

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
ESCUELA DE PREGRADO**

MEMORIA DE TITULO

**EFFECTO DE DISTINTOS NIVELES DE DÉFICIT HÍDRICO EN PARAMETROS
FISIOLÓGICOS DEL OLIVO (*Olea europaea* L.) var. ARBEQUINA EN LA
REGIÓN DE COQUIMBO**

**EFFECT OF DIFFERENT LEVELS OF WATER DEFICIT IN PHYSIOLOGICAL
PARAMETERS OF THE OLIVE TREE (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) IN THE
COQUIMBO REGION**

LELY ELISA SOTO RAMONDA

Santiago - Chile

2014

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
ESCUELA DE PREGRADO**

**EFECTO DE DISTINTOS NIVELES DE DÉFICIT HÍDRICO EN PARAMETROS
FISIOLÓGICOS DEL OLIVO (*Olea europaea* L.) var. ARBEQUINA EN LA
REGIÓN DE COQUIMBO**

Memoria para optar al Título Profesional de:
Ingeniera Agrónoma

LELY ELISA SOTO RAMONDA

Profesores guía:

Calificaciones

Sr. Cristian Kremer Fariña
Ingeniero Agrónomo, Ph. D

Sr. Thomas Fichet Lagos
Ingeniero Agrónomo, Dr.

Profesores Evaluadores:

Sr Victor Garcia de Cortázar Garcia de Cortázar
Ingeniero Agrónomo, Dr. Ing.

Sr José Ignacio Covarrubias Peña
Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc. Dr.

**Santiago – Chile
2014**

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Lugar del estudio.....	7
Unidad de muestreo.....	7
Tratamientos y diseño de experimentos.....	7
Procedimiento	9
Caracterización del suelo	9
Contenido de agua en el suelo.....	9
Potencial xilemático	10
Conductancia estomática.....	10
Actividad fotosintética	10
Análisis estadístico.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
Características del suelo.....	11
Evapotranspiración de referencia y variables climáticas	11
Riego	14
Contenido de agua en el suelo.....	15
TDR.....	15
Diviner.....	19
Potencial hídrico xilemático.....	20
Potencial hídrico xilemático medido en pre alba (ψ_{pa})	20

Potencial hídrico xilemático medido al medio día (ψ_{md})	22
Conductancia estomática (gs)	24
Actividad fotosintética	26
Fotosíntesis.....	28
Conductancia estomática.....	28
Transpiración.....	29
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34
APÉNDICE I.....	38
APENDICE II	39

RESUMEN

La escasa disponibilidad de agua en la región de Coquimbo, se ha transformado en un factor limitante para la agricultura. Dado esto, una especie de alta resistencia a la sequía, como el olivo (*Olea europea*), resulta altamente atractiva para su cultivo. Por otra parte, es recomendable aplicar alguna estrategia de restricción hídrica, como el riego deficitario sostenido (RDS), el cual consiste en la reducción de agua a aplicar durante toda la temporada, según el déficit de transpiración permitido por el cultivo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de RDS, en un huerto de olivos var. Arbequina, en su respuesta a través de algunas variables fisiológicas. Para ello, durante el periodo entre diciembre del 2012 y mayo del 2013 se aplicaron 5 tratamientos de reposición hídrica equivalentes a: T100 (100% Evapotranspiración de cultivo (ETc)), T75 (75% ETc), T50 (50% ETc), T25 (25% ETc) y T0 (100% ETc hasta endurecimiento de carozo y posteriormente 0%). Se evaluó el potencial hídrico xilemático con una cámara de presión tipo Scholander, la conductancia estomática con un porómetro y la actividad fotosintética con un analizador infrarrojo de gases. Además se controlaron periódicamente variables climáticas y de contenido de agua en el suelo. Los resultados mostraron que los olivos sometidos a mayor déficit hídrico, presentaron menores valores de potencial hídrico xilemático, ya fuera determinado al medio día o en pre alba. Este último, permitió determinar el contenido hídrico del suelo de manera aproximada. Además, se pudo apreciar que a medida que iba disminuyendo el suministro de agua a los olivos, la fotosíntesis y conductancia estomática fueron disminuyendo. Sin embargo, no fue posible encontrar una relación clara con respecto a la transpiración y el riego aplicado. No obstante, si se pudo apreciar una concordancia con la temperatura, donde la transpiración aumentaba en días más cálidos. Frente a estos resultados, se puede concluir que el déficit hídrico aplicado en olivos var. Arbequina en cualquiera de los niveles presentados en este estudio, determinará un efecto negativo en las propiedades fisiológicas del cultivo.

Palabras clave: estrés hídrico, potencial hídrico xilemático, conductancia estomática, actividad fotosintética.

ABSTRACT**EFFECT OF DIFFERENT LEVELS OF WATER DEFICIT IN PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF THE OLIVE TREE (*Olea europaea* L. cv. Arbequina) IN THE COQUIMBO REGION**

The scarce availability of water in the region of Coquimbo has currently transformed into a limiting factor for agriculture. Given that, a high drought resistant species, like the olive tree (*Olea europaea*), becomes highly attractive for its cultivation. Furthermore, it is advisable to apply some water deprivation strategy, like the regulated deficit irrigation (RDS in Spanish), which consists of the reduction of water applying throughout the season, according to the transpiration deficit allowed by the crop. The aim of this study was to evaluate the effect of different levels of RDS in olive trees orchard (cv. Arbequina), in its response through some physiological variables. To this effect, during the period between December 2012 and May 2013 five water replacement treatments were applied, equivalent to: T100 (100 percent cultivation evapotranspiration (ET_c)), T75 (75 percent ET_c), T50 (50 percent ET_c), T25 (25 percent ET_c) and T0 (100 percent ET_c until stone hardening and subsequently 0 percent). The stem water potential was evaluated with a Scholander type pressure chamber, the stomatal conductance with a porometer, and the photosynthetic activity with an infrared gas analyser. In addition, climatic and soil water content variables were periodically controlled. Results shown that olive trees treated with a higher water deficit, presented lower values of stem water potential, both determined at noon or before dawn. The latter allowed determining the ground water content approximately. Moreover, it was appreciated that while the water supply of olive trees was being diminished, the processes of photosynthesis and stomatal conductance were diminished as well. However, it was not possible to find a clear relationship regarding transpiration and applied irrigation. Nevertheless, it was possible to appreciate a complete agreement in relation to temperature, where transpiration increased during warmer days. In light of these results, it can be concluded that the water deficit applied to olive trees (cv. Arbequina), in any of the levels presented in this study, will determine a negative effect on the physiological properties of the cultivation.

