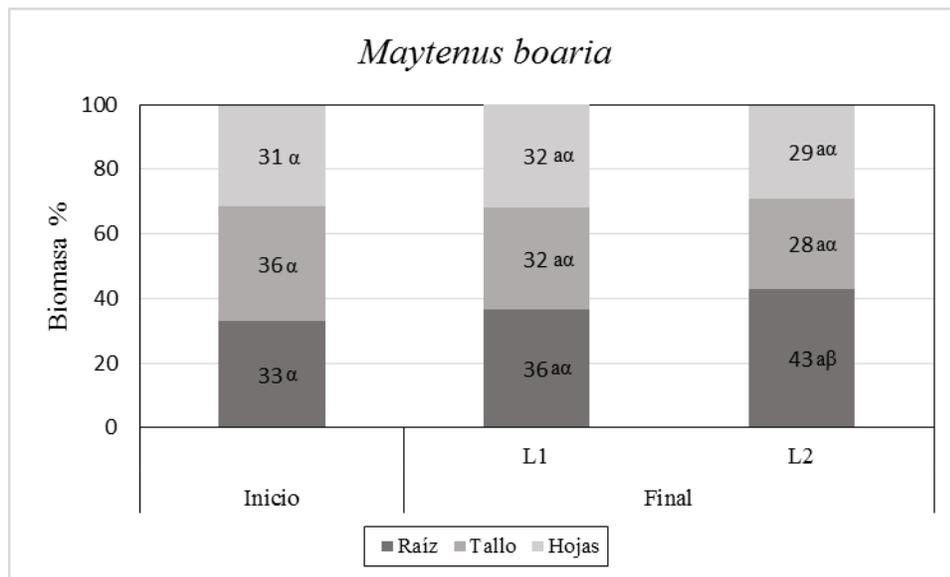


Figura 15. Proporción de la biomasa de hojas, de tallos y de raíces en relación de la biomasa total para maitén, entre tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición. Valores representan la media. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamiento de riego y griegas indican diferencias entre periodo de evaluación.

Las plantas de maitén, no presentaron diferencias significativas en su relación PA/PR entre los tratamientos de riego L1 y L2 al final del ensayo ni entre el inicio y final de éste (cuadro 3). Maitén tiende a disminuir su relación PA/PR durante el periodo estival, disminuyendo un 19% en L1 y 38% en L2, favoreciendo el crecimiento radicular por sobre el aéreo (cuadro 3, figura 15). Esta situación podría deberse a que maitén necesita una mayor dosis de riego para favorecer su crecimiento en altura, ó a que la especie utilice como estrategia favorecer el crecimiento radicular en sus primeros años, tal como ha ocurrido en estudios donde se han sometido especies a condiciones de déficit hídrico los cuales han documentado la disminución de la relación PA/PR como estrategia que favorece la

captación de agua desde los perfiles mas profundos de suelo, tal como ocurre con *Peumus boldus* (Ilabaca, 2008) y *Lithraea caustica* (Guajardo, 2010).

En general, la acumulación de biomasa total en las plantas de maitén fue significativamente menor a la acumulada por los individuos de quillay del tratamiento de riego L1, mientras que en L2 las diferencias no fueron significativas (figura 16). Esto reafirma que quillay con los montos de riego aplicados se encontraba bajo un estrés leve a moderado mientras que maitén se mantuvo bajo un estrés moderado a severo, sobre todo las plantas del tratamiento L1.

