



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

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 para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

ARIEL FELIPE PETIT-BREUILH MARIANGEL

Profesor Guía: Ing. Forestal, Dra. Karen Peña Rojas.

Santiago, Chile

2016

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

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 para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

ARIEL FELIPE PETIT-BREUILH MARIANGEL

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Srta. Karen Peña Rojas	7,0
Prof. Consejero Sr. Sergio Donoso Calderón	6,5
Prof. Consejero Sr. Juan Caldentey Pont	6,5

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco el infinito apoyo de mis padres que siempre han estado junto a mí, entregando sus palabras de apoyo y ayuda durante todo este proceso. Asimismo agradezco a mis hermanas por su confianza, alegría y comprensión ante los altos y bajos que existieron durante todo este camino.

De manera muy especial este trabajo va dedicado a mi abuela quien ha estado siempre pendiente de mí, entregando su ayuda, apoyo, sabiduría y constante preocupación al igual que mis padres.

También agradezco a mis tías y a toda mi familia, por el cariño, apoyo y las risas entregadas, que han sido parte importante para mí.

Además agradezco enormemente a mi profesora guía Karen Peña, por su gran disposición y entrega para atender, comprender y ayudar en las dudas que se presentaron. Del mismo modo agradezco a mis profesores consejeros Sergio Donoso y Juan Caldentey, por sus consejos y disposición a compartir sus conocimientos. A los tres muchas gracias.

Agradezco enormemente el apoyo a María José, quien fue un pilar fundamental durante todo el proceso universitario, quien junto con mis amigos y compañeros (Pablo, Constanza, Nicole, Magda, Diego, Victoria, Anita) llenaron el camino de buenos momentos, entusiasmo, alegrías y risas. Gracias por el apoyo y confianza entregada.

Finalmente les doy las gracias a Marcos, Sebastián y Paula, tres grandes amigos incondicionales, que han entregado mucho más que buenos momentos, ayuda, consejos y confianza durante todo este proceso.

A todos ustedes, que colaboraron directa e indirectamente en el desarrollo de esta memoria, muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN

ABSTRACT

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Déficit hídrico.....	2
1.1.1	Mecanismos de las plantas frente al estrés hídrico	2
1.1.2	Variables que definen el estado hídrico de las plantas.....	3
1.2	Crecimiento	4
1.3	Experiencias asociadas en Chile.....	4
1.4	Objetivos del estudio	5
2.	MATERIAL Y MÉTODO	6
2.1	Material	6
2.1.1	Cerro El Roble.....	6
2.1.1.1	Clima.....	7
2.1.1.2	Vegetación	7
2.1.1.3	Suelos.....	7
2.1.2	Antecedentes de las especies.....	8
2.1.2.1	<i>Quillaja saponaria</i> Mol.	8
2.1.2.2	<i>Lithraea caustica</i> (Mol.).....	8
2.1.3	Material vegetal y condiciones del ensayo.....	9
2.2	Método.....	10
2.2.1	Evaluación de parámetros hídricos foliares	10
2.2.2	Evaluación del crecimiento y sobrevivencia.....	11
2.2.3	Contenido hídrico volumétrico del suelo	11
2.2.4	Análisis de datos	12
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
3.1	Parámetros hídricos foliares	13
3.1.1	Evaluación del potencial hídrico y contenido hídrico relativo a pre-alba.....	13

3.1.1.1	Litre.....	13
3.1.1.2	Quillay	15
3.2	Crecimiento	19
3.2.1	Crecimiento en DAC y altura para litre y quillay	19
3.3	Variables ambientales complementarias	22
3.4	Sobrevivencia	25
4.	CONCLUSIONES	28
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa del área de estudio, donde el área encerrada corresponde a la zona de estudio en Caleu, Comuna de Til Til, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. 6
- Figura 2. Resultados del análisis para litre del potencial hídrico a pre-alba (Ψ_{PD}) para el sector 1 y 2, según período de evaluación (Noviembre 2010 – febrero 2013). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre período de evaluación y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar. 14
- Figura 3. Resultados del análisis del contenido hídrico relativo en porcentajes (CHR%) de litre, para el sector 1 y 2, según período de evaluación (Noviembre 2010 – febrero 2013). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre período de evaluación y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar. 15
- Figura 4. Resultados del análisis para quillay del potencial hídrico a pre-alba (Ψ_{PD}) para el sector 1 y 2, según período de evaluación (Noviembre 2010 – febrero 2013). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre período de evaluación y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar. 16
- Figura 5. Resultados del análisis del contenido hídrico relativo en porcentajes (CHR%) de quillay, para el sector 1 y 2, según período de evaluación (Noviembre 2010 – diciembre 2013). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre período de evaluación y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar. 16
- Figura 6. Resultado del análisis de crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC), donde se utilizó como covariable el DAC inicial: En a), se presentan los valores para *Lithraea caustica* para el sector 1 y 2. En b), se presentan los valores para *Quillaja saponaria* para el sector 1 y 2. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los períodos de evaluación (Julio 2009 – abril 2013) y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar. 20
- Figura 7. Resultado del análisis de crecimiento en altura, donde se utilizó como covariable la altura inicial: En a), se presentan los valores para *Lithraea caustica* para el sector 1 y 2. En b), se presentan los valores para *Quillaja saponaria* para el sector 1 y 2. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los períodos de evaluación (Julio 2009 – abril 2013) y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar. 21
- Figura 8. Resultados del análisis de evaluación del contenido hídrico volumétrico del suelo a 20 cm de profundidad según período de evaluación (Diciembre 2009 – abril 2011). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los períodos de medición. 23

Figura 9. Supervivencia en porcentaje (%) para *Quillaja saponaria*, según sector (Sector 1 y sector 2) y período de evaluación (Diciembre 2009 – abril 2013). Los valores corresponden a las medias de cada una de las mediciones. 25

Figura 10. Supervivencia en porcentaje (%) para *Lithraea caustica*, según sector (Sector 1 y sector 2) y período de evaluación (Diciembre 2009 – abril 2013). Los valores corresponden a las medias de cada una de las mediciones. 26

RESUMEN

Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) y Litre (*Lithraea caustica* Mol.), corresponden a especies endémicas, que crecen en la zona de clima mediterráneo de Chile. Este clima, genera altos niveles de estrés hídrico en los períodos estivales en las especies, lo que provoca modificaciones en las tasas de crecimiento y respuestas fisiológicas.

El objetivo del estudio fue caracterizar las respuestas morfofisiológicas de plantaciones frente a la eliminación paulatina del riego, en dos sectores de Cerro El Roble durante tres períodos estivales. El primer sector (S1) posee una exposición noreste y el segundo sector (S2) una exposición suroeste. Para ello se utilizaron especímenes del bosque esclerófilo (*Quillaja saponaria* Mol. y *Lithraea caustica* Mol.), a las que se les evaluó principalmente el efecto de la eliminación paulatina del riego en períodos de restricción de agua a través de mediciones de potencial hídrico (Ψ_{PD}) y contenido hídrico relativo (CHR%) a pre-alba. El crecimiento de las especies fue evaluado a través del diámetro a la altura del cuello (DAC) y la altura de las plantas, tanto al inicio como término de cada período estival. Además, se evaluó la sobrevivencia de las especies durante todo el período de déficit hídrico.

A medida que aumentó la restricción hídrica, se observó disminuciones del Ψ_{PD} y el CHR% durante los períodos estivales. Los resultados muestran que los procesos de eliminación paulatina del riego si presenta diferencias significativas para todas las variables evaluadas (Ψ_{PD} , CHR%, DAC y altura). Se observaron diferencias entre las especies, sectores y períodos de evaluación. La disponibilidad hídrica del suelo solo demostró diferencias en los períodos de evaluación, donde las máximas diferencias tienen su origen en condiciones netamente estacionales de disponibilidad hídrica.

El crecimiento en DAC y altura durante todo el período de restricción hídrica, mostró diferencias significativas entre especies, sectores y períodos de evaluación. Las mejores respuestas para ambas especies se presentaron en S2, sin embargo entre especies, quillay tiene una mayor respuesta de crecimiento en ambos sectores.

En conclusión, tanto quillay como litre son especies adecuadas para la realización de procesos de recuperación y forestación de zonas con problemas de degradación, ya que tiene mecanismos fisiológicos internos que les permiten soportar las condiciones de estrés en los períodos estivales. La aplicación de procesos de eliminación paulatina de riego permite en estas especies generar acondicionamientos internos suficientes para soportar los períodos de restricción hídrica, sin embargo, la exposición es un factor preponderante al momento de considerar recuperaciones o reforestaciones de zonas con problemas de degradación, dado que la disponibilidad de agua entre las diferentes exposiciones tiene altas variaciones que limitan el establecimiento de las especies, donde para este caso, litre se asocia a exposiciones más limitantes (exposición noreste) y quillay en exposiciones con mayor disponibilidad hídrica (exposición suroeste).

Palabras clave: *Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica*, potencial hídrico, contenido hídrico relativo, sequía, restauración.

ABSTRACT

Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) and Litre (*Lithraea caustica* Mol.) are endemic species, which grows in the mediterranean climate zone of Chile. This climate, generates high levels of water stress in summer periods in species, causing changes in rates of growth and physiological responses.

The aim of the study was to characterize the morphophysiological responses plantations of gradual elimination of irrigation in two sectors of Cerro El Roble for three summer periods. The first sector (S1) has a northeast exposure and the second sector (S2) a southwestern exposure. For this, were used specimens of sclerophyllous forest (*Quillaja saponaria* Mol. and *Lithraea caustica* Mol.), which were mainly assessed the effect of the phasing out of irrigation in periods of water restriction through measurements of pre-dawn water potential were used (Ψ_{PD}) and relative water content (CHR%). The growth of the species was evaluated through the diameter at the height of collar (DAC) and plant height, both at the beginning and at the end of each summer. In addition, the survival of the species was evaluated throughout the period of water deficit.

At higher water stress, was observed decreases in Ψ_{PD} and CHR% during all the summer periods. The results shows that the process of phasing out the irrigation have significant differences for all evaluated variables (Ψ_{PD} , CHR%, DAC and height). Differences between species, sectors and evaluation periods were observed. Soil water availability only presents differences in evaluation periods where maximum differences are based in purely seasonal water availability conditions.

The DAC and height growth throughout the period of water restriction, showed significant differences between species, sectors and evaluation periods. The best responses for both species occurred in S2, however, between species, quillay has greater growth response in both sectors.

Finally, quillay and litre are suitable for implement of restoration processes and afforestation of areas with degradation problems as it has internal physiological mechanisms that allow them to withstand the stress conditions of the species summer periods. The application process of phasing out irrigation allows these species generate enough to withstand periods of water restriction internal conditionings, however, exposure is a major factor when considering recoveries or reforestation of areas with degradation problems, since the availability of water between different exposures has high variations that limit the establishment of the species, which in this case, litre is associated with most limiting exposures (northeast exposure) and exhibitions quillay more water availability (southwest exposure).

Keywords: *Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica*, water potential, relative water content, drought, restoration.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la pérdida y degradación de los ecosistemas naturales está considerada como un grave problema ambiental, esta degradación se ve más acentuada en ecosistemas áridos o semiáridos. Estos abarcan alrededor del 30% de la superficie terrestre, constituyendo en los países en desarrollo casi la mitad de su superficie, donde Chile no es la excepción (Newton y Tejedor, 2011). Pese a esto, estos ecosistemas son de gran importancia biológica a nivel mundial, y son en la actualidad el centro de diversos cultivos agrícolas y de especies de interés para su conservación (Zurayk y Mona, 2004). Al mismo tiempo, estas zonas tienen alta presión antrópica por el uso de leña y forraje para el sustento de comunidades rurales que dependen de estos recursos, lo cual en muchos casos, ha generado prácticas de uso de suelo insostenibles, teniendo como resultado un aumento de la deforestación como de la degradación de estos ecosistemas (Newton y Tejedor, 2011).

Según Maestre (2003), la restauración de las zonas semiáridas presenta numerosos problemas, principalmente a causa de la escasez de recursos fundamentales para la vegetación, principalmente agua y nutrientes. Estos antecedentes generan la necesidad de incorporar información sobre composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas en las actividades de restauración y/o recuperación, dada la marcada heterogeneidad en la distribución de los recursos bióticos y abióticos, los cuales juegan un papel fundamental en el funcionamiento y dinámica de los ecosistemas.

En Chile, la zona bioclimática mediterránea central, conocida por ser un “hotspot” de biodiversidad a nivel mundial, está caracterizada por veranos secos e inviernos húmedos (Arroyo *et al.*, 2008), donde la vegetación está constituida por matorrales y bosque esclerófilo, formando un mosaico que se extiende por laderas y puntos de drenaje (Myers *et al.*, 2000) entre la cuenca del río Aconcagua hasta la cuenca del río Maule (Vita, 1989). En base a esto, la cantidad de recurso hídrico disponible, es un factor que influye en el desarrollo y distribución de las especies vegetales, obligando a estas a desarrollar diversos mecanismos de acondicionamiento que les permitan sobrevivir en condiciones poco favorables.