Key words: water stress, stem water potential, stomatal conductance, photosynthetic activity.

INTRODUCCIÓN

La región de Coquimbo presenta un gran interés agrícola debido principalmente a su ubicación geográfica privilegiada entre la cordillera de la costa y la precordillera. Existen numerosos valles transversales, en los cuales se desarrollan distintas especies frutales de manera exitosa en contraste con el entorno natural semi-desértico (Morales et al., 2006). Sin embargo, una de las características que limita la práctica de la agricultura, en la región de Coquimbo, es la escasa disponibilidad de agua, principalmente debido a los bajos niveles de precipitaciones anuales, que determinan un extenso periodo seco (Alcaíno et al., 2000). Esto además, se ve acrecentado por la alta competencia existente en la zona, no tan sólo por el rubro agrícola, sino también por otras actividades como la minería (MOP, 2013).

Dada la alta resistencia a la sequía que muestra el olivo (Faraloni et al., 2010), su producción en la región de Coquimbo resulta atractiva ante la baja disponibilidad del recurso hídrico. Sin embargo, muchos autores concuerdan que el uso de riego aumenta significativamente el crecimiento vegetativo (Palese et al., 2010) y mejora las características reproductivas como homogeneidad o tamaño de fruto (Patumi et al., 2002).

Dentro de las medidas que se han adoptado para aumentar la eficiencia del uso del agua en lugares que es una limitante, ha sido la modificación de los sistemas de riego, donde el riego por goteo ha evitado las pérdidas de agua excesiva comparado con los riegos gravitacionales (Holzapfel et al., 2009). No obstante, los volúmenes de agua que siguen siendo necesarios aún son altos, en comparación con el recurso disponible en la zona y se hace necesario buscar nuevas metodologías que permitan obtener producciones rentables, pese a la falta de agua.

Ante esta necesidad se han ideado distintas estrategias de riego deficitario a través de los años (Ferrer y Soriano, 2007), tales como el riego deficitario controlado (RDC), que consiste en reducir la cantidad de agua aplicada, conociendo el déficit de transpiración permitido por el cultivo durante un periodo en que el efecto a la planta es mínimo (Smith y Kivumbi, 2002), o el riego deficitario sostenido (RDS), donde el déficit se genera durante toda la temporada. En ambos casos, se debe buscar que el rendimiento y calidad, a la hora de la cosecha, se vean afectadas lo menos posible.

Para determinar el efecto real, que tiene este manejo de riego en la planta, es necesario monitorear continuamente los cambios que podrían presentar las variables fisiológicas. Si bien el olivo puede presentar alta producción, luego de un periodo de estrés, es posible que durante el momento de falta de agua se haya visto afectado algún otro parámetro que pueda determinar una mala inducción floral para la temporada subsiguiente (Fernández, 2014).

Dentro de los parámetros fisiológicos de ciertos cultivos, el que primero se ve alterado al existir un déficit hídrico, es la conductancia estomática (Cornic, 2000). Al notar una falta de agua, los estomas tienden a cerrarse para disminuir las pérdidas de agua de las hojas,

pero a su vez también se restringe la entrada de CO₂, disminuyendo su asimilación y fotosíntesis (Guerfel et al., 2009a). Este cierre de estomas es uno de los mecanismos que presentan las plantas para tolerar deficiencias hídricas (Benlloch-González et al., 2008). Otro parámetro que se verá afectado, será el potencial hídrico xilemático, el cual podría llegar a valores menores a -3,5 MPa al presentar estrés hídrico, debido a la alta tensión necesaria para poder transportar el agua dentro de la planta (Moriani et al., 2013).

Hay que tener en cuenta que el olivo presenta “añerismo” o alternancia productiva. Este fenómeno consiste en la inhibición, por parte de una alta carga frutal, de la inducción floral, lo que desencadena una baja producción (temporada “off”), luego de un año de alta producción (temporada “on”) (Pritsa y Voyiatzis, 2005). Sin embargo, se señala que el añerismo podría verse atenuado con un régimen hídrico adecuado (Goldhamer et al., 2006).

En el caso de utilizar algún método de restricción hídrica y ante la posible alteración de las propiedades fisiológicas, es fundamental considerar el momento de aplicación y la magnitud del déficit hídrico según las distintas fases de crecimiento del cultivo. La fase del crecimiento del olivo que más afectará la producción final, si se ve sometido a cualquier tipo de estrés, será durante el crecimiento del fruto (Greven et al., 2009). Ferreyra et al., (2001), afirman que un estrés hídrico, en la primera fase de crecimiento del fruto, provocará una disminución del número de células del mesocarpo; en la segunda fase, puede significar pérdidas de flores para la siguiente temporada y en la última fase, el cultivo es más tolerante a un estrés hídrico, pero de todas formas en casos severos de déficit de agua, la madurez del fruto podría ser precoz, no obstante la acumulación de aceite ocurre en esta fase por lo que al realizar estrés, dicha acumulación se verá afectada (Pastor Muñoz-Cobo et al., 2005). Sin embargo, es sabido que la fase II del crecimiento de frutos sería la más adecuada para realizar algún tipo de restricción hídrica, coincidiendo con la fecha de endurecimiento de carozo (Searles et al., 2011).

Con respecto a las características edáficas, las condiciones de suelo deseadas para el cultivo del olivo son una textura franco arcillosa, con buena estructura y drenaje, ya que el olivo es sensible a la asfixia de raíces ante una saturación del suelo. Además, presenta una gran tolerancia a un amplio espectro de valores de pH (5,8 – 8,5) y conductividad eléctrica, llegando a tolerar hasta 8 dS·m⁻¹. Sin embargo, ante este contenido de sales en el suelo, la producción y calidad de la plantación disminuirá notablemente (Barranco et al., 2008).

Dado el comportamiento especial que presenta el olivo, ante un déficit hídrico, las propiedades fisiológicas se comportarán de manera particular en comparación con otros cultivos o frutales. Muchas especies, con el fin de mantener un máximo flujo de CO₂ y por tanto una alta fotosíntesis, mantienen sus estomas abiertos todo el día. Sin embargo, el olivo como muchos cultivos que se han visto adaptados a condiciones mediterráneas, mantiene un balance distinto entre fotosíntesis y transpiración, mostrando la máxima conductancia estomática durante la mañana y reduciéndose está a su mínimo al medio día (Barranco et al., 2008). Este mecanismo muestra una gran capacidad adaptativa ante el déficit hídrico.