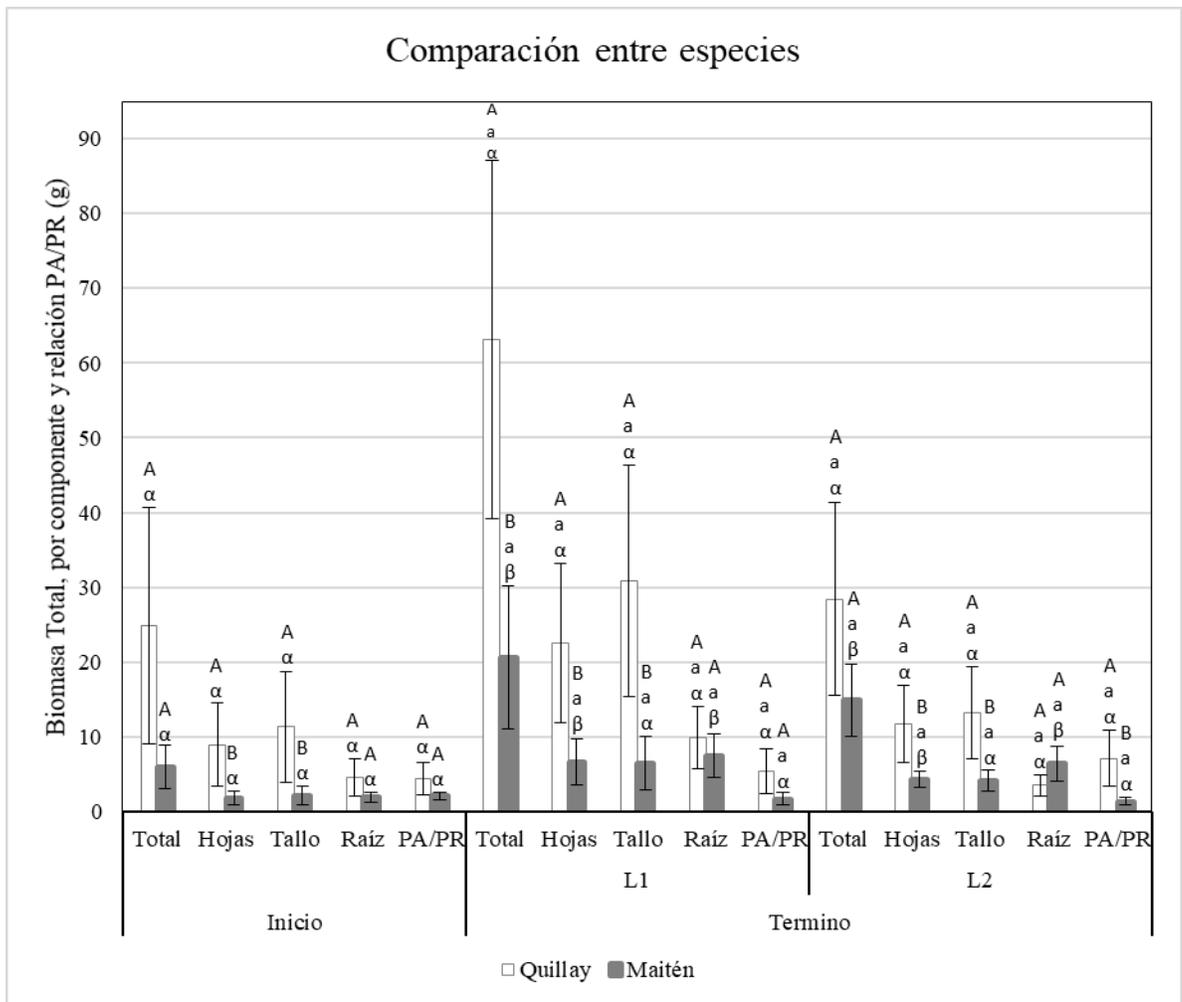


Figura 16. Biomasa (g) total, por componentes (hojas, tallos y raíz) y relación PA/PR, según especie (quillay y maitén), tratamientos de riego (L1: 10 litros por planta aplicado en un riego mensual y L2: 20 litros por planta aplicado en dos riegos de 10 litros cada 15 días) y fechas de medición (inicial y final). Valores representan las medias ± error estándar. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre especies, letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamiento de riego, mientras que letras griegas indican diferencias significativas entre periodo de evaluación.