Estos mecanismos van desde modificaciones morfológicas, como alteraciones en la biomasa foliar y/o radicular, hasta fisiológicos como alteraciones en el potencial hídrico interno. Sin embargo, hay casos en donde los mecanismos para superar a la escases de agua durante cierto período, no son suficientes llegando a causar la muerte del individuo (Valladares, 2004). Por lo tanto, conocer las respuestas morfofisiológicas de las especies frente condiciones de déficit hídrico, constituye hoy en día información importante frente al panorama de cambio climático y restricción de los recursos naturales (Martínez, 2014).

1.1 Déficit hídrico

Cuando existen cambios ambientales que afectan el estado fisiológico o las condiciones óptimas de desarrollo de una planta, se dice que esta se encuentra bajo estrés (Basurto *et al.*, 2008). Estas condiciones varían entre las especies como en sus etapas de desarrollo, siendo en algunas más susceptibles a estrés.

La restricción hídrica, está considerada como el principal factor que regula la actividad y distribución de la vegetación, produciendo tres tipos de estrategias de respuesta: mecanismos de escape, mecanismos para evitarla y mecanismos de tolerancia, los cuales son propios de cada especie (Valladares, 2004). Sin embargo, la adaptación de las especies a tolerar la falta de agua, se refleja en los mecanismos que estas tienen para mantener un adecuado estado hídrico que permita mantener el funcionamiento interno, a medida que el recurso se vuelve cada vez más escaso.

1.1.1 Mecanismos de las plantas frente al estrés hídrico

Los mecanismos de resistencia de una planta a procesos de déficit hídrico, se refieren a aquellos atributos que tiene éstas para evitar los procesos de falta de agua (Chimenti, 2004). Bajo esto, los mecanismos de resistencia a procesos de falta de agua son:

- a) Mecanismo de escape: Presente en plantas de gran plasticidad, con un desarrollo fenológico rápido, que adaptan su ciclo vegetativo y reproductivo a la disponibilidad de recursos, y a las condiciones climáticas (Herralde, 2000). Si bien esto es característico en plantas anuales, aquellas que no poseen un ciclo de vida anual, aprovechan su desarrollo vegetativo, previo al agotamiento de la provisión de agua en el suelo, así como en sus etapas de floración y fructificación (Sierra, 2005).
- b) Mecanismo para evitar: Presente en plantas con modificaciones estructurales y fisiológicas, que permitan retrasar la deshidratación de la planta ante un déficit hídrico, aumentando la captación de agua y/o reduciendo las pérdidas que permitan mantener un turgor celular adecuado (Sierra, 2005).
- c) Mecanismo de tolerancia: este involucra mecanismos fisiológicos y de mantenimiento que permitan mantener la actividad metabólica con bajos potenciales hídricos foliares (Sierra, 2005). Según Turner (1986), estos mecanismos se dividen en los que permiten mantener el turgor celular (por ajuste osmótico o ajuste elástico) y mecanismos que permiten soportar la deshidratación (tolerancia protoplasmática).

1.1.2 Variables que definen el estado hídrico de las plantas

Las respuestas morfo-fisiológicas de las plantas frente a factores ambientales adversos, como lo es el déficit hídrico, son mecanismos que les permiten a la planta sobrevivir bajo estas condiciones (Basurto *et al.*, 2008). Estos mecanismos se ven reflejados en la relación agua-planta-atmosfera a través de la determinación del potencial hídrico de la planta.

El potencial hídrico (Ψ), se refiere a la capacidad de las moléculas de agua para moverse en un sistema particular, o desde un punto de vista energético, corresponde al trabajo que habría que suministrar a una unidad de masa de agua pura ligada al suelo, o a los tejidos de una planta, para llevarla de un estado de unión a un estado de referencia (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Este consta de los siguientes componentes:

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g$$

Donde Ψ_p , Ψ_s , Ψ_m y Ψ_g corresponden al potencial de presión, de solutos, matricial y gravitacional respectivamente. Sin embargo, se debe considerar que para los tejidos vegetales, el potencial mátrico y gravitacional, resultan ser valores insignificantes (Azcón-Bieto y Talón, 2008), por lo que una buena aproximación al potencial hídrico del tejido vegetal es la siguiente:

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_s$$

El potencial de solutos (Ψ_s), siempre es negativo y expresa el efecto de los solutos en la disolución celular, o en términos simples representa la disminución de la capacidad de desplazamiento del agua debido a la presencia de solutos, por lo cual a medida que la concentración de solutos aumenta, el Ψ_s se hace más negativo (García *et al.*, 2006). Mientras que, el potencial de presión (Ψ_p) de valor positivo, representa la presión ejercida por el protoplasto contra la pared celular, la cual puede ir disminuyendo a medida que la célula va perdiendo turgor, hasta poder llegar a cero, situación donde el tejido presenta síntomas de marchitez (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Como variable complementaria al potencial hídrico (Ψ), se tiene el contenido hídrico relativo (CHR%), que representa la cantidad de agua del tejido vegetal en comparación con el agua que podría contener en hidratación completa (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

1.2 Crecimiento

Según Teskey y Hinckley (1986), la falta de agua en la planta, tiene efectos sobre: el crecimiento tanto en diámetro como en altura, reduce la habilidad de ella a resistir otros tipos de estreses, actúa sobre la repartición de carbohidratos, producción de flores y frutos, y otros procesos fisiológicos, por lo cual, se alteran a un nivel estructural el área foliar, posibles incrementos de la tasa de mortalidad hasta el desplazamiento de la especie por otras adaptadas a las nuevas condiciones ambientales. La relación existente entre el estado hídrico con el crecimiento de la planta, según Boyer (1985) se debe casi exclusivamente al incremento en el contenido hídrico celular. En estudios similares, donde especies de cultivos han sido sometidas a estrés hídrico, muestran que a medida que aumenta el estrés hídrico, la tasa de crecimiento se ve afectada negativamente, principalmente por el cierre estomático a la falta de turgor celular (Gonçalves y Sausen, 2010).

1.3 Experiencias asociadas en Chile

Entre las experiencias enfocadas al déficit hídrico, se encuentra la desarrollada por Ilabaca (2008), donde se evaluó a través de un ensayo de déficit hídrico, las respuestas ecofisiológicas de *Peumus boldus* Mol. (boldo) frente a la restricción hídrica, a través de un riego restringido (20% de la capacidad de la maceta) y un riego control (80% de la capacidad de la maceta). Se logró determinar que la especie es idónea para superar períodos severos de restricción hídrica, su capacidad para realizar ajuste elástico bajo estas condiciones y evitar la pérdida de turgencia celular, el efecto negativo sobre el diámetro a la altura del cuello (DAC), el bajo efecto que la restricción hídrica tiene sobre el crecimiento en longitud y finalmente que la relación parte aérea/parte subterránea se ve reducida como estrategia para superar las condiciones hídricas adversas.

Otras experiencias relacionadas con especies del bosque esclerófilo en Chile, muestran un ajuste osmótico de las especies para mantener el turgor celular, junto con variaciones en la biomasa en la relación parte aérea/parte radicular para hacer frente al déficit hídrico. Sin embargo, los mecanismos morfológicos para enfrentar estas condiciones negativas de disponibilidad hídrica, dependen de cada especie (Guajardo, 2010; Barría, 2011).

En cuanto a experiencias de restauración y/o recuperación de bosques mediterráneos en Chile, si bien existen lineamientos y propuestas de restauración de bosques, son bastante reducidas las investigaciones que tienen una puesta en marcha de estas iniciativas. Una de las experiencias más cercanas a la restauración de bosque mediterráneo en la zona central de Chile es: “Restauración de Bosques Esclerófilo en el Valle de Casablanca, Chile Central”, donde el ensayo consistió en un reemplazo de *Eucalyptus globulus* Labill (eucalipto) por especies nativas. Este ensayo se realizó bajo el dosel de una plantación no comercial de Eucalipto de 20 años y bajo árboles de *Acacia caven* Mol. (espino) y en una

zona desprovista de vegetación. Los mayores logros se produjeron con *Quillaja saponaria* Mol. (quillay), donde este alcanzó una sobrevivencia del 73% bajo el dosel cubierto por *Acacia caven*, junto con una sobrevivencia del 67% para *Baccharis linearis* (Ruiz et Pav.) (romerillo). En el sector con *Eucalyptus globulus*, *Baccharis linearis* logro establecer el 58% de sobrevivencia, mientras que colliguay (*Colliguaja odorifera* Mol.) el 40%. Por último, en el sector desprovisto de una cubierta, *Quillaja saponaria* tuvo solo el 10% de sobrevivencia, mientras que *B. linearis* el 40% (Armesto *et al.*, 2007).

1.4 Objetivos del estudio

En base a lo expuesto anteriormente, el objetivo general de esta memoria es evaluar respuestas morfo-fisiológicas y la sobrevivencia de una plantación de *Quillaja saponaria* Mol. y *Lithraea caustica* (Mol.) frente a la eliminación paulatina del riego en sectores degradados del Cerro El Roble.

Para lo cual, los objetivos específicos son:

- Evaluar y comparar las respuestas hídricas (potencial hídrico y contenido hídrico relativo a pre-alba) de *Quillaja saponaria* y *Lithraea caustica* frente a la eliminación paulatina del riego.
- Analizar y comparar el efecto sobre el crecimiento en altura y diámetro a la altura del cuello (DAC), de las dos especies, frente a la eliminación paulatina del riego.
- Determinar y comparar el efecto de la eliminación paulatina del riego sobre la sobrevivencia de *Q. saponaria* y *L. caustica*.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Material

2.1.1 Cerro El Roble

El estudio se realizó en un sector declarado como Santuario de la Naturaleza en el año 2000, por el Decreto Exento 299 del Ministerio de Educación; específicamente en el Cerro El Roble, ubicado en la Cordillera de la Costa, localidad de Caleu, Comuna de Til-Til, Provincia de Chacabuco. Este Santuario posee una superficie de 996,1 ha (Ministerio de Educación, 2000).

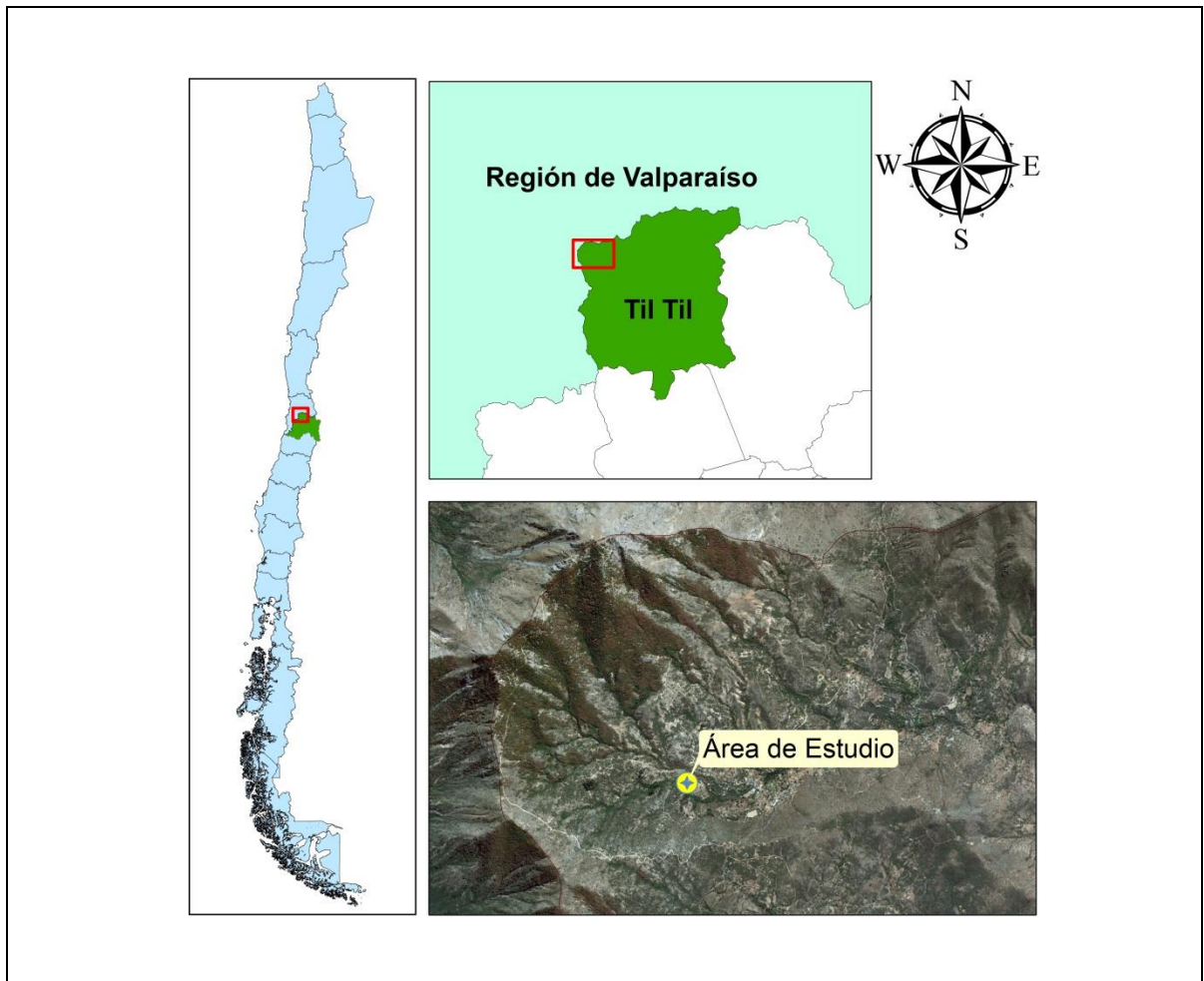


Figura 1. Mapa del área de estudio, donde el área encerrada corresponde a la zona de estudio en Caleu, Comuna de Til Til, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana.