Un olivo var. Arbequina, sin limitaciones de agua, presentará un potencial hídrico de -1,4 MPa al medio día en verano (Pierantozzi et al., 2013). En periodos de sequía disminuye sus valores de potencial hídrico a valores donde otros cultivos estarían completamente deshidratados, lo cual le permite captar agua del suelo incluso a valores inferiores al punto de marchitez permanente (Greven et al., 2009). Esto hace factible aplicar algún método de ahorro de agua.

Ferreira et al. (2001), demostraron que un riego deficitario controlado, moderado en olivo, durante la fase III de crecimiento de frutos no afecta la carga frutal. Pero, al generar un déficit durante toda la temporada (RDS), regando con un 60% de la evapotranspiración de cultivo (ETc), consiguieron un mayor ahorro del recurso hídrico sin grandes pérdidas de producción, ya que el peso del fruto fue similar a cuando se aplica un déficit hídrico sólo en la fase III.

Hipótesis

Cualquier valor de RDS, practicado en un huerto de olivos var. Arbequina, afectará las variables de conductancia estomática, fotosíntesis y potencial hídrico xilemático.

Objetivo

Evaluar el efecto de diferentes niveles de RDS, en un huerto de olivos var. Arbequina, en su respuesta fisiológica a través de tres variables, conductancia estomática, fotosíntesis y potencial hídrico xilemático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del estudio

El estudio se llevó a cabo en el fundo Tabalí, perteneciente a la empresa Valle Arriba S.A. Se ubica en el sector de Tabalí, a 15 km de Ovalle en la provincia de Limarí de la región de Coquimbo, Chile ($30^{\circ} 39'$ latitud sur y $71^{\circ} 25'$ longitud oeste). La zona presenta un clima árido, con precipitaciones anuales desde 75 a 100 mm (Uribe et al., 2012). El sector pertenece a la serie de suelos Tabalí, de suelos tipo terrazas aluviales con topografía plana a lomajes suaves (IREN, 1964).

Unidad de muestreo

Se utilizaron 45 plantas de olivos de la variedad Arbequina de tres años de edad. Se encontraban plantadas en orientación este-oeste, con un marco de plantación de 6 x 3 m y sobre camellones. El sistema de riego era por goteo, con una línea de emisores de 4 litros por hora, distanciados a un metro entre sí. Los árboles fueron seleccionados uniformemente y dado la edad de los olivos, aún no presentaban alternancia productiva.

Tratamientos y diseño de experimentos

Los tratamientos fueron:

- T100: Riego equivalente al 100% de su ETc,
- T75: Riego equivalente a un 75% de su ETc,
- T50: Riego equivalente a un 50% de su ETc,
- T25: Riego equivalente a un 25% de su ETc y
- T0: Riego equivalente al 100% de su ETc hasta endurecimiento de carozo y posteriormente sin riego.

En todos los tratamientos, el riego se cortó de manera definitiva el día de la cosecha.

Para entregar la cantidad de agua establecida, se utilizó una línea de riego por goteo, la cual contaba con goteros que entregaban distintos caudales de agua. Para T100 y T0 se usaron goteros de $4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, equivalente al 100%; para T75 goteros de $1 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ combinados con goteros de $2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, equivalentes al 75%; para T50 goteros de $2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, equivalente al 50%; y para T25 goteros de $1 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, equivalente al 25%. A T4 se le cortó el suministro de agua la

primera semana de febrero que coincidió, de manera aproximada, con el evento fisiológico de endurecimiento de carozo.

Se calculó la evapotranspiración de referencia (ET_0) a través de la ecuación de Penman-Monteith. Las variables fueron medidas a lo largo de todo el estudio con una estación meteorológica instalada en el huerto. Se consideró para todos los tratamientos un coeficiente de cultivo (K_c) igual a 0,7 (Allen et al., 2006), el cual fue ajustado con un valor determinado dependiente de la cobertura del árbol (K_r), que fue estimada con un ceptómetro (SS1 Delta-T). Finalmente multiplicando estos valores con la ET_0 se obtuvo el valor final de ET_c .

Para el cálculo de K_r se utilizó la ecuación descrita por Barranco et al. (2008):

$$K_r = 2 * S_c / 100$$

Donde:

K_r : Coeficiente de reducción.

S_c : Superficie de cubrimiento de la copa.

El valor de S_c se obtuvo a partir de:

$$S_c = (\pi * D^2 * N) / 400$$

Donde:

D^2 : es el diámetro medio de la copa del árbol (m).

N : Número de olivos/ha según el marco de plantación.

Las mediciones fisiológicas fueron realizadas cada 7 días por un período de 6 semanas continuas, entre diciembre de 2012 y febrero de 2013, terminando aproximadamente en la segunda etapa de crecimiento de fruto, que coincidió con el endurecimiento de carozo. Desde febrero y hasta mayo del 2013, se realizaron mediciones mensuales.

Se realizó un diseño en bloques completamente aleatorizados (DBCA), con 3 bloques separados en tres hileras de plantación ($n=15$). Cada tratamiento fue aplicado a un grupo de tres árboles, utilizando la planta central como unidad experimental, para así evitar cualquier influencia del tratamiento continuo (Figura 1). Sin embargo, luego de iniciado el ensayo se optó por ir intercalando el uso de las tres plantas para no afectar el rendimiento y la biomasa de los árboles.

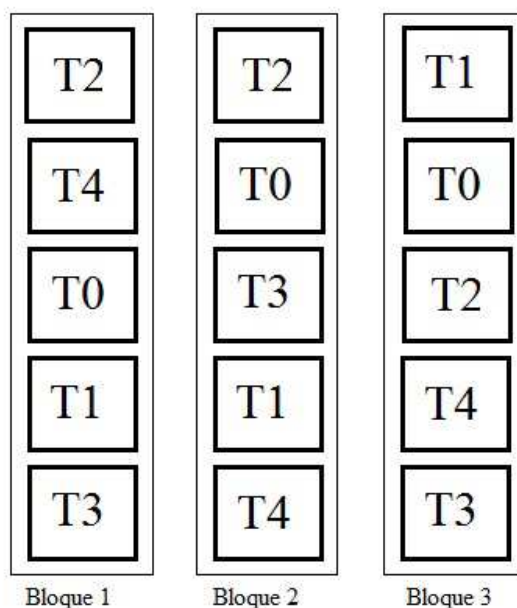


Figura 1. Distribución de los tratamientos establecidos en el campo en olivos var. Arbequina bajo diferentes RDS en la región de Coquimbo. Cada cuadrado representa tres árboles en una hilera sometidos a un tratamiento.