Si bien, para ambas especies no se observan diferencias estadísticamente significativas en la distribución de biomasa, en sus distintos componentes, para ambos tratamientos de riego aplicados (figura 16), quillay tiende a favorecer el crecimiento en hojas, mientras que maitén muestra una tendencia a favorecer el crecimiento de sus raíces por, sobre el crecimiento aéreo. Dicho comportamiento se asemeja a peumo (Donoso *et al*, 2011), quien ante déficit hídrico tiende a eliminar sus brotes apicales, afectando de la biomasa aérea y el crecimiento longitudinal del tallo.

#### **4.4 Supervivencia**

La supervivencia, para las plantas de quillay y maitén del tratamiento L1, al término del ensayo alcanzaron porcentajes de 100% y 75% respectivamente, y una supervivencia del 90% para en el tratamiento de riego L2 en ambas especies.

Los resultados de supervivencia obtenidos por ambas especies son favorables, para ambos montos de riego aplicados, ya que fueron iguales o superiores al 75%, que es el exigido por la ley 20.283 sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal, donde señala que CONAF dará por aprobada las medidas de compensación al verificar en terreno la supervivencia de al menos el 75% de los individuos comprometidos en el plan de manejo (MINAGRI, 2008).

Fue destacable el comportamiento de quillay en L1 quien mantuvo viva el 100% de sus plantas, y maitén un 75%. Aun así, la dosis de riego no podría ser menor a los 10 litros mensuales, ya que maitén podría verse afectado en sus respuestas morfo-fisiológicas, y disminuir la supervivencia, ya que esta se relaciona con las condiciones hídricas a las que fueron sometidas las plantas durante el ensayo.

Basado en los resultados anteriores se proponen las siguientes recomendaciones:

- Luego del segundo año de plantación, se podría disminuir el riego de las plantas de quillay a 5 litros mensuales en el periodo estival.
- Las plantas de maitén, al segundo año de plantación, no pueden ser regadas con menos de 10 litros mensuales ya que se podría ver afectado su desarrollo morfo-fisiológico y supervivencia.
- Para plantaciones futuras no deberían plantarse en una misma línea de riego las plantas de quillay y maitén, ya que estas especies tendrían requerimientos hídricos diferentes.

## 5. CONCLUSIONES

Las plantas de quillay fueron sometido a una restricción hídrica leve a moderado con ambos tratamientos de riego y las plantas de maitén de ambos tratamientos de riego fueron sometidas a una restricción hídrica moderada a severa, indicando que presentan requerimientos hídricos diferentes.

Los tratamientos de riego aplicados generaron un incremento significativo en diámetro a la altura del cuello (DAC) y longitud del tallo en las plantas de quillay, mientras que en las plantas de maitén ocurrieron incrementos significativos sólo en DAC.

Bajo las condiciones hídricas propuestas, no se vio perjudicada la acumulación de biomasa total y por componente de las plantas de quillay, y se observó que la especie tiende a favorecer el crecimiento aéreo con una tendencia al aumento de la relación parte aérea/ parte radicular (PA/PR). Por otra parte, las plantas de maitén aumentan significativamente la biomasa total, de hojas y raíces, independiente el tratamiento de riego, y en consecuencia, presenta una tendencia a reducir la relación PA/PR frente a restricción hídrica severa.

En las plantas de maitén la reducción del riego no puede ser menor a 10 litros por mes para no afectar negativamente el desarrollo y sobrevivencia de las plantas. Si bien, en las plantas de quillay es posible reducir el riego en un monto inferior a 10 litros por mes, este no es factible de realizar, ya que afectaría a las plantas de maitén que encuentran en la línea de riego.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, E.; ORTIZ, M.; SILVA, H. y SILVA, P. 2003. Estudio de parámetros hídricos foliares en trigo (*Triticum aestivum* L.) y su uso en selección de genotipos resistentes a sequía. Revista Chilena de Historia Natural. 76 (2): 219-233p.

AGUIRRE, A. 2008. Identificación de mecanismos fisiológicos desarrollados por *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Peumo) ante condiciones de sequía. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 33p.

ARMESTO, J.J. y PICKETT STA. 1985. A mechanistic approach to the study of succession in the Chilean matorral. Revista Chilena de Historia Natural 58: 9-17p.