2.1.1.1 Clima

Según Santibáñez y Uribe (1990), la zona correspondiente a Cerro El Roble, se encuentra ubicada en el distrito agroclimático 50.2, a una altitud moderada (2.222 m.s.n.m.) de buena ventilación con veranos frescos e inviernos moderadamente fríos, el cual corresponde a un clima del tipo Templado Mesotermal Inferior Estenotérmico Mediterráneo Semiárido, con temperaturas medias del aire que fluctúan entre los 1,7°C en julio y 26°C en enero. En relación al régimen hídrico, éste se caracteriza por presentar una precipitación media anual de 656 mm, un déficit hídrico medio anual de 812 mm y un período seco que alcanza los siete meses. No obstante, las precipitaciones pueden alcanzar volúmenes superiores en el Cerro El Roble, donde sobre los 1.500 m.s.n.m. estas pueden ser de forma sólida.

2.1.1.2 Vegetación

El Cerro El Roble se caracteriza por presentar vastas zonas de vegetación, donde las formaciones vegetales predominantes son: el Bosque Caducifolio de Santiago, Bosque Esclerófilo Costero, Matorral Espinoso de la Cordillera de la Costa y Matorral Espinoso de las Serranías. Además, se encuentran roblerías relictas de la zona Central de Chile con presencia de *Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) F.M. Vásquez & R.A. Rodr. (roble de Santiago) (CONAMA, 2005). Ahora, según Elórtegui y Moreira (2002), la zona se encuentra marcada principalmente por la presencia del Bosque Laurifolio Higrófilo en la zona superior, junto con Bosque Esclerófilo Andino, el cual es bastante común en toda la extensión de la Cordillera de la Costa; mientras que, en las faldas internas del Cerro El Roble, o zona de sotavento, la vegetación predominante está caracterizada por formaciones de Matorral Espinoso, principalmente a causa de la sombra de lluvia que se produce (CONAMA, 2005).

La clasificación de Espinoza (2002), menciona que el área donde se realizó el estudio, corresponde a la comunidad matorral esclerófilo de “Romerillo”, dominada en un estrato arbustivo por especies como *Gochnatia foliosa* (D. Don) D. Don ex H. et A. (mira-mira), *Baccharis rhomboidalis* J. Rémy (vautro), *B. linearis*, *Satureja gilliesii* (Graham) Briq. (oreganillo), *Escallonia pulverulenta* (Ruiz & Pav.) Pers. (corontillo), *Haplopappus velutinus* J. Rémy (bailahuen) y en un estrato herbáceo *Alstromeria angustifolia* Herbert (flor de gallo) y *Triptilion spinosum* Ruiz & Pav. (siempreviva).

2.1.1.3 Suelos

Las laderas de Cerro El Roble corresponden a un sector altamente erosionado. Sin embargo, los suelos han sido descritos como suelos evolucionados, derivados de rocas graníticas, moderadamente profundos a profundos, con textura franco arcillo arenosa en la

superficie y arenosa en profundidad, donde la profundidad efectiva varía entre los 50 y 120 cm (Espinoza, 2002).

2.1.2 Antecedentes de las especies

2.1.2.1 *Quillaja saponaria* Mol.

Quillaja saponaria (quillay), es un árbol siempreverde de copa ancha redondeada, endémico de Chile, que alcanza hasta los 15 m de altura (CONAF, 2012) y el cual no se encuentra con problemas de conservación bajo el reglamento de clasificación de especies silvestres (RCE) (Ministerio del Medio Ambiente, 2013). *Q. saponaria* comprende una amplia distribución entre las provincias del Elqui y Arauco, creciendo en ambas cordilleras y en el valle central desde el nivel del mar hasta los 1.600 m.s.n.m. (García y Ormazábal, 2008).

El quillay es una especie plástica, que crece bajo condiciones de temperaturas moderadas, soporta calores en veranos y fríos intensos en invierno, tolerando nieve y largos períodos de sequía (Vita, 1974). Se desarrolla en asociación con *Lithraea caustica* y *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (peumo) en zonas de tierras altas y de media altitud (Donoso, 1982). Además, es una especie que si bien se encuentra en la costa, no soporta la salinidad, encontrándose en pendientes hacia el interior del llano central, creciendo en diversos tipos de suelos pobres, secos o cálidos, donde su mayor desarrollo lo alcanza en suelos, ya sean planos o profundos (Vita, 1974), siempre que el exceso de agua y los suelos del tipo lacustres orgánicos no estén presentes (Vita, 1989). Asimismo, es posible encontrarlo en masas puras abiertas, como en mezcla con otras especies como *L. caustica*, *Cryptocarya alba*, *Maytenus boaria* Mol. (maitén) y otras del bosque esclerófilo. En su distribución más austral, se asocia con *Nothofagus sp.* y litre; siendo con esta última especie el clímax en muchos sectores. Dichas asociaciones, se presentan tanto en laderas de exposición norte como sur, donde no esté presente una exposición directa al mar (Vita, 1974).

2.1.2.2 *Lithraea caustica* (Mol.)

Lithraea caustica (litre), corresponde a un árbol siempreverde, muy ramificado, endémico de Chile, que no presenta problemas de conservación según el reglamento de clasificación de especies silvestres (RCE) (Ministerio del Medio Ambiente, 2013). Es posible encontrarlo entre las provincias de Coquimbo y del Bío Bío, desde el nivel del mar hasta los 1.500 m.s.n.m. aproximadamente. Corresponde a una de las especies más frecuentes de los Bosques Esclerófilos (García y Ormazábal, 2008).

L. caustica es una especie que se desarrolla principalmente dentro de los bosques latifoliados siempreverdes esclerófilos, con lluvias invernales y sequía estival pronunciada, en zonas de tierras altas y media altitud, asociado principalmente o en su gran mayoría con quillay y *C. alba* (Donoso, 1982), comprendiendo una distribución dentro de la zona bioclimática de tendencia mediterránea, desde la zona mediterránea árida por el norte, hasta la zona mediterránea perhúmeda en su límite sur (Cabello y Donoso, 2013).

Según Cabello y Donoso (2013), el litre se establece preferentemente en terrenos áridos y secos con preferencia en las laderas de cerros; siendo las condiciones de sitio más favorables para la especie lechos de quebradas y bajos de laderas poco erosionados, de texturas medias a pesadas en la superficie y pesadas en profundidad, pese a esto, también crece en zonas de pie de monte pedregosos.

2.1.3 Material vegetal y condiciones del ensayo

A mediados del año 2009, en las laderas bajas del Cerro El Roble, se seleccionaron dos sectores. El sector uno (S1), ubicado a una altura de 1.266 m.s.n.m., con una exposición noreste, y el sector dos (S2), ubicado a 1.267 m.s.n.m. con una exposición suroeste. Cada uno de ellos posee una superficie cercada y delimitada a 5.000 m² (Reyes, 2012).

En cada sector se establecieron 162 plantas de quillay y 150 plantas de litre; ambas especies fueron plantadas junto con otras especies arbóreas y arbustivas del bosque esclerófilo como *C. alba*, *Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon. (palma chilena), *Colliguaja odorífera* y *Muehlenbeckia hastulata* (J.E. Sm.) I. M. Johnst (quilo). Las plantas de quillay fueron donadas por Natural Response y las de litre por la Corporación Nacional Forestal (CONAF); las cuales, al momento de establecer la plantación, tenían un año (Reyes, 2012).

Las plantas de litre disponían de una altura media de 7,7 cm y un diámetro a la altura del cuello (DAC) promedio de 3,5 mm; mientras que las plantas de quillay tenían una altura inicial promedio de 27 cm, con un DAC de 3,3 mm. Con el fin de asegurar la medición futura del DAC, este fue marcado en cada una de las plantas (Reyes, 2012).

En julio de 2009, se llevó a cabo la plantación de los individuos con una distribución aleatoria en cada uno de los sectores, estableciendo las plantas en casillas de 30 x 30 x 40 cm, y se administró 50g de fertilizante NPK multiuso a cada individuo al momento de la plantación. Junto con esto, a cada una de las plantas, se le instaló un tutor y una malla de protección contra lagomorfos y roedores (Reyes, 2012). Luego de la plantación, se establecieron dos tratamientos, a los que se aplicó riego en forma mensual en la época de verano, diciembre de 2009 hasta abril de 2010. Este consistió para este período, en riegos de 5 y 10 litros mensuales, que equivalen a 56 y 111 mm de precipitación respectivamente durante los meses de verano, tanto para quillay (324 plantas, distribuidas en dos sectores y

con dos montos de riego) como litre (300 plantas, distribuidas en dos sectores y con dos montos de riego), donde la dosis a aplicar fue identificada en los tutores de las mallas de protección y las plantas estaban georeferenciadas. No se consideró un tratamiento testigo sin aplicación de riego, dado que en ensayos de vivero los individuos no logran sobrevivir sin la aplicación de riego, disminuyendo sus potenciales considerablemente al punto de no soportar el estrés del período de verano (Luna, 2006; Barría, 2011).

Dado que el análisis del primer año, indicó que no hubo diferencias significativas en el potencial hídrico entre la aplicación de 5 o 10 litros (Reyes, 2012), en el segundo período estival, a las plantas de quillay y litre, se les aplicó un riego de 5 litros mensuales desde diciembre 2010 a abril 2011. En el tercer período estival, durante los meses de diciembre 2011 a abril 2012, el riego se realizó una sola vez, aplicando 5 litros para cada una de las plantas en enero 2012. Finalmente, en el cuarto período estival (diciembre 2012 a abril 2013), no se aplicó riego a las plantas.

2.2 Método

2.2.1 Evaluación de parámetros hídricos foliares

La evaluación de los parámetros hídricos se realizó mensualmente durante el período de verano (Diciembre a abril) entre los años 2010 y 2013, en seis plantas por especie (quillay y litre) y por sector (S1 y S2), seleccionadas aleatoriamente en cada medición. Para esto, se extrajo una ramilla del tercio superior de cada una de las plantas, teniendo precaución de que tuviera características similares en cuanto a madurez (hojas completamente desarrolladas), tamaño y sanidad de las hojas para la determinación del potencial hídrico foliar a pre-alba (Ψ_{PD}). Las mediciones se realizaron previas al riego correspondiente, utilizando una cámara de presión PMS Instrument modelo 1000.

Posterior a la obtención del Ψ_{PD} se procedió a determinar en cada una de las muestras vegetales el peso fresco (PF), luego éstas fueron rehidratadas, para lo cual, cada muestra vegetal fue introducida en un frasco con agua destilada a 4°C y en oscuridad por 24hrs, y pesadas para determinar el peso hidratado (PH). Por último, cada muestra se puso en bolsas de papel debidamente rotuladas y llevadas al laboratorio, donde se secaron en una estufa de aire forzado a 65°C, hasta lograr un peso constante, obteniendo de esta forma el peso seco (PS). Estos pesos fueron medidos en una balanza de precisión de 0,001g, para calcular el contenido hídrico relativo foliar en porcentaje ($CHR_{PD}\%$), para cada una de las ramillas del tercio superior de cada una de las muestras, utilizando la ecuación desarrollada por Weatherley (1970):

$$\text{CHR}\% = \frac{(\text{PF} - \text{PS})}{(\text{PH} - \text{PS})} * 100$$

En donde PF es el peso fresco del sustrato, PH es el peso hidratado del sustrato, PS es el peso seco del sustrato y CHR% corresponde al contenido hídrico relativo en porcentaje del sustrato.

2.2.2 Evaluación del crecimiento y sobrevivencia

Para la evaluación de los parámetros de crecimiento, al inicio de la plantación se seleccionaron en forma aleatoria 12 plantas por especie y por sector (las que se mantuvieron durante todo el estudio). Con el fin de obtener mediciones con mayor precisión se marcó el diámetro a la altura del cuello (DAC) de todas las plantas. El DAC se midió con un pie de metro digital con precisión de 0,1 mm, mientras que la altura con una cinta métrica de precisión 0,1 cm a partir de la marca realizada en el DAC. Ambas mediciones fueron realizadas al final de cada período estival (marzo-abril) entre los años 2010 y 2013.

Para la determinación de la sobrevivencia de quillay y litre, se evaluaron todas las plantas por especie y sector, al final de cada período estival (marzo-abril) entre los años 2010 y 2013, bajo dos criterios: viva o muerta.