Procedimiento

Caracterización del suelo

Se tomaron muestras representativas para identificar la clase textural a través de la metodología del densímetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1951), su densidad aparente por el método del terrón, los contenidos de agua a capacidad de campo y punto de marchitez permanente en ollas de presión. Las muestras fueron tomadas en las profundidades 0-40 cm y 40-80 cm, con tres repeticiones de cada profundidad y analizadas posteriormente en el laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Chile.

Contenido de agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo se monitoreo a los 20 cm, 40 cm y 60 cm de profundidad continuamente en intervalos de 6 horas, con una sonda del tipo TDR (CS_616, Campbell Scientific). Estos sensores fueron instalados en una de las repeticiones de cada tratamiento, a 50 cm del eje de la planta (bajo la proyección del gotero). Adicionalmente, se realizaron

mediciones puntuales (una vez por semana) del volumen de agua en el suelo con un diviner (Diviner 2000, FDR) durante 6 semanas y posteriormente de manera mensual.

Potencial xilemático

Se seleccionó una ramilla que se encontraba al sol en el momento de la medición y fue envuelta inmediatamente en una bolsa aluminizada por al menos una hora. Luego se determinó con una cámara de presión, tipo Scholander, el potencial xilemático. Se realizaron mediciones aproximadamente a las 13:30 una vez por semana hasta febrero y posteriormente de manera mensual. Además, se midió el potencial en pre alba, aproximadamente a las 6:00, de manera semanal durante el mes de enero y de forma puntual el día de la cosecha en mayo. Se siguió el procedimiento descrito por Guerfel et al. (2009b).

Conductancia estomática

Se seleccionó una ramilla expuesta al sol, de la parte media de todos los árboles. En cada una se usó una hoja completamente expandida, adulta y de la última temporada para medir la conductancia estomática con un porómetro (SC-1 Decagon Devices). Las mediciones se realizaron un día a la semana a las 12:00 y 19:00 hasta la primera semana de febrero y posteriormente, de manera mensual.

Actividad fotosintética

Las determinaciones de la actividad fotosintética se realizaron por medio de un analizador infrarrojo de gases (CIRAS-2, PP System) encerrando una hoja de olivo en la cámara de asimilación y respetando su ángulo de exposición a la luz. Se tomaron 3 hojas por planta de similar edad y en posición media del árbol de dos árboles por tratamiento. Las mediciones se hicieron en tres ocasiones a lo largo del periodo de estudio (15 de febrero, 1 de marzo y 20 de marzo 2013), aproximadamente al medio día, siguiendo la metodología descrita por Pérez-López et al. (2007).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron a través de un análisis de varianza (ANDEVA) con una confianza del 95% y cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se realizó la prueba de comparación múltiple de Duncan a un nivel del 5% de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del suelo

En la zona de estudio, el suelo presentó un alto porcentaje de arcilla en el perfil, con porcentajes mayores al 50%. En el Cuadro 1 se aprecia que las proporciones de arcilla, limo y arena, en ambas profundidades fueron similares, lo que se debe a la confección de los camellones y la homogenización en profundidad del perfil (Krause et al., 2009). Hay una leve diferencia en los valores de densidad aparente, siendo mayor a los 40 cm de profundidad que en superficie. La densidad aparente presentó valores mayores a $1,70 \text{ Mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, valor superior a lo esperado para este tipo de textura (Rawls et al., 1992). Sin embargo, la metodología ocupada sobrestima este parámetro al no considerar en su determinación los espacios entre agregados, por lo que se espera que los resultados sean mayores en comparación con el método del cilindro en un 11% aproximadamente (Matus et al., 2002), no obstante, sigue siendo un valor alto. Con respecto a la retención de agua, se apreció una retención cercana al 33% a capacidad de campo (-33 kPa) y cercana al 22% en el punto de marchitez permanente (-1500 kPa), mostrando una leve diferencia en las dos profundidades. Estos valores son consecuentes con lo que se esperaría en un suelo con esta textura (Rawls et al., 1992).

Cuadro 1. Características físicas principales del suelo. Porcentaje de arena (a), limo (L) y arcilla (A), clase textural, densidad aparente determinada por el método del terrón (Da) y retención de agua a capacidad de campo (-33 kPa) y punto de marchitez permanente (-1500 kPa).

Profundidad	Textura			Clase Textural	Da	Retención de agua	
	a	L	A			-33 kPa	-1500 kPa
Cm	%	%	%		$\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$	%	%
0-40	30.75	17.25	52	A	1.71	32,88	21,86
40-80	30.25	17.25	52.5	A	1.79	32,78	22,14

Evapotranspiración de referencia y variables climáticas

La temperatura medida por la estación meteorológica, reveló una amplitud térmica marcada durante el periodo de estudio, con una media de 18°C de diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas de cada día, para el periodo comprendido entre diciembre de 2012 y mayo de 2013. A partir del mes de marzo de 2013, hubo un descenso en las temperaturas (Figura 2).