ASBJORNSEN, H.; GOLDSMITH, G.R.; ALVARADO-BARRIENTOS, M.S.; REBEL, K.; VAN OSCH, F.P.; RIETKERK, M.; CHEN, J.; GOTSCH, S.; TOBÓN, C.; GEISSERT, D.R.; GÓMEZ-TAGLE, A.; VACHE K. y DAWSON, T.E. 2011. Ecohydrological advances and applications in plant-water relations research: a review. Journal of Plant Ecology 4(1-2): 3-22p.

AZCON – BIETO, J. y TALÓN, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Segunda edición. Editorial McGraw – Hill Iberoamericana. España. 651p.

BARRÍA, X. 2011. Respuestas fisiológicas y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* Mol. (Quillay), sometidas a distintos niveles de restricción hídrica. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. 29p.

BECERRA, P.; CRUZ, G.; RÍOS, S. y CASTELLI, G. 2013. Importance of irrigation and plant size in the establishment success of different native species in a degraded ecosystem of central Chile. Revista Bosque. 34 (1): 103 – 111p.

BENEDETTI, S. y PERRET, S. 1995. Manual de Forestación. Zonas Áridas y Semiáridas. Manual N° 21. Santiago, Chile. 135p.

BENEDETTI, S.; DELARD, C., y ROACH, F. 2000. Quillay: Una alternativa multipropósito para la zona central. INFOR. Documento divulgativo N° 20. Santiago, Chile. 14p.

BESIO, L.; GONZÁLEZ LOYARTE, M. y PERALTA, I. 2011. Estado de conservación de bosques de *Maytenus boaria* Mol. (maitén) en quebradas cordilleranas (Departamento San Carlos, Mendoza, Argentina). Revista Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Tomo 43(1): 55-73p.

BOYER, J. 1969. Measurement of the water status of plants. Annual Review of Plant Physiology 20: 351-364p.

CABRERA, C. 2008. Análisis de las escorrentías mensuales y anuales en la cuenca del Maipo y la potencial influencia glaciaria en la producción de agua. Memoria Ingeniería Forestal. Talca. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. 114p.

CENTRO DE INFORMACION RECURSOS NATURALES (CIREN), 1997. Estudio agrológico V región, descripciones de suelos. Materiales y símbolos. N°116. Santiago, Chile. Tomo 1, Vol 2.

CRUZ, G. y DUCHENS, L. 2000. Seminario-Taller. El Quillay nueva alternativa económica: Antecedentes para su comercialización, cultivo y manejo forestal. Resultados más importantes obtenidos por el proyecto "Manejo Forestal y Uso del Quillay". FONDEF-CONICYT. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

CRUZ, P.; SCHULZE, C.; HONEYMAN, P. y CABELLO, A. 2006. *Quillaja saponaria* Mol. Quillay. En: DONOSO, C. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Valdivia, Chile. Ediciones Marisa Cuneo. 365-374p.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). Ministerio de Obras Públicas. [En línea] <<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>> [Consultado: 20 Octubre 2016]

DOLLENZ, O. 2003. *Maytenus boaria* Molina (celastraceae) en la Región de Magallanes, Chile. Revista Anales Instituto Patagonia. (31): 87-89p.

DONOSO, C. 1982. Reseña ecológica de los bosques mediterráneos de Chile. *Revista Bosque*. 4(2): 117-146p.

DONOSO, C. 1995. Antecedentes sobre la dinámica de los Bosques del Tipo Forestal Esclerófilo. En: Bosques templados de Chile y Argentina. Tercera edición. Santiago, Chile. 289-302p.

DONOSO, C. y WENDLER, J. 1984. Antecedentes morfológicos y genecológicos de *Maytenus boaria*. *Revista Bosque*. 6 (2): 93-99p.

DONOSO, C.; CABELLO, A. y ESCOBAR, B. 2006. *Maytenus boaria* Mol. Maitén. En: DONOSO, C. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Valdivia, Chile. Ediciones Marisa Cuneo. 365-374p.

DONOSO, S.; PEÑA-ROJAS, K.; PACHECO, C.; LUNA, G. y AGUIRRE, A. 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Revista Bosque*. 32(2): 187-195 p.