2.2.3 Contenido hídrico volumétrico del suelo

En complemento a los parámetros fisiológicos anteriores, se midió el contenido hídrico volumétrico (CHV%) del suelo con un medidor de humedad (Hidrosence CD620) a 20 cm de profundidad, en cada período de evaluación hídrica de las plantas. Para ello se midió en las seis plantas utilizadas para las evaluaciones hídricas (Ψ_{PD}), por especie y sector, para cada momento de medición durante los años.

Con respecto a los datos obtenidos en el estudio, Se procesaron y analizaron los parámetros hídricos de las plantas y del suelo, los de crecimiento y la sobrevivencia de quillay y litre durante los períodos de diciembre a abril desde 2010 a 2013.

2.2.4 Análisis de datos

El diseño experimental utilizado en el estudio correspondió a un diseño completamente al azar. Para la evaluación de los parámetros hídricos, en el caso del potencial hídrico (Ψ_{PD}) y del contenido hídrico relativo foliar ($CHR_{PD}\%$) a pre-alba, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia correspondiente a $\alpha = 0,05$, para determinar si existían diferencias significativas entre la época de medición, el sector y la especie. Se utilizó la prueba de rango múltiple de Duncan (1955), cuando hubo diferencias.

Para el análisis de los parámetros de crecimiento fue necesario un análisis de medidas repetidas con un nivel de significancia correspondiente a $\alpha = 0,05$, donde se utilizó como covariable el DAC y la altura inicial de las plantas, para determinar si existían diferencias significativas entre la época de medición, los sectores y las especies.

La sobrevivencia de cada especie fue analizada en porcentaje de sobrevivencia en cada especie y sector durante el período de evaluación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Parámetros hídricos foliares

3.1.1 Evaluación del potencial hídrico y contenido hídrico relativo a pre-alba

El análisis estadístico realizado, indica que existen diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre época de medición, sectores (S1 y S2) y especies (litre y quillay) para el potencial hídrico (Ψ_{PD}) y el contenido hídrico relativo (CHR%) a pre-alba (Figura 2, 3, 4 y 5).

3.1.1.1 Litre

El litre presenta Ψ_{PD} (Figura 2) significativamente más negativos en el sector 1 (S1) que en el sector 2 (S2), siendo este último más negativo solo en los meses de marzo 2012 y febrero 2013, donde alcanzo valores de -0,48 MPa y -1,51 MPa respectivamente. Al analizar los sectores por separado, se observa que en S1, los valores fluctúan entre -3,00 MPa (abril 2012) y -0,38 MPa (marzo 2012), donde el potencial hídrico promedio se encuentra en -1,41 MPa. En S2 los valores variaron entre -2,18 MPa (Abril 2012) y -0,38 MPa (noviembre 2010), con un valor promedio de -1,18 MPa. Estos resultados indican una tendencia a que las plantas de litre en el sector S2 se encuentran en mejores condiciones hídricas que las del sector S1, debido a la diferencias físicas de exposición al sol en las que se encuentran los sectores, situación que concuerda con lo planteado por González *et al.* (1996), quienes señalan que en comunidades arbustivas del semiárido central de la depresión del Ebro, la orientación o exposición de la ladera tiene diferencias en parámetros estructurales y de comportamiento hídrico de las especies, sugiriendo un carácter selectivo en el tiempo. De igual forma, un estudio sobre el efecto de la exposición y de la pendiente en algunas propiedades del suelo, flora y vegetación de la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana (Chile) registró que ante condiciones climáticas imperantes, la ladera de exposición norte presenta un mayor grado de aridez respecto de la ladera de exposición sur, debido a la diferencia en la cantidad de radiación solar que recibe cada una de las laderas (Poblete, 2004).

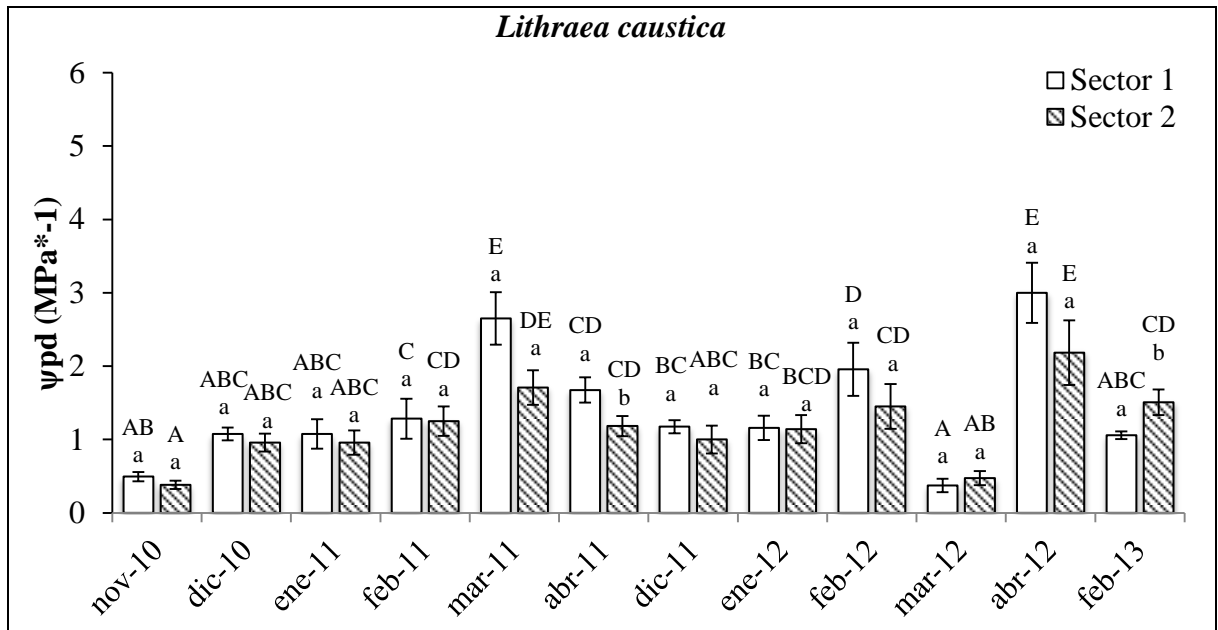


Figura 2. Resultados del análisis para litre del potencial hídrico a pre-alba (Ψ_{PD}) para el sector 1 y 2, según período de evaluación (noviembre 2010 – febrero 2013). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre período de evaluación y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar.

Para el caso del CHR% en litre (Figura 3), este presentó valores mayores en S2, sin embargo, S1 fue superior solo en algunos meses; febrero 2011 (93,0%), marzo 2011 (94,2%), enero 2012 (90,3%), febrero 2012 (92,2%), marzo 2012 (92,0%) y febrero 2013 (90,3%). Para el caso de S1, los valores varían entre un máximo de 96,5% (noviembre 2010) y un mínimo de 86,4% (abril 2012), manteniéndose el promedio del CHR% en 91,9%. En el caso de S2, la media del CHR% se encuentra en los 92,3%, con extremas que fluctúan entre los 96,6% (noviembre 2010) y los 88,3% (marzo 2012). En cuanto a las mayores diferencias observadas entre los sectores, estas se encuentran en el mes de abril 2012, donde S2 es un 5,1% superior a S1, mientras que las menores diferencias están en el mes de noviembre 2010, donde S2 es un 0,08% superior a S1, no obstante, las diferencias para todos los casos no fueron significativas, lo cual sugiere un buen control estomático de las plantas ante la pérdida de agua. Es así, como Goldtein *et al.* (1986), confirma en un estudio de patrones diarios y estacionales en las relaciones hídricas de árboles siempreverdes de la sabana tropical, adaptaciones en el punto de pérdida de turgencia de los estomas durante las épocas secas de las especies más resistentes para evitar la reducción de agua en la planta, lo que es determinante para definir los diferentes ecosistemas que habitan. Del mismo modo coincide Peguero (2008), al estudiar la respuesta de la vegetación mediterránea a distintos factores abióticos de estrés, donde demostró estrategias de evitación caracterizadas por un mantenimiento de altos potenciales hídricos, minimizando la pérdida de agua al efectuar el cierre estomático a altos valores de CHR%, lo que es coincidente con los resultados expuestos.

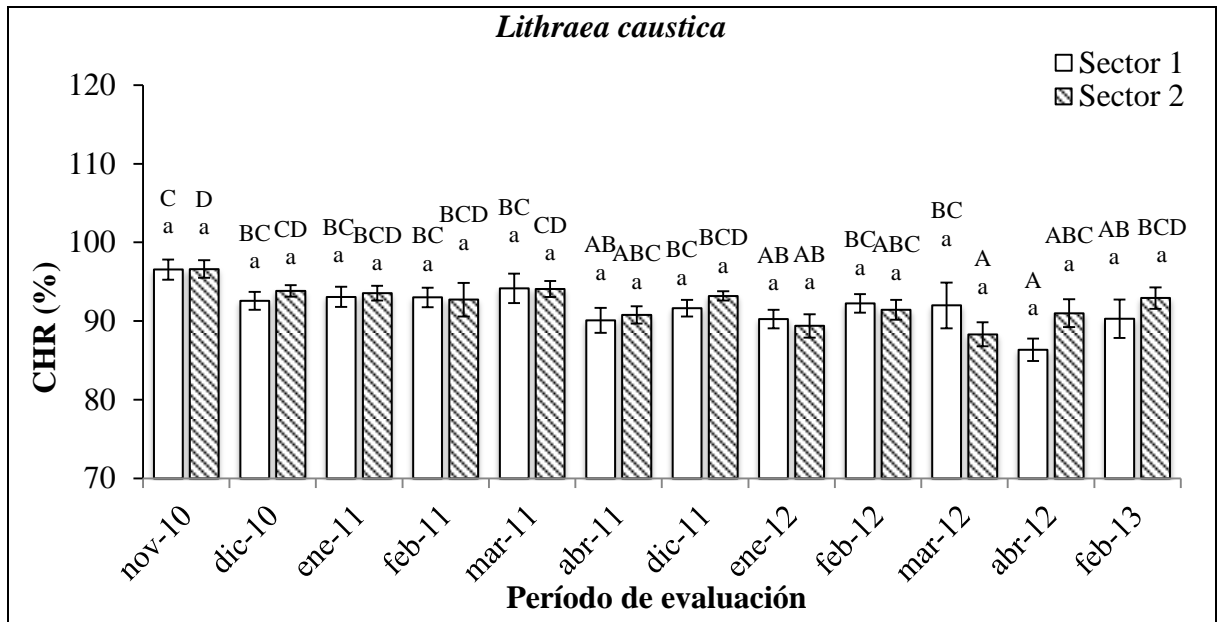


Figura 3. Resultados del análisis del contenido hídrico relativo en porcentajes (CHR%) de litre, para el sector 1 y 2, según período de evaluación (noviembre 2010 – febrero 2013). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre período de evaluación y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar.

3.1.1.2 Quillay

El quillay presenta Ψ_{PD} (Figura 4) significativamente distintos entre S1 y S2, siendo el primero más negativo que S2 a excepción de noviembre 2010 donde alcanzó un valor de -0,59 MPa. En cuanto a una comparación entre los sectores, en el caso de S1, sus valores fluctúan entre -3,73 MPa (abril 2012) y -0,53 MPa (noviembre 2010) con un potencial hídrico promedio de -2,37 MPa; mientras que para S2, las variaciones están entre los -2,98 MPa (abril 2012) y -0,59 MPa (noviembre 2010) con un potencial hídrico promedio de -1,43 MPa. Estos valores indican que en ambos sectores a fines de primavera (noviembre), las plantas de quillay se encuentran hídricamente bien, mientras que a fines de verano-inicios de otoño las plantas alcanzan los valores de potencial hídrico más negativos, debido a la reducción de agua disponible en el suelo por las altas temperaturas y la no existencia de lluvias durante verano, por lo cual una disminución del potencial total del agua en el xilema facilita el ingreso de esta al sistema vascular y por ende el movimiento del agua hacia las hojas en un mecanismo de resistencia al estrés hídrico (Silva y Acevedo, 1993).