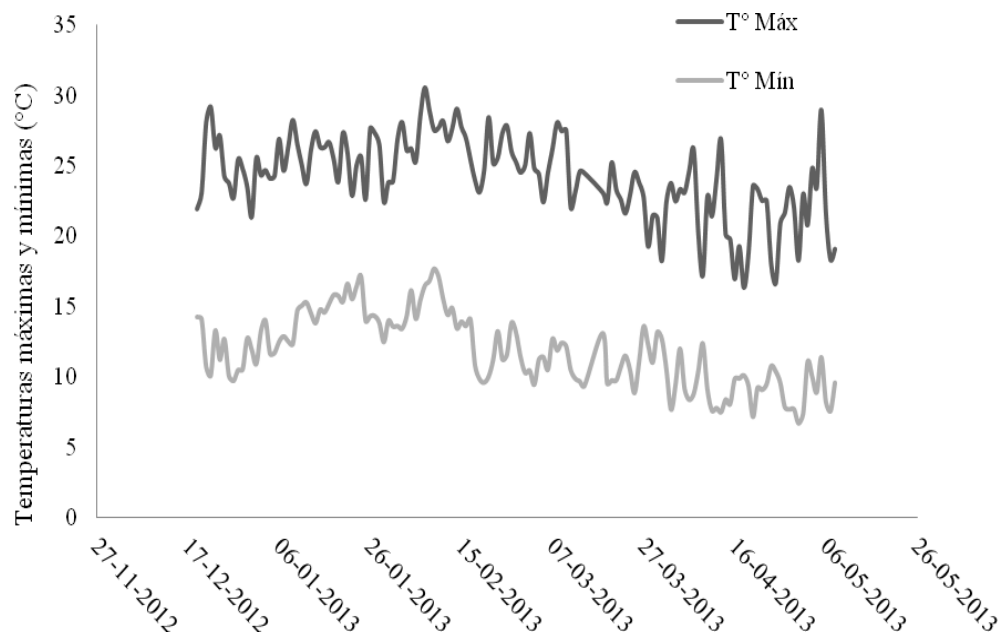


Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas registradas en el campo durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en la región de Coquimbo.

La evapotranspiración de referencia tuvo valores máximos durante diciembre de 2012 y enero de 2013 y, fue disminuyendo paulatinamente a partir de mediados de febrero (Figura 3). El déficit de presión de vapor (DPV), también mostró una tendencia a la baja con un valor promedio de $1,02 \pm 0,3$ kPa, a partir del mes de marzo (Figura 4).

Las precipitaciones fueron prácticamente inexistentes. Sólo hubo un evento el 22 de enero, donde se registró 1 mm.

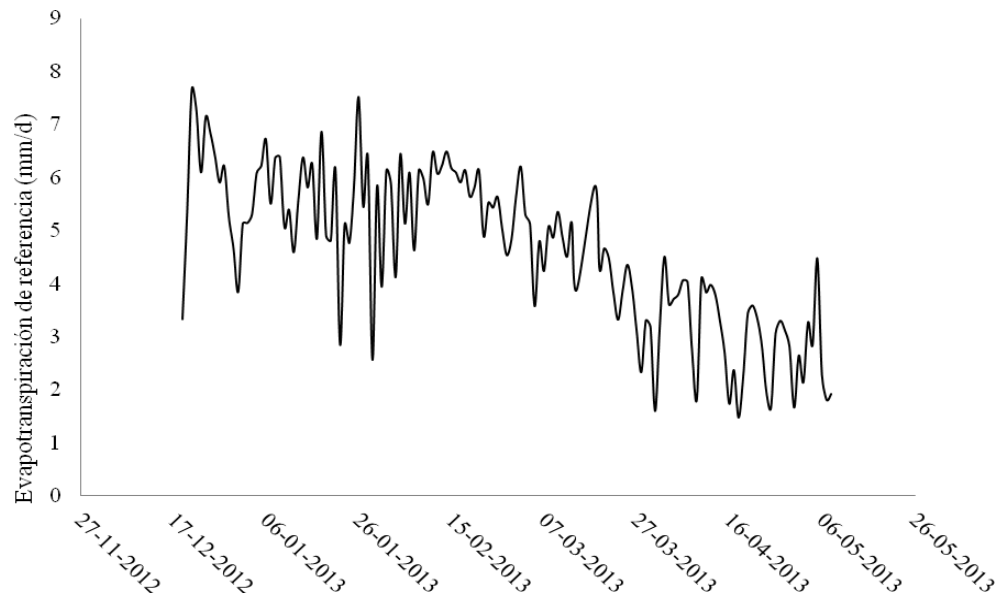


Figura 3. Evapotranspiración de referencia (ET₀) registrado en el campo durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en la región de Coquimbo.

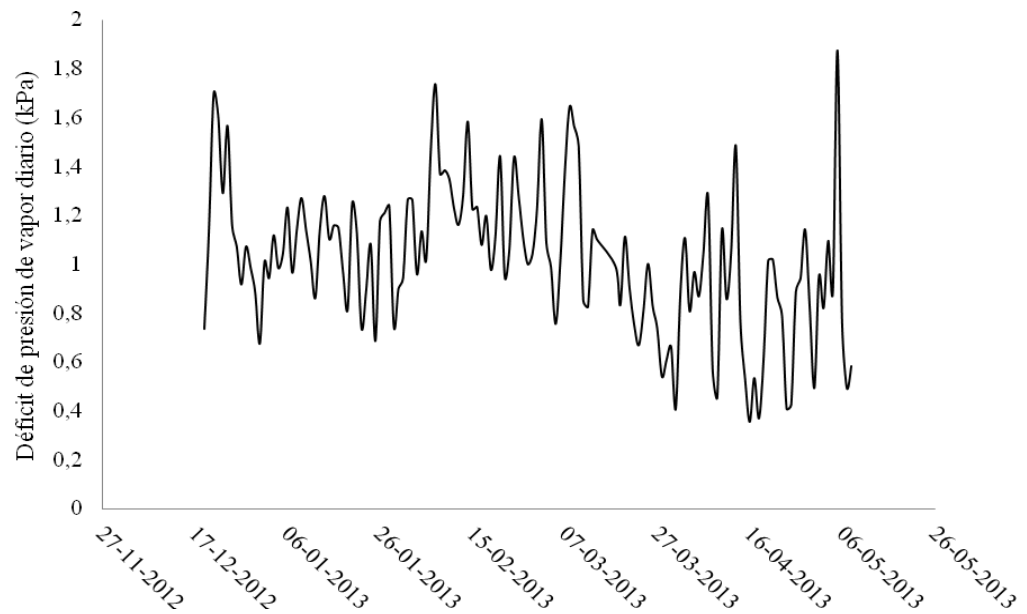


Figura 4. Déficit de presión de vapor (DPV) registrado en el campo durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en la región de Coquimbo.

Riego

En el Cuadro 2 se presentan las fechas de riego, con sus respectivos tiempos de aplicación, contrastados con el agua necesaria en ese momento por las plantas. Este valor representa el volumen de agua necesario para el tratamiento T100 durante el periodo de estudio. Es necesario mencionar que el déficit hídrico, producido durante el periodo, se debió principalmente a la falta de agua para riego en el predio, lo que significó que los olivos no recibieran el volumen de agua adecuado a las exigencias climáticas. Además, en T0, el supuesto corte de agua que se haría en endurecimiento de carozo, no se realizó de forma adecuada, por lo que estos árboles recibieron más agua que el resto de los tratamientos, además en las zonas cercanas a los árboles de T0, existió encostramiento superficial a partir de fines de febrero de 2013, esto pudo causar flujo preferencial del agua al momento de infiltrar, sobre todo en los lugares donde se encontraban los sensores del TDR y el tubo de medición del diviner.