DUNCAN, D. 1955. Multiple Range Tests and Multiple F Test. *Biometrics*, 11(1), 1-42p.

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

GILIBERTO, J. y ESTAY, H. 1978 Seasonal water stress in some Chilean matorral shrubs. *Botanical Gazzete*. 139: 236-260p.

GUAJARDO, A. 2010. Respuestas ecofisiológicas de plantas de *Lithraea caustica* (Mol.) Hook et Arn. Sometidas a restricción hídrica controlada. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 29p.

HERRALDE, F. 2000. Estudio integral de las respuestas ecofisiológicas al estrés hídrico: caracterización de variedades de almendro. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, Barcelona, España. 140p.

ILABACA, D. 2008. Respuestas ecofisiológicas desarrolladas por *Puimus boldus* Mol. frente a condiciones de restricción hídrica. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 32p.

LUEBERT, F. y PLISCOFF, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago de Chile. Editorial Universitaria. 316p.

LUNA, G. 2006. Evaluación de parámetros fisiológicos y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* Mol. Bajo condiciones de déficit hídrico. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 35p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAGRI). 2008. Ley N° 20.283 sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal y reglamentos, Julio 2008. 92p.

OGAYA, R.; PEÑUELAS, J.; MARTÍNEZ – VILALTA, J. y MANGIRÓN, M. 2003. Effect of drought on diameter incremento f *Quercus ilex*, *phillyrea latifolia*, and *arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain. *Forest Ecology and Management* 180 175-184p.

REYES, M. 2012. Respuestas hídricas y de crecimiento de *Quillaja saponaria* Mol. y *Lithraea caustica* (Mol.) H. et A, bajo condiciones de riego, en Cerro El Roble, Región Metropolitana. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 40p.

RODRÍGUEZ, R.; MATTHEI, O. y QUEZADA, M. 1983. Flora Arbórea de Chile. Ed. Universidad de Concepción. 408p.

PEÑA-ROJAS, K; ARANDA, X y FLECK, I. 2004. Stomatal limitation to CO<sub>2</sub> assimilation and down-regulation of photosynthesis in *Quercus ilex* resprouts in response to slowly imposed drought. *Tree Physiology* 24: 813–822.

PETIT-BREUILH, A. 2016. Respuestas morfofisiológicas de *Quillaja saponaria* Mol. y *Lithraea caustica* (Mol.) et Arn. a la eliminación paulatina del riego en una plantación, en cerro el roble, Región Metropolitana. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 35p.

SÁNCHEZ-DÍAZ, M. y AGUIRREOLEA, J. 2008. El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo – planta – atmósfera. En: Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición. España. Universitat de Barcelona. 25-38p.

SANTELICES, R. 2005. Desarrollo de una plantación de *Eucalyptus globulus* establecida en primavera con diferentes tratamientos de riego. *Revista Bosque*. 26 (3): 105 –112p.

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA), 2014. Guía para la compensación de biodiversidad en el SEIA. En *Proyectos que se presentan al sistema de evaluación de impacto ambiental*. Disponible en <http://www.sea.gob.cl>.

VALENZUELA, L. 2007. Evaluación de un ensayo de riego y fertilización de Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.), en la comuna de San Pedro, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Memoria Ingeniería Forestal. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 66p.

VALLADARES, F. y NINEMETS, U. 2008. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *The Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 39: 237-57p.

VILLAGROSA, A.; BELLOT, J.; VALLEJO, V. y GIL-PELEGRIN, E. 2003. Cavitation, stomatal conductance, and leaf dieback in seedlings of two co-occurring Mediterranean shrubs during an intense drought. *Journal of Experimental Botany*. 54 (390):2015-2024p.

VITA, A. 1990. Ensayo de reforestación con Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) Illapel. IV Región. *Revista Ciencias Forestales*. 6 (1): 37 – 48p.

TAIZ, L. y ZEIGER, E. 2002. *Plant Physiology* Third edition. University of California. Sinauer associates, Inc., publishers. United States. 690p.