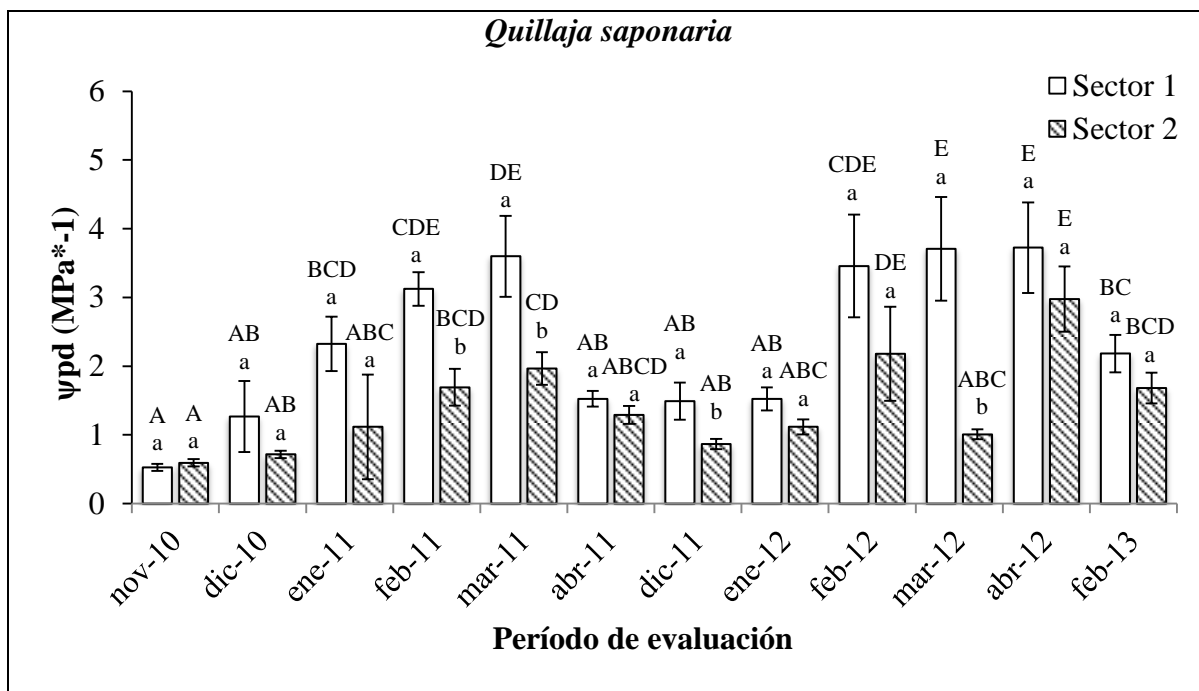


Figura 4. Resultados del análisis para quillay del potencial hídrico a pre-alba (Ψ_{PD}) para el sector 1 y 2, según período de evaluación (noviembre 2010 – febrero 2013). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre período de evaluación y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar.

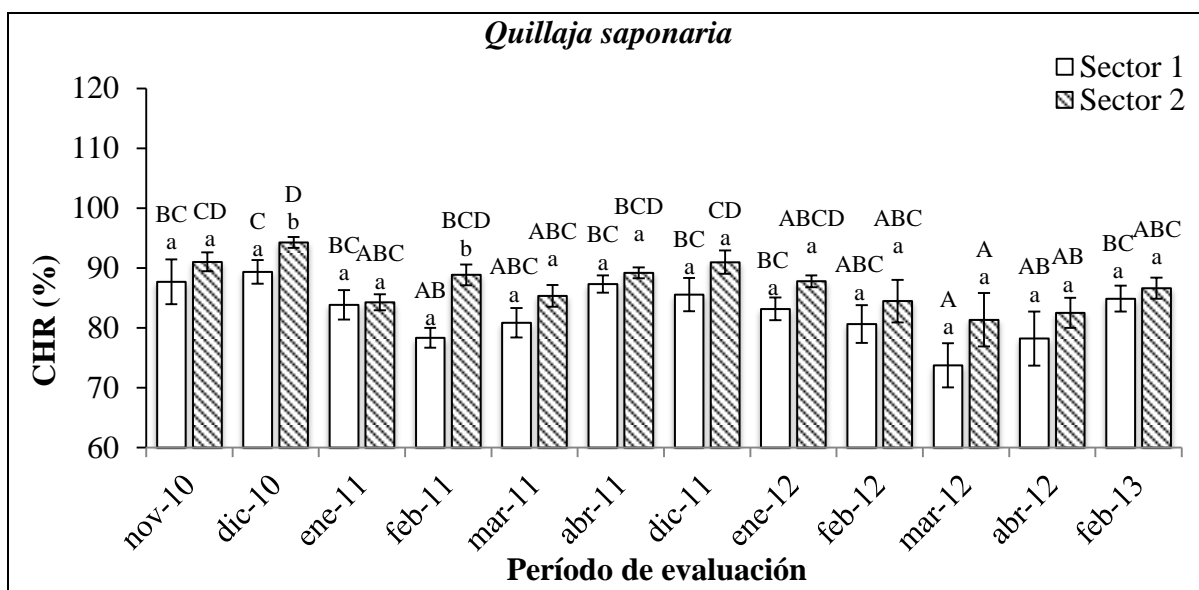


Figura 5. Resultados del análisis del contenido hídrico relativo en porcentajes (CHR%) de quillay, para el sector 1 y 2, según período de evaluación (noviembre 2010 – diciembre 2013). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre período de evaluación y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar.

En cuanto al CHR% (Figura 5), este presenta una tendencia de mayores valores en S2 durante todo el estudio. En cuanto a esta evaluación por sector, en el caso de S1, el CHR% promedio es de 82,8%, con variaciones entre los 89,3% (diciembre 2010) y 73,7% (marzo 2012); mientras que para S2, la media del CHR% está en los 87,2%, variando desde los 81,4% (marzo 2012) hasta los 94,3% (diciembre 2010). Las mayores diferencias entre sectores se establecen en el mes de febrero 2011, donde S2 es 11,9% más alto que S1, por otro lado, las mínimas variaciones se presentaron en el mes de enero 2011, con S2 0,52% superior a S1.

Durante el primer período de evaluación (noviembre 2010 - abril 2011), para ambas especies, hay una clara tendencia del Ψ_{PD} , que puede tener su origen principalmente a causas estacionales como de los sectores, arrojando sus valores menos negativos en el mes de noviembre y los valores más negativos en el mes de marzo, para luego aumentar sus valores en abril 2011, a causa de la disminución de temperaturas y presencia de precipitaciones en la fecha. En cuanto al CHR%, este se mantuvo alto en litre por sobre de quillay durante todo el proceso de eliminación del riego, posiblemente a causa de su estrategia de adaptación a la sequía, donde sus estomas pueden responder rápidamente a los cambios medioambientales, lo que responde a una plasticidad que favorece la sobrevivencia con más éxito por sobre otras especies (Montenegro, 1984) u otra causa es su sistema radicular dual, que le permite un uso efectivo del agua acumulada cerca del suelo después de las lluvias así como del agua percolada disponible por períodos más largos a mayores profundidades (Cabello y Donoso, 2013). La diferencia entre los sectores, es bastante marcada, presentándose en la mayoría de los casos valores más positivos en S2, sector que se encuentra menos expuesto a los efectos de la insolación, mayores valores de humedad del suelo, entre otros factores que han sido documentados por otros estudios (González *et al.*, 2004; Alvear *et al.*, 2011).

Los resultados obtenidos en el ensayo para el litre (Figuras 2 y 3), son concordantes con los referidos por Reyes (2012) en un estudio de campo de respuestas hídricas de litre, donde a través de dos tratamientos de riego, determinó valores de Ψ_{PD} superiores a -2,6 MPa y CHR% superiores a 87%, situación equivalente obtuvo Guajardo (2010), quien a través de un ensayo de vivero de restricción hídrica (tratamientos moderados y severos), obtuvo valores de CHR% superiores al 85% y Ψ_{PD} que alcanzaron los -4,2 MPa. En el caso de quillay (Figuras 4 y 5), si comparamos los resultados obtenidos (Ψ_{PD} que alcanzó los -3,73 MPa y CHR% no inferiores a 73,7%), estos concuerdan con los alcanzados en el ensayo en vivero de restricción hídrica realizado por Luna (2006), donde determinó valores de Ψ_{PD} de -4,4 MPa y CHR% de 74,7% como mínimo, los que también son concordantes con los de Barría (2011) en un estudio de quillay sometido a distintos niveles de restricción hídrica, quien obtuvo valores tope de -3,5 MPa para el caso del Ψ_{PD} y un mínimo de 76% para el caso del CHR%. Por otro lado, los resultados obtenidos en ambas especies concuerdan al compararlos con el estudio de Ilabaca (2008), sobre respuestas de *Peumus boldus* frente a condiciones de estrés hídrico, lo cual sugiere que las especies presentan buenas respuestas de Ψ_{PD} y CHR%, pese al período de restricción hídrica del período estival en el que se encontraron, situación que favorece su utilización para recuperación de zonas secas o con

períodos de restricciones ambientales como sequías prolongadas, altas temperaturas y radiación.

Los resultados logrados (Figuras 2, 3, 4 y 5) durante el período de evaluación apuntan a que ambas especies en cuanto a Ψ_{PD} y CHR%, logran mantener en equilibrio el estatus hídrico en el proceso de eliminación del riego. Estos resultados, son coincidentes por lo demostrados por Silva y Acevedo (1993), quienes exponen que para las relaciones hídricas en una especie de la región mediterránea árida (*Atriplex repanda* Phil.), este presenta un aumento de la resistencia a la pérdida de agua de las plantas acondicionadas al déficit hídrico.

El quillay (Figura 4 y 5) durante el estudio presenta Ψ_{PD} menos negativos y CHR% más altos en S2 al igual que litre (Figura 2 y 3), principalmente debido a las condiciones ambientales que la exposición del sector presenta, lo cual las favorece para evitar los estreses que se ven acentuados en S1. En el caso de S1, al observar los valores, se observan claramente en el Ψ_{PD} un aumento de la negatividad de la variable mientras el período estival avanza, lo que favorece la condición de estrés de las plantas en el sector.

Al comparar ambas especies (Figuras 2, 3, 4, 5), hay una clara diferencia en la respuesta que estas tienen al proceso de restricción hídrica en el que se encuentran durante el proceso de eliminación del riego, sin embargo, estas se caracterizan por poseer mecanismos bastante similares para resistir el estrés hídrico, como lo son la modificación de la relación parte aérea/parte radicular y la mantención de la turgencia celular a través del ajuste osmótico, lo cual concuerda con varios estudios similares en las mismas especies (Barría, 2011; Luna, 2006; Guajardo, 2010; Reyes, 2012). En contraste a esta situación, si comparamos las especies con alguna otra de la misma zona, como lo es *P. boldus*, este en vez de realizar un ajuste osmótico en respuesta a condiciones de restricción hídrica, realiza ajuste elástico, por lo cual, la respuesta frente a las condiciones es mucho más lenta, puesto que necesita mayor cantidad de tiempo para desarrollar dicho mecanismo (Ilabaca, 2008); dicha situación se explica en que el ajuste osmótico realiza un cambio en los niveles de solutos orgánicos para impedir la pérdida de turgencia, mientras que el ajuste elástico, resulta de los cambios en las propiedades de la pared celular.

Tomando en cuenta lo anterior y si consideramos que el ajuste osmótico, consiste en un proceso de acumulación activa de solutos en tejidos de la planta en respuesta a una disminución de la disponibilidad de agua (Acevedo *et al.*, 2003), y que el ajuste elástico se refiere a las modificaciones de la elasticidad del tejido vegetal retardando el proceso de plasmólisis (Azcón-Bieto y Talón, 2008), es que se evidencia la capacidad de ambas especies a la realización de ajuste osmótico por sobre el ajuste elástico. Para el caso de litre, esta situación se evidencia durante cada período de medición a través de la disminución de su Ψ_{PD} pero que aumentan rápidamente a medida que avanza el período estival, junto con un mantenimiento por sobre un 85% del CHR% situación que si bien también ocurre en el caso del Ψ_{PD} en quillay, presenta una mayor variabilidad en su desarrollo, lo que genera

una gran diferencia en el ajuste osmótico de estas especies, situación que concuerda en lo planteado por Luna (2006) y Guajardo (2010). Por lo tanto, al considerar el efecto que tiene el proceso de eliminación paulatina del riego en las especies, estas responden de manera favorable a las disminuciones parciales de los montos de agua durante los períodos estivales bajo los comportamientos hídricos presentados por las especies.

3.2 Crecimiento

En el establecimiento del ensayo (junio 2009), el litre presentó una altura y diámetro a la altura del cuello (DAC) promedio de 7,5 cm y 3,2 mm respectivamente, mientras que para el caso de quillay, su altura y DAC promedio fue de 27,1 cm y 3,4 mm respectivamente. Por otro lado, al inicio del ensayo se determinó que no existían diferencias significativas para las variables altura y diámetro a la altura del cuello (DAC) dentro de cada especie y entre sectores, por lo que se realizó un análisis de medidas repetidas, donde los valores de DAC y altura inicial (julio 2009) fueron utilizados como covariable.

3.2.1 Crecimiento en DAC y altura para litre y quillay

El análisis de medidas repetidas tanto para DAC como altura (Figura 6 y 7), dio como resultados que existen diferencias significativas, tanto entre especies, sectores y período de medición ($P \leq 0,05$) para las dos covariables (Figura 6a y 6b).