Cuadro 2. Régimen hídrico del campo durante el periodo de estudio, en olivos var. Arbequina, región de Coquimbo. Tiempo de riego (TR)

Fecha	TR	Agua necesaria	Agua aplicada				
			T100	T75	T50	T25	T0
	hr			mm			
27-12-2012	4	11,38	5,33	4,00	2,67	1,33	5,33
04-01-2013	4	10,10	5,33	4,00	2,67	1,33	5,33
11-01-2013	4	10,32	5,33	4,00	2,67	1,33	5,33
18-01-2013	4	9,47	5,33	4,00	2,67	1,33	5,33
25-01-2013	4	7,97	5,33	4,00	2,67	1,33	5,33
04-02-2013	4	13,06	5,33	4,00	2,67	1,33	5,33
14-02-2013	5	14,29	6,67	5,00	3,33	1,67	6,67
18-02-2013	3	6,01	4,00	3,00	2,00	1,00	4,00
22-02-2013	3	5,78	4,00	3,00	2,00	1,00	4,00
01-03-2013	5	8,74	6,67	5,00	3,33	1,67	6,67
04-03-2013	3	4,18	4,00	3,00	2,00	1,00	4,00
08-03-2013	1	4,32	1,33	1,00	0,67	0,33	1,33
28-03-2013	5	20,52	6,67	5,00	3,33	1,67	6,67
16-04-2013	3	14,69	4,00	3,00	2,00	1,00	4,00
25-04-2013	3	6,21	4,00	3,00	2,00	1,00	4,00
10-05-2013	2	7,07	2,67	2,00	1,33	0,67	2,67

El déficit hídrico que ocurrió a lo largo del estudio, determino que la reposición hídrica, para cada tratamiento, fuera menor. Es decir, en T100, se entregó en promedio un 53,91% del agua necesaria según la ET_c , en T75 un 40,43%, en T50 un 26,96% y en T25 un 13,48

(Apéndice I). En el caso de T0, no es posible determinar el porcentaje de agua real que se le aplico durante el periodo de estudio, ya que a partir del 5 de febrero de 2013, no hubo forma de determinar este volumen de agua.

Contenido de agua en el suelo

TDR

Al considerar un valor de contenido volumétrico de agua para todo el perfil (teniendo en cuenta las tres profundidades de los sensores del TDR), durante enero y mediados de febrero del 2013, este valor fue menor en T100 y T0 y, mayor en T25. Pasada esta fecha el tratamiento T0 tuvo el mayor contenido hídrico hasta el final del periodo del ensayo (Figura 5). Hubo alzas en las curvas correspondientes a los riegos realizados, sin embargo, como algunos riegos no fueron suficientes, no es posible apreciar estas alzas en la curva de cada episodio, sino solamente los más importantes. Se destaca que luego del supuesto corte de riego que se le hizo a T0, no se aprecian estas alzas en la curva, lo que puede deberse a la clase textural que tenía el suelo, que en conjunto con el alto volumen de agua entregado, no alcanzó a mostrar bajas en los niveles de agua en el perfil.

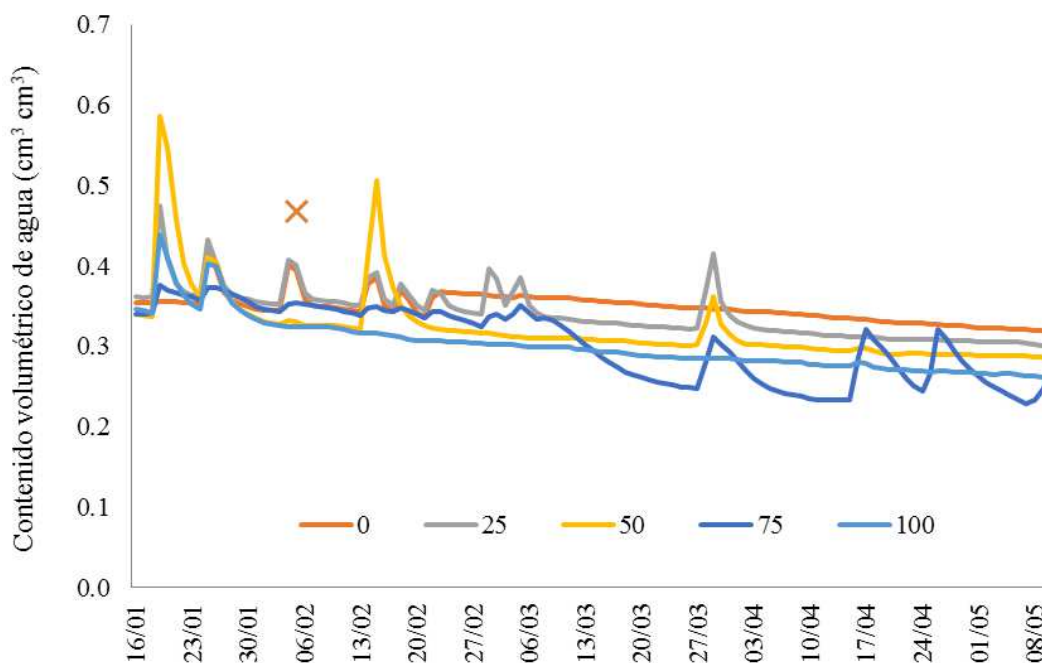


Figura 5. Sumatoria del contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. “x” representa la fecha del corte de riego, coincidente con endurecimiento de carozo para el tratamiento T0.

Considerando los valores de retención de agua en el punto de marchitez permanente (-1500 kPa), correspondientes en este suelo al 22% aproximadamente, se aprecia que los valores volumétricos observados por el sensor TDR, nunca bajaron de este contenido. Sin embargo, dado el déficit que se realizó con el riego y el comportamiento que tuvieron los olivos durante el periodo de estudio, no es posible que haya existido un contenido de agua tan alto en el suelo y que este no haya podido ser ocupado por los árboles. Por lo que se deja ver un posible problema en la calibración de fábrica que traían los sensores, la cual no fue adecuada para este tipo de suelo, pese a encontrarse dentro del rango de clase textural, mencionado para esta. No obstante a esta situación, las curvas pueden ser utilizadas para mostrar tendencias entre los tratamientos.