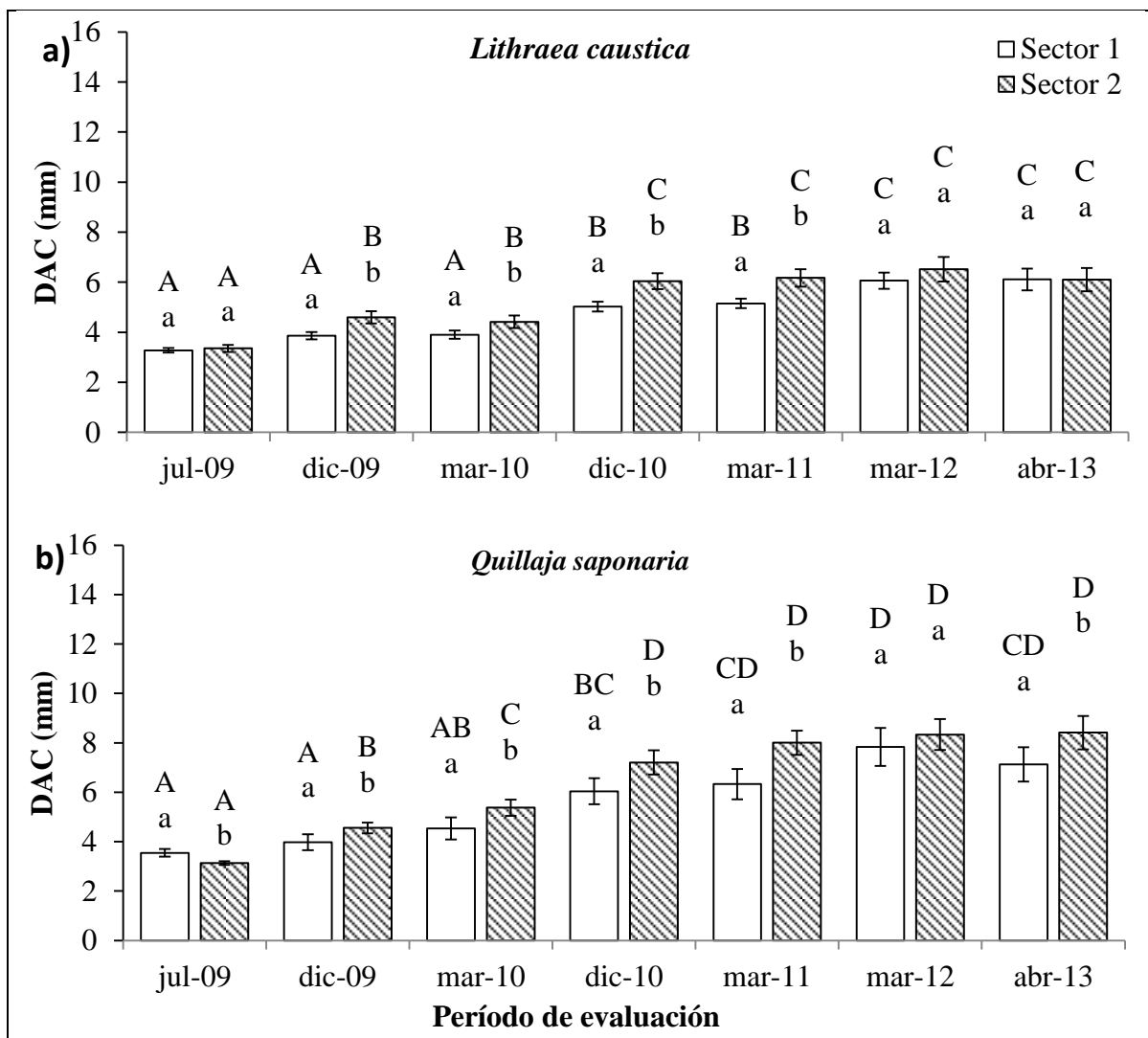


Figura 6. Resultado del análisis de crecimiento en diámetro a la altura del cuello (DAC), donde se utilizó como covariable el DAC inicial: En a), se presentan los valores para *Lithraea caustica* para el sector 1 y 2. En b), se presentan los valores para *Quillaja saponaria* para el sector 1 y 2. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los períodos de evaluación (julio 2009 – abril 2013) y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar.

Las mayores tasas de crecimiento en DAC para quillay y litre (Figuras 6a y 6b) alcanzaron valores de 1,62 y 1,83 cm respectivamente, situación que se presentó para ambas especies en S2, en diciembre 2010. Cabe destacar que al final del ensayo los incrementos medios de quillay fueron superiores a los de litre, sin embargo, al comparar los sectores, quedo en evidencia que S2 presenta en promedio un crecimiento de 0,64 cm superior a S1. Por otro lado, se considera que el DAC es sensible al déficit hídrico, puesto que durante la eliminación paulatina del riego durante todo el período de evaluación, las tasas de crecimiento en DAC fueron cada vez menores.

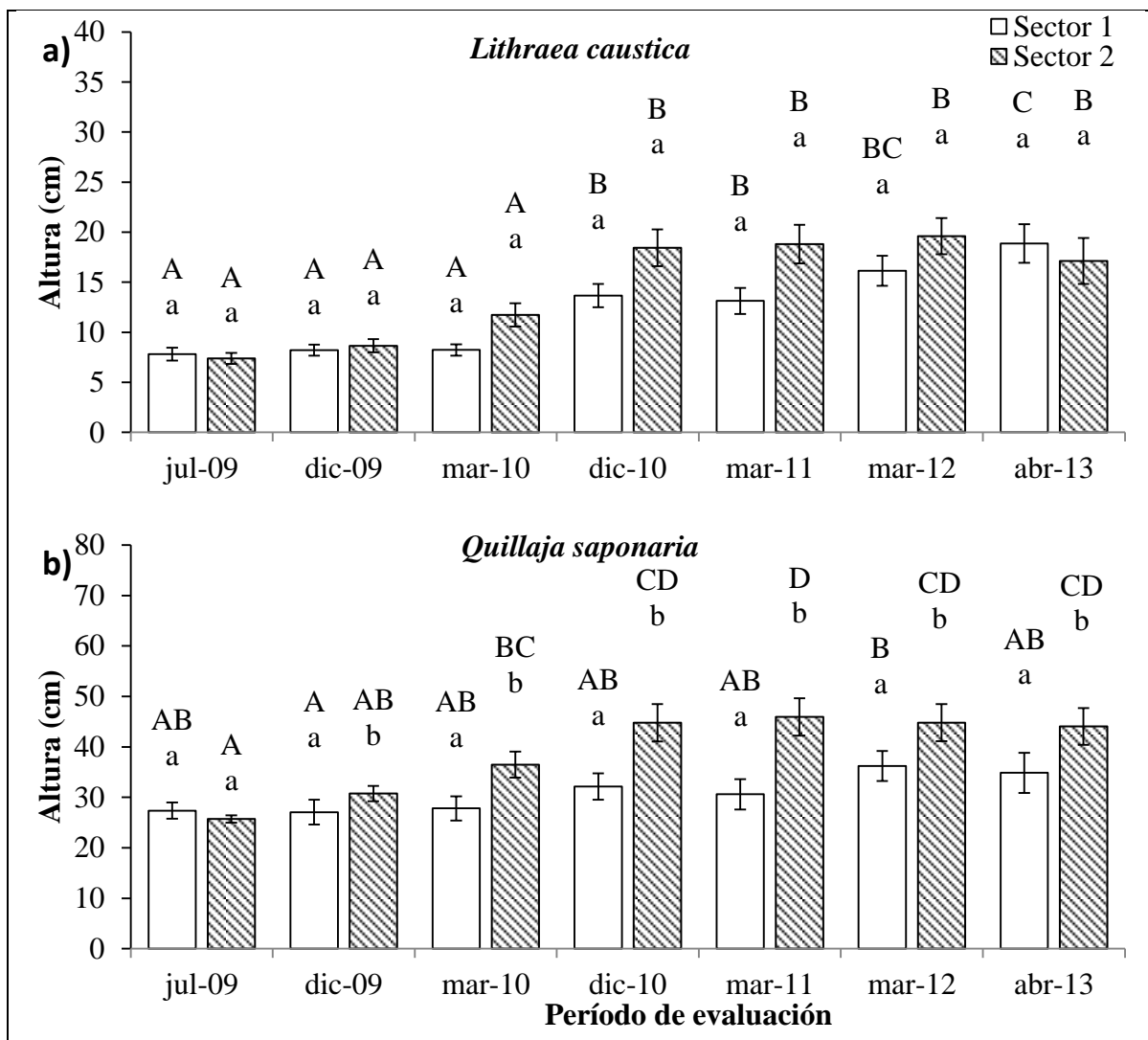


Figura 7. Resultado del análisis de crecimiento en altura, donde se utilizó como covariable la altura inicial: En a), se presentan los valores para *Lithraea caustica* para el sector 1 y 2. En b), se presentan los valores para *Quillaja saponaria* para el sector 1 y 2. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los períodos de evaluación (julio 2009 – abril 2013) y letras minúsculas indican diferencias significativas entre sectores. Valores corresponden a las medias \pm error estándar.

Para el caso de la altura tanto en litre con en quillay (Figuras 7a y 7b), se repite un patrón bastante similar a lo descrito anteriormente con el DAC, donde los mayores incrementos en altura para las especies se lograron en S2, siendo quillay nuevamente superior a litre con valores de 8,28 y 6,71 cm respectivamente, situación que ocurre en el período de evaluación correspondiente a diciembre de 2010. En cuanto a los crecimientos finales, los mayores se lograron en S2 para el caso de quillay con diferencias entre los sectores de 9,18 cm en promedio. Mientras que para el caso de litre, las mayores alturas promedios fueron alcanzadas en S1, con una diferencia de 1,73cm con S2, situación que concuerda con lo descrito en el punto anterior. Cabe destacar, que a partir de diciembre de 2010, los

incrementos en altura presentan diferencias significativas en crecimiento con respecto a los períodos de evaluación anteriores, las cuales se observan principalmente en S2, evidenciándose un menor incremento con respecto a S1.

Pese a que los incrementos generales tanto de quillay y litre en DAC y altura son positivos, las disminuciones en crecimiento que se observan, se deben a la disminución de sus contenidos hídricos relativo, situación que ha sido evidenciada por varios autores (Browning *et al.*, 1971; Ilabaca, 2008; Klepper y Molz, 1972) al evaluar el comportamiento de especies sometidas a procesos de sequía o limitación del aporte hídrico. Ogaya *et al.* (2003) dilucidaron en *Quercus ilex* L. (encina), *Arbutus unedo* L. (madroño) y *Phillyrea latifolia* L. (labiérnago) sometidos a restricción hídrica, una reducción significativa de las tasas de crecimiento en DAC de las primeras dos especies en comparación con *Phillyrea latifolia*, que no presentó diferencias entre el tratamiento control y el expuesto al período de sequía.

Las alturas responden de manera similar al comportamiento del DAC, como en los casos de *Ceratonia siliqua* L. (algarrobo), quillay y peumo (Lo Gullo *et al.*, 2003; Barría, 2011; Aguirre, 2008), donde se demuestra una disminución de los crecimientos en altura y para el caso de *Ceratonia siliqua* un cese del crecimiento al encontrarse en situaciones de restricción hídrica severa, en comparación con los tratamientos control. Otros estudios directamente relacionados con quillay y litre, muestran adaptaciones morfológicas como disminución de su parte aérea (DAC y altura) al incrementar las condiciones de sequía (Luna, 2006; Guajardo, 2010), lo cual concuerda con los resultados obtenidos.

3.3 Variables ambientales complementarias

Para el contenido hídrico volumétrico (CHV%), el análisis estadístico con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ indicó que existen diferencias significativas entre los períodos de medición, mientras que las especies (quillay y litre) y sectores (S1 y S2), no presentan diferencias significativas (Figura 8).

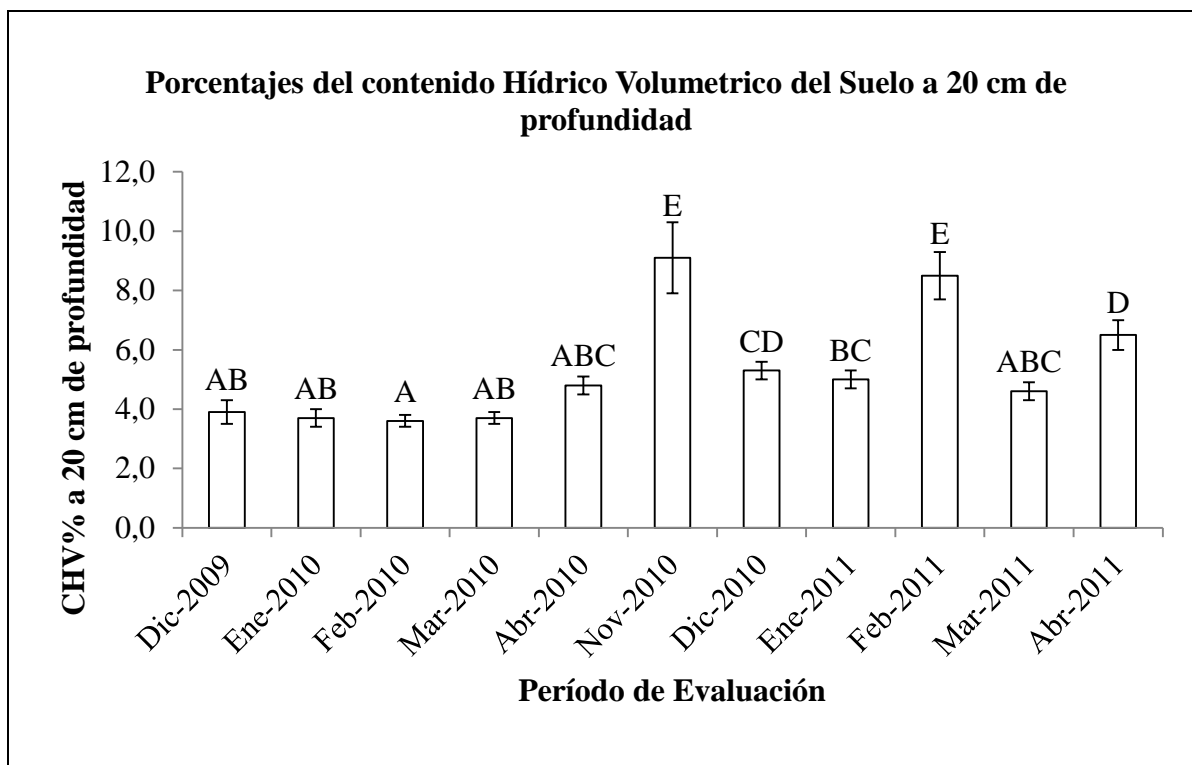


Figura 8. Resultados del análisis de evaluación del contenido hídrico volumétrico del suelo a 20 cm de profundidad según período de evaluación (diciembre 2009 – abril 2011). Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre los períodos de medición.