Se esperaba que los tratamientos que recibieron una mayor cantidad de agua, tuvieran un mayor contenido volumétrico de agua en el suelo. Sin embargo, se aprecia que los tratamientos T75 y T100 presentaron un menor contenido de agua que T25 y T50 (Figura 5). Por otro lado, si solamente se considera el sensor superficial (20 cm), es posible encontrar una relación más esperable entre los diferentes contenidos de agua (Figura 6), donde los tratamientos T100 y T75 presentaron mayores volúmenes de agua en comparación con los tratamientos T25 y T50. No obstante, T0 en los primeros 20 centímetros, mostró el contenido de agua más bajo.

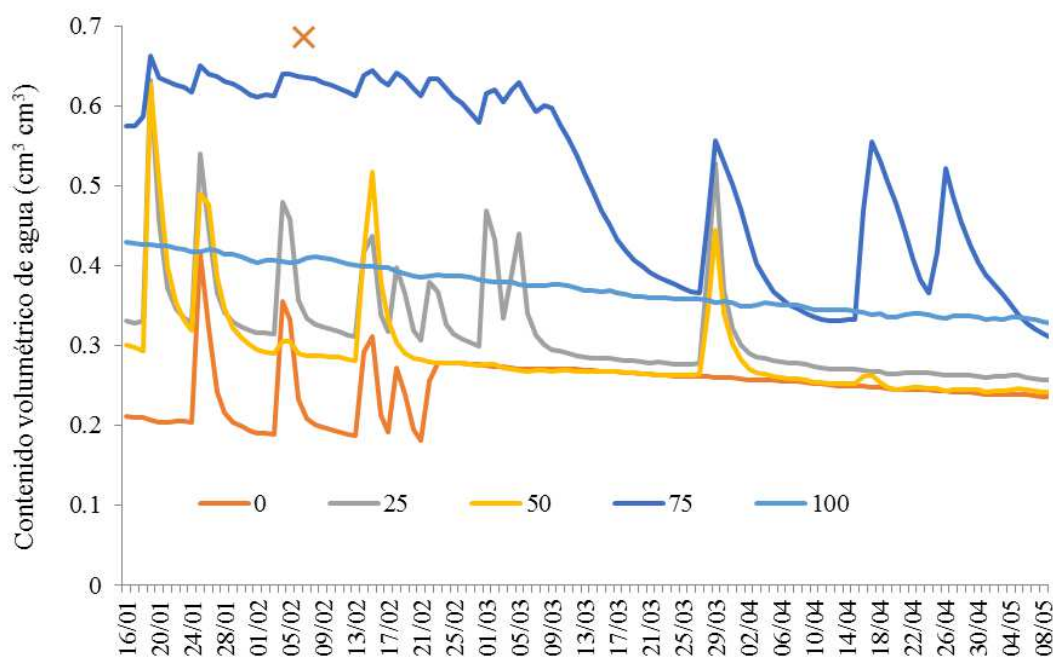


Figura 6. Contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo a los 20 centímetros de profundidad durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. “x” representa la fecha del corte de riego, coincidente con endurecimiento de carozo para el tratamiento T0.

Al observar las curvas en las profundidades 40 cm y 60 cm (figuras 7 y 8), el comportamiento fue contradictorio. T75 fue el tratamiento con el menor volumen de agua, lo que se reflejó en la curva general del perfil (Figura 5).

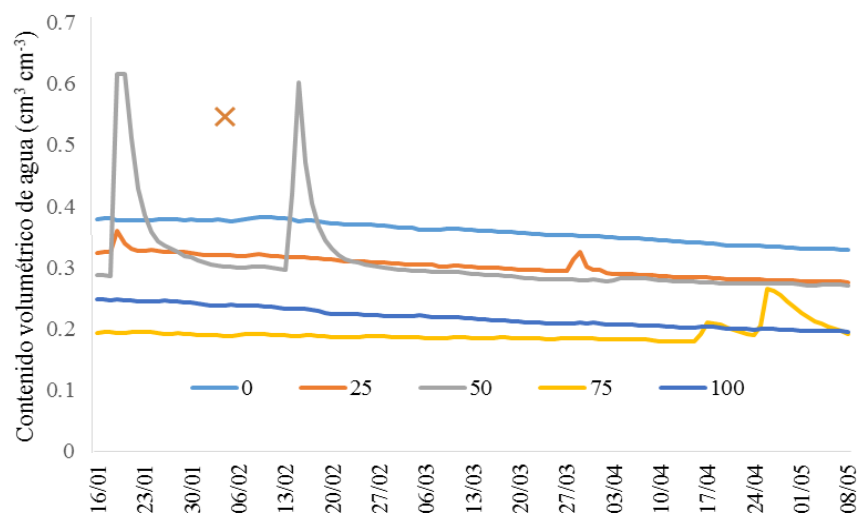


Figura 7. Contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo a los 40 centímetros de profundidad durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. “x” representa la fecha del corte de riego, coincidente con endurecimiento de carozo para el tratamiento T0.

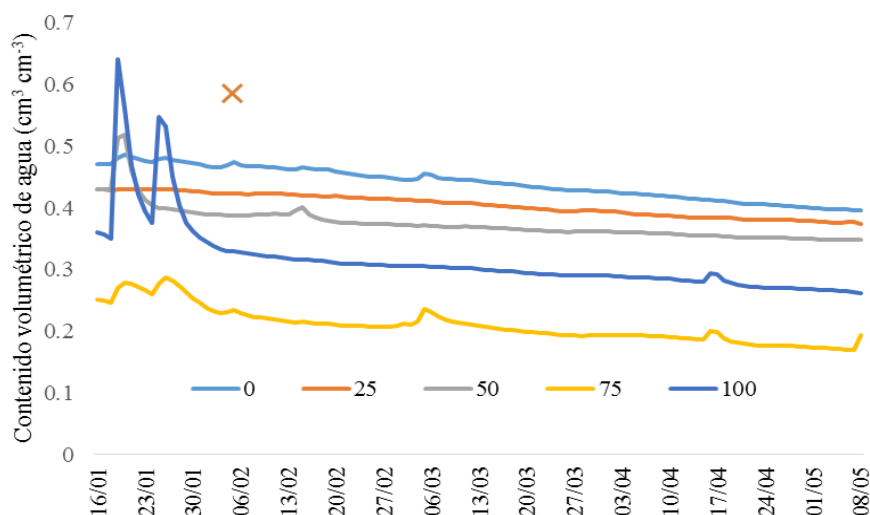


Figura 8. Contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo a los 60 centímetros de profundidad durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. “x” representa la fecha del corte de riego, coincidente con endurecimiento de carozo para el tratamiento T0.

El contenido de agua a los 60 centímetros, fue mayor en todos los tratamientos en comparación con los 40 centímetros (figuras 7 y 8). Esto podría deberse a que al instalar los sensores, estos no se pusieron uno debajo del otro en forma lineal y dado posibles sectores en el suelo con flujo preferencial, el agua aplicada infiltró directamente a mayores profundidades, sin almacenarse de igual forma en los horizontes más superficiales.

Las alzas y caídas del contenido de agua en el suelo, correspondientes a los riegos efectuados, se evidenciaron solamente en los primeros 20 centímetros (Figura 6), en la mayoría de los tratamientos, pocas veces en los 40 centímetros (Figura 7) y prácticamente nunca a los 60 centímetros (Figuras 8). Esta situación podría deberse al bajo contenido de agua aplicado, en conjunto con el mayor contenido de arcilla y la posible compactación de suelo, dada por el valor de D_a determinado en el perfil (Cuadro 1). Un suelo con un alto contenido de arcilla y una alta compactación, mostrará un movimiento de agua deficiente a lo largo del perfil, no permitiendo un suministro eficiente de agua al cultivo (Saffih-Hdadi et al., 2009). Además, diversos estudios muestran que el olivo, ante lluvias intermitentes y escasas, como es el caso en climas mediterráneos, suelen tener la mayor parte de sus raíces creciendo de forma paralela a la superficie del suelo (Searles et al., 2009; Fernández, 2014). Consecuentemente con esto, el mayor porcentaje de raíces (Apendice II) y por tanto actividad hídrica en los 20 centímetros de profundidad, vistos en este estudio, podrían inferir alguna limitante dada por el suelo, como compactación, lo que complicaría el crecimiento óptimo de las raíces en profundidad (Smith et al., 1997).

Además, desde marzo, se mostró encostramiento superficial en el sector de estudio, que podría justificar las anomalías presentadas en los contenidos de agua del suelo, frente a los diferentes tratamientos. La presencia de encostramiento superficial, afecta propiedades hídricas como la infiltración o la conductividad hidráulica (Souza et al., 2014)

Para T25, el horizonte más superficial, presentó a lo largo de la temporada el menor contenido de agua en comparación con los otros tratamientos (Figura 6), pero con pronunciadas alzas y caídas en la curva según los montos de agua de riego aplicados. Este ciclo de variaciones en el contenido de agua del suelo, muestra una respuesta de las plantas al riego, pese a no ser suficiente para mojar los horizontes más profundos del suelo. En T50, existió un comportamiento similar, esto se debería a que el contenido de agua aplicado, en este tratamiento, tampoco alcanzó a ser suficiente, en comparación con las necesidades del olivo.

Para T75 existió el mayor contenido de agua en el horizonte superficial, acompañado de las alzas en la curva correspondientes a los riegos aplicados. Este comportamiento no se presentó en los 40 y 60 centímetros, excepto ante eventos de riego mayores (figuras 7 y 8).

En resumen, el contenido hídrico en el suelo fue variable, debido a mecanismos de adaptación del mismo árbol y principalmente a las características físicas del suelo, tales como su clase textural y su estructura. Esta última resulta fuertemente degradada con la confección de camellones para la plantación de los árboles (Krause et al., 2009). Además,

el hecho de que los riegos no se hayan realizado de la forma planeada, también podría explicar la variabilidad observada en las curvas obtenidas a través de los sensores.

Diviner

El contenido de agua en el suelo medido con el Diviner, en los primeros 20 centímetros, muestra el error que existió en el corte de riego para T0, donde luego de esta fecha (5 de febrero de 2013), la cantidad de agua en el perfil, para este tratamiento, aumentó considerablemente en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 9). Sin embargo, hay que destacar que esta alza ya se podía apreciar en la medición realizada el 24 de enero.

T100 y T75 fueron los tratamientos con los mayores contenidos de agua respectivamente durante todo el ensayo. T25 y T50, en cambio, presentaron los menores contenidos de agua. Durante enero, T50 mostró valores cercanos a $0,15 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, los cuales fueron menores a los que se apreciaron en T25, que mostraron una mayor variación. Sin embargo, a partir de febrero, existió una disminución persistente para T25, llegando a $0,1 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ al final del periodo de ensayo, mientras que T50, en ese momento registró $0,17 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ (Figura 9).

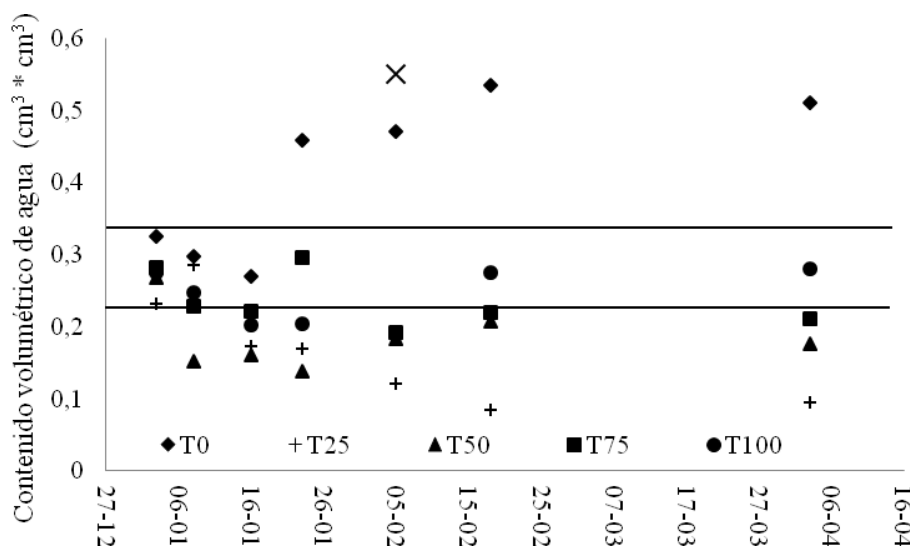


Figura 9. Contenido de agua en el suelo en los primeros 20 centímetros para cada tratamiento durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. "x" representa la fecha del corte de riego, coincidente con