El CHV% a 20 cm de profundidad (Figura 8) presenta tanto en noviembre 2010 como febrero 2011 altos valores a causa de precipitaciones, lo que explica sus altos valores con respecto al resto de las evaluaciones. Mientras que, las mayores diferencias se encuentran a partir de noviembre 2010 hasta el término de las evaluaciones, donde las máximas fluctuaciones se presentan entre noviembre 2010 (9,1%) y febrero 2010 (3,6%). Estas diferencias pueden deberse a condiciones netamente estacionales, donde en los períodos de mayor restricción de agua el suelo pierde con mayor rapidez su nivel hídrico, principalmente debido a la demanda atmosférica que se presenta en los meses de verano; situación similar demuestran Giráldez *et al.* (1999), donde en un estudio sobre la evaporación del agua del suelo bajo control atmosférico, demuestra que la evaporación del contenido hídrico del suelo, depende del tipo de suelo, pero principalmente de la demanda evaporativa, observando que el suelo subyacente a la superficie, al no poder satisfacer las elevadas demandas evaporativas en la superficie del suelo, causa el rápido desecado de ésta, en una relación casi lineal con el tiempo; a su vez también menciona que a bajas demandas evaporativas el suelo tarda más en desecarse por el aporte de agua por parte de las capas más profundas, las que juegan un papel importante en el balance de la capa superficial. Este último antecedente, fundamenta el crecimiento radicular en profundidad para así lograr disponer de un mayor contenido hídrico, situación que es documentada por varios autores en sus estudios (Luna, 2006; Ilabaca, 2008; Guajardo, 2010; Barría, 2011), donde mencionan un aumento del crecimiento radicular por sobre el aéreo en busca de

mayores contenidos hídricos como respuesta a la falta de agua que se presenta en la superficie del suelo.

Así mismo Morales (2011), observa que los contenidos hídricos del suelo en un raleo de vástagos de *Nothofagus macrocarpa* se ven incrementados conforme aumenta la profundidad en el suelo, mientras que a menores profundidades, los potenciales hídricos se tornan más negativos, debido principalmente al incremento de la radiación incidente, lo cual debe su comportamiento más a las pérdidas por evaporación que a efectos de las especies y el raleo.

La hidratación en las plantas es una condición esencial para el funcionamiento adecuado de todos los procesos metabólicos que se ejecutan dentro del organismo, dado que la realización de estos se lleva a cabo en un medio acuoso (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Pese a la tolerancia de algunas especies de clima mediterráneo a la sequía, el marchitamiento en estas puede presentarse de igual forma cuando la temporada de restricción hídrica se prolonga, más aún cuando las condiciones pluviométricas son bajas o con condiciones muy irregulares, lo que limita el crecimiento de la planta (Squella *et al.*, 1985). Es por esto que las plantas están continuamente absorbiendo agua a través de las raíces y perdiéndola por las hojas, siempre y cuando el potencial hídrico sea más negativo que el del suelo, favoreciendo el flujo de agua hacia la planta lo que permite mantener sus procesos metabólicos junto con sus procesos fotosintéticos para mantener el crecimiento de la especie (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Dado lo anterior, es que al observar el CHV% a 20 cm de profundidad (Figura 8) y al compararlo con los crecimientos en DAC (Figura 6) y altura (Figura 7) tanto de quillay como de litre, queda en evidencia que a mayores CHV% existen mayores crecimientos de las especies, lo que a su vez se respalda con altos CHR% (Figuras 3 y 5) y bajos Ψ_{PD} (Figura 2 y 4), situación que implica una mayor hidratación de la planta.

Internamente, el contenido hídrico de la planta tiene efectos en el crecimiento y desarrollo de la especie dado que actúa como constituyente, solvente, reaccionante, responsable de la turgencia celular y regulador de la temperatura (CIAT, 1991). Por lo cual al presentarse mayores contenidos de agua a nivel celular, se favorece el intercambio gaseoso, junto con los procesos fotosintéticos y metabólicos internos, que desencadenan procesos que tienen efectos tanto en el crecimiento celular como en otros procesos internos (Taiz y Zeiger, 2002).

Diversos estudios han demostrado que las limitaciones hídricas en la planta tienen efectos en el crecimiento (Becerra *et al.*, 2013; Reyes, 2012; Luna, 2006; Serrano 1992), no obstante, dichos efectos tienen su origen en reducciones de la turgencia de los estomas, que conlleva reducciones en las tasas de intercambio gaseoso como de transpiración, lo que se traduce en bajas tasas fotosintéticas y aumentos de la temperatura interna de la planta que

genera ralentizaciones de los procesos metabólicos internos, hasta su inhibición (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Por lo tanto, sobre la base de lo anterior es que se desprende una relación entre el intercambio gaseoso y las limitaciones hídricas, tal como lo observa Morales (2012) en su estudio de limitaciones fotosintéticas bajo distintas disponibilidades hídricas y lumínicas.

3.4 Sobrevivencia

Al comenzar el proceso de eliminación paulatina del riego en diciembre 2009, la sobrevivencia de quillay alcanzó valores promedios de 91,6% y 98,1% para el sector 1 (S1) y sector 2 (S2) respectivamente, hasta llegar a valores finales en abril 2013 de 68,7% en el caso de S1 y 77,5% en S2, donde este último siempre se mantuvo con valores superiores a S1 (Figura 9).

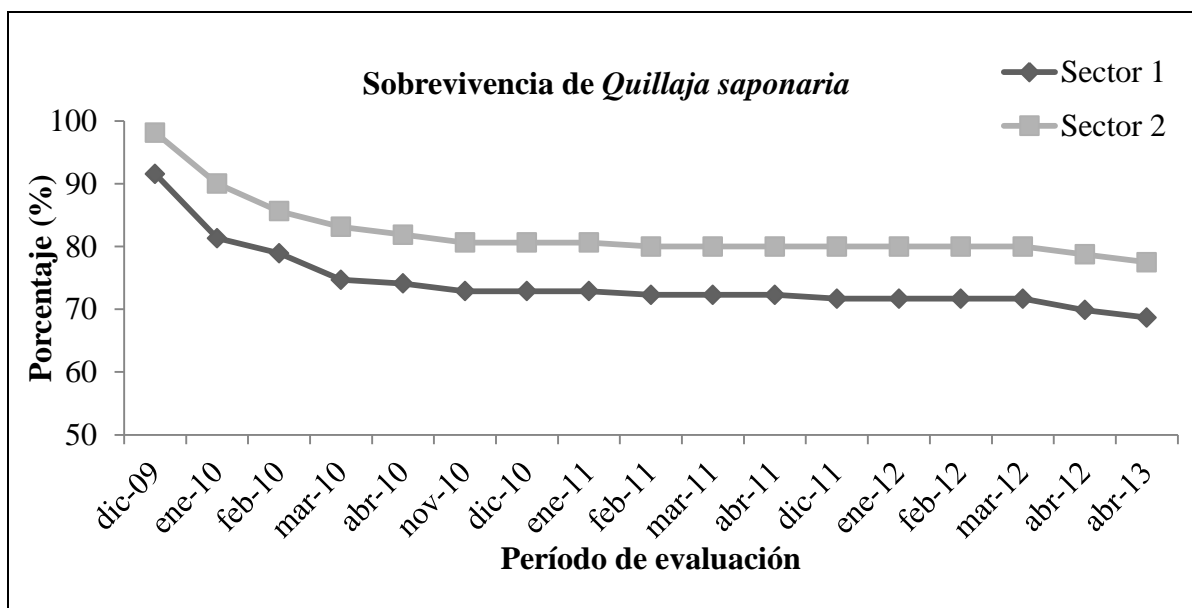


Figura 9. Sobrevivencia en porcentaje (%) para *Quillaja saponaria*, según sector (Sector 1 y sector 2) y período de evaluación (diciembre 2009 – abril 2013). Los valores corresponden a las medias de cada una de las mediciones.

Para el caso de litre, en el inicio del período de eliminación paulatina del riego en diciembre 2009, la sobrevivencia en S1 fue de 93,9%, mientras que en S2 fue de un 94,7%. Estos valores de sobrevivencia fueron disminuyendo durante todo el proceso de evaluación hasta alcanzar en abril 2013 promedios de 77% y 61,6% en S1 y S2 respectivamente, donde S1 se mantuvo en valores de sobrevivencia superiores a partir de la segunda medición hasta el término del estudio (Figura 10).

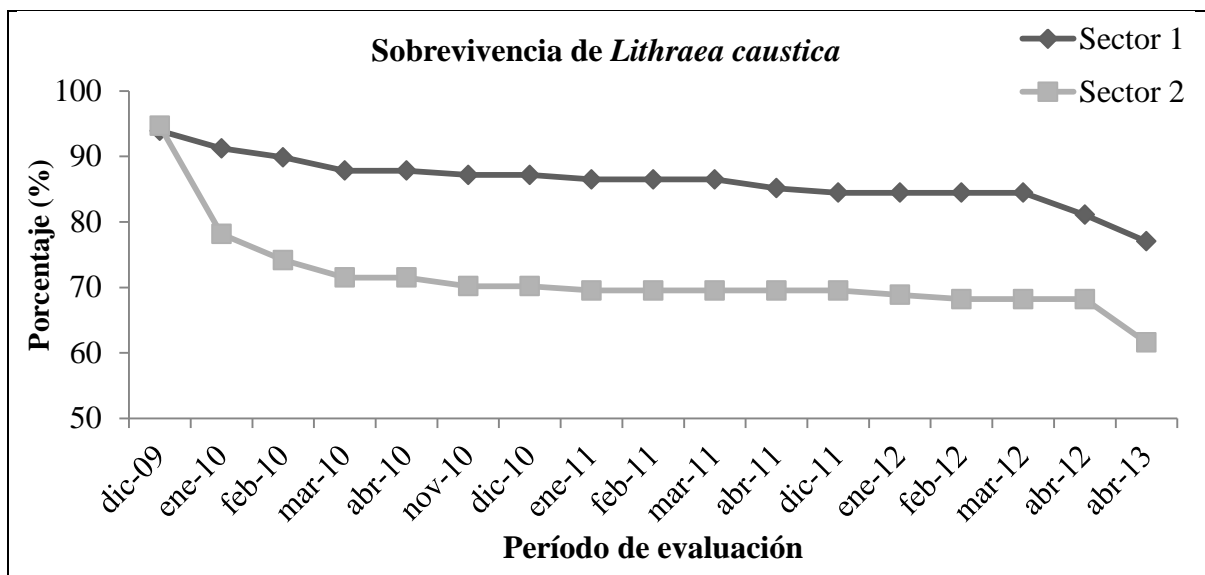


Figura 10. Sobrevivencia en porcentaje (%) para *Lithraea caustica*, según sector (sector 1 y sector 2) y período de evaluación (diciembre 2009 – abril 2013). Los valores corresponden a las medias de cada una de las mediciones.

Al contrastar los resultados entre las especies (quillay y litre), se observan respuestas distintas; por un lado quillay presenta mayores valores de sobrevivencia en S2, sector que presenta condiciones de exposición suroeste, donde las condiciones de estrés hídrico son menores a las presentadas en S1, mientras que para el caso de litre sucede totalmente lo contrario, sus mayores valores de sobrevivencia están en S1, pese a que sus potenciales hídricos son superiores en S2, lo que sugiere una mayor tolerancia a condiciones de sequía que quillay (Figura 9 y 10).

Becerra *et al.* (2013), sugieren que el riego en diferentes especies nativas del bosque esclerófilo puede afectar en el éxito de la sobrevivencia de estas, con ciertas variaciones entre las especies, donde en el estudio, se obtuvieron altos valores de sobrevivencia para las especies de hábitats más xerofítico como es el caso de quillay y litre; mientras que aquellas especies con mayores requerimientos hídricos como lo es *Maytenus boaria*, tienen efectos positivos de sobrevivencia con aplicaciones de riego en períodos de restricción hídrica, lo cual indica, que procesos de eliminación paulatina del riego durante los períodos de mayores limitaciones de agua, tiene efectos positivos en el establecimiento y sobrevivencia de las especies, ya que se favorece la absorción de agua durante estos períodos e incrementa la profundidad de las raíces en busca del recurso hídrico.

La marcada diferencia de la sobrevivencia de quillay y litre, se debe a la dinámica sucesional en la cual se logran establecer las especies, donde Donoso (1993), señala que ante las condiciones más secas propias de la exposición norte (S1 en el caso del estudio) se incorpora litre junto con *Acacia caven* por sobre quillay, dado que este último necesita de plantas nodrizas que otorguen condiciones favorables para poder establecerse en esta

exposición. Mientras que, en S2 se justifica una mayor tasa de sobrevivencia de quillay, dado que las condiciones de la exposición se caracterizan por presentar menores tasas de radiación y temperaturas junto con una mayor humedad que nuevamente se ve reflejado en el comportamiento interno, expresado a través de valores menos negativos de Ψ_{PD} y mayores CHR%.

Establecido lo anterior, es que en el ensayo de campo se obtiene que quillay logra establecerse con mayor éxito que litre en la zona de exposición suroeste (S2), dadas las condiciones intrínsecas que presentan este tipo de exposiciones como lo son mayores contenidos de humedad y menores tasas de radiación que favorecen el establecimiento de la especie; mientras que para el caso de litre presenta mayores valores de sobrevivencia en la zona de exposición noreste (S1), sector donde las condiciones medioambientales favorecen su establecimiento, tal como se explica en la dinámica sucesional de la especie.

4. CONCLUSIONES

- Tanto quillay como litre son especies adecuadas para la ejecución de proyectos de restauración o recuperación forestal en climas mediterráneos, dado los mecanismos fisiológicos y morfológicos que presentan las especies al enfrentarse a condiciones de estrés hídrico durante períodos estivales.
- Las modificaciones fisiológicas que presentan tanto quillay como litre frente a la restricción hídrica, les permiten superar períodos de limitación de agua, sin presentar una reducción significativa del crecimiento en DAC y altura a causa de las limitaciones hídricas.
- Con la ejecución de un proceso paulatino de eliminaciones del riego, durante los períodos de mayor restricción hídrica, se logran mayores tasas de sobrevivencia de las especies estudiadas.
- Se requiere tener en cuenta las condiciones medioambientales óptimas en las cuales se desarrollan las especies al momento de la restauración. Para el caso de quillay y litre, la consideración de la exposición juega un factor clave en su sobrevivencia.
- La mantención de mayores valores de CHV% del suelo se ve reflejado en el crecimiento (DAC y altura) de las especies, por lo cual conservar una disponibilidad hídrica constante en períodos de mayores restricciones hídricas en los primeros años del establecimiento de un proyecto de recuperación o restauración, juega un factor preponderante para el desarrollo y sobrevivencia de ellas.
- El acondicionamiento de las especies a través de la eliminación paulatina del riego en los períodos estivales durante la restauración, favorece la sobrevivencia de ellas en los períodos de mayor restricción hídrica al momento del abandono del riego.

5. 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): 219-233.

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. 33 p.

ALVEAR, M., OJEDA, N., REYES, F. y REYES, M. 2011. Efecto de la exposición y la toposecuencia sobre actividades biológicas del suelo en bosque relicto del centro-sur de Chile. *Revista Bosque* 32(3): 255-265.

ARMESTO, J., SMITH, C., HOLMGREN, M. BECERRA y P., CELIS, J., 2007. Experimentos de restauración de especies leñosas de la zona central. [En línea]. <http://www.redlan.org/REDLAN/PROYECTOS/Entradas/2009/8/2_CHILE.html> [Consulta: 18 Enero 2015].

ARROYO, M., CAVIERES, L., MARQUET, P., MARTICORENA, C., MASSARDO, F., ROZZI, R., SIMONETTI, J. y SQUEO, F. 2008. El hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. En: CONAMA. Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos. Segunda edición. Santiago, Chile. Editorial Ocho libros. pp: 90-93.

AZCÓN-BIETO, J. y TALÓN, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición. España. Editorial McGraw-Hill Interamericana. 651 p.

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. 29 p.

BASURTO, A., NUÑEZ, A., PÉREZ, R. y HERNÁNDEZ, A. 2008. Fisiología del estrés ambiental en plantas. *Revista Synthesis*, vol. 48. 5 p.

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 – 111.

BOYER, J. 1985. Water transport. *Annual review of plant physiology* 36: pp. 473 – 516.

BROWNING, V., KLEPPER, B. y TAYLOR, H. 1971. Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiology* 48: 683 – 685.

CABELLO, A. y DONOSO, C., 2013. *Lithraea caustica* (Molina) Hook. et Arn. En: DONOSO, C. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: Autoecología. Segunda Edición. Chile. Marisa Cuneo Ediciones. 334 – 340.

CHIMENTI, C. 2004. Déficit hídrico. [En línea] < <http://www.agro.uba.ar/sites/default/files/paisaje/deficit.pdf> > [Consulta: 25 Junio 2015].

CIAT. (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1991. Establecimiento y renovación de pasturas: Conceptos, experiencias y enfoque de la investigación. Lascano, C. y Spain, J Ediciones. Colombia. 426 p.

CONAF. 2012. Árboles urbanos de Chile: Guía de reconocimiento. Primera edición. Santiago, Chile. 368 p.

CONAMA, 2005. Plan de acción “El Roble” 2005-2010 para la implementación de la estrategia para la conservación de la biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago. [En línea] <http://www.sinia.cl/1292/articles-37027_PDA_elroble.pdf> [Consulta: 21 noviembre 2014].

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

DONOSO, C. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina: Variación, Estructura y Dinámica. Tercera Edición. Chile. Editorial Universitaria. 484 p.

DUNCAN, D. 1955. Multiple F and multiple range tests. *Biometrics* 11: 1 – 41.

ELÓRTEGUI, S. y MOREIRA, A. 2002. Parque Nacional La Campana: Origen de una reserva de la biosfera en Chile Central. Santiago, Chile. Editorial Taller La Era. 176 p.

ESPINOZA, V. 2002. Guía de manejo Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble. CONAF. Región Metropolitana. 53 p.

GARCÍA, N. y ORMAZÁBAL, C. 2008. Árboles nativos de Chile. Santiago, Chile. 196 p.

GARCÍA, F., ROSELLÓ, J. y SANTAMARINA, M. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Valencia. España. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 184 p.

GIRÁLDEZ, J., VANDERLINDEN, K. y TEN BERGE .H. 1999. La evaporación del agua del suelo bajo control atmosférico. En: Estudios de la zona no saturada del Suelo. Martínez, J. Sánchez, N. Salamanca (España). 181 – 186.

GOLDSTEIN, G., SARMIENTO, G. y MEINZER, F. 1986. Patrones diarios y estacionales en las relaciones hídricas de árboles siempreverdes de la sabana tropical. *Acta Ecológica-Oecología Plantarum* 7: 107 – 119.

GONÇALVES, L. y SAUSEN, T. 2010. Growth and carbon assimilation limitations in *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) under soil water stress conditions. *Acta Bot. Bras.* 24(3): 648 – 654 p.

GONZÁLEZ, J., BONET, A. y ECHEVERRÍA, M. 1996. Efecto de la orientación de la ladera sobre algunas comunidades arbustivas del semiárido central de la depresión del Ebro. *Mediterranea. Serie de estudios biológicos.* 21 – 31.

GONZÁLEZ, H., CANTÚ, I., GÓMEZ, M. y RAMÍREZ, R. 2004. Plant water relations of thornscrub shrub species, north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 58: 483-503.

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 Conservación de la Naturaleza. 29 p.

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

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

KLEPPER, B. y MOLZ, F. 1972. Radial propagation of water potencial in stems. *Agronomy Journal* 64: 469 – 473.

LO GULLO, M., NARDINI, A., TRIFILO, P. y SALLEO, S. 2003. Changes in leaf hydraulics and stomatal conductance following drought stress an irrigation in *Ceratonia silique* (Carob tree). *Physiology Plantarum* 117: 186-194.

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. 35 p.

MAESTRE, F. 2003. La restauración de la cubierta vegetal en zonas semiáridas en función del patrón espacial de los factores bióticos y abióticos. *Revista Ecosistemas*, vol. XII, núm. 1. 4 p.

MARTÍNEZ, C. 2014. Crecimiento bajo déficit hídrico de especies forestales urbanas de la ciudad-oasis de Mendoza, Argentina y su área metropolitana. *Revista Ecosistemas* 23(2): 147 - 152.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN. 2000. Decreto 229 exento: Declara Santuario de la Naturaleza sector que indica del Cerro El Roble, ubicado en la Comuna de Til-Til, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. Chile.. Junio 2000. 1 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2013. Procesos de clasificación de especies según el reglamento de clasificación de especies silvestres (RCE). [En línea]. Santiago, Chile. <<http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/index2.htm>> [Consulta: 19 agosto 2014].

MONTENEGRO, G. 1984. Atlas de la anatomía de especies vegetales autóctonas de la zona central. Primera edición. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 153 p.

MORALES, N. 2011. Efecto hídrico del raleo de vástagos en *Nothofagus macrocarpa* ((A. DC.) Vásquez. & Rodríguez) en Cerro El Roble, Región Metropolitana. Memoria Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. 24 p.

MORALES, L. 2012. Limitaciones fotosintéticas de *Eucryphia cordifolia* Cav. Bajo disponibilidades hídricas y lumínicas contrastantes: Influencia de la edad foliar, aclimatación estructural y bioquímica. Seminario Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. 29 p.

MYERS, N., MITTERMEIER, R., MITTERMEIER, C., DA FONSECA, G. y KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* Vol. 403 (24): 853-858.

NEWTON, A. y TEJEDOR, N. 2011. Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudio de caso en las zonas secas de América Latina. UICN, Gland, Suiza y fundación internacional para la restauración de ecosistemas (FIRE), Madrid, España. 409 p.

OGAYA, R., PEÑUELAS, J., MARTÍNEZ-VILALTA, J. y MANGIRON, M. 2003. Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbustus unedo* in a hola oak forest of NE Spain. *Forest Ecology and Management* 180: 175 – 184.

PEGUERO, J. 2008. Empleo de técnicas no destructivas en la sintomatología de la respuesta de la vegetación arbórea de interés forestal a distintos factores abióticos de estrés. Memoria para optar al grado de Doctor, Universitat de Lleida. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. 199 p.

POBLETE, H. 2004. Efecto de la exposición y de la pendiente en algunas propiedades del suelo, flora y vegetación de la quebrada de la plata, Region Metropolitana. Memoria Ingeniería Agronómica, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 99 p.

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. 40 p.

SANTIBÁÑEZ, F. y URIBE. J. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Departamento de Ingeniería y Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 65 p.

SERRANO, L. 1992. Respuestas ecofisiológicas a la sequía en *Eucalyptus globulus* Labill.: relaciones hídricas y parámetros de intercambio gaseoso. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 150 p.

SIERRA, J. 2005. Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros. Segunda edición. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 246 p.

SILVA, H y ACEVEDO, E. 1993. Relaciones hídricas de *Atriplex repanda* Phil., a dos niveles de disponibilidad de agua. Revista chilena de historia natural. 66: 467 – 477.

SQUELLA, F., MENESES, R. y GUTIÉRREZ, T. 1985. Evaluación de especies forrajeras arbustivas bajo condiciones de clima mediterráneo árido. Agricultura Técnica 45 (4): 303 – 314.

TAIZ, L. y ZEIGER, E. 2002. Plant Physiology. Tercera Edición. Universidad de California. Editorial Sinauer Associates Inc. Estados Unidos. 690 p.

TESKEY, R. y HINCKLEY, T. 1986. Moisture: Effects of water stress on trees. En: HENNESSEY, T. Stress physiology and forest productivity. Netherlands. Kluwer Academic Publishers Group. pp. 9 – 33.

TURNER, N.C. 1986. Adaptation to water deficits: A changing perspective. Australian Journal of Plant Physiology 13(1): 175 – 190.

VALLADARES, 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Madrid, España. Ministerio del Medio Ambiente, EGRAF S.A. pp. 163-190.

VITA, A. 1974. Algunos Antecedentes para la Silvicultura del Quillay (*Quillaja saponaria* Mol). En: Boletín Técnico N° 28 Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. pp: 19-31.

VITA, A. 1989. Ecosistemas de bosques y matorrales mediterráneos y sus tratamientos silviculturales en Chile. Santiago, Chile. Proyecto FO: DP/CHII83/0A. Documento de trabajo N° 21. 243 p.

WEATHERLEY, P. 1970. Some aspects of water relations. *Advances in botanical research* 3: pp. 171 – 206.

ZURAYK, R. y MONA, H. 2004. Examples of the successful conservation and sustainable use of dryland biodiversity. En: United Nations Development Programme (UNDP). *Sharing innovative experiences*. E.E.U.U. 136 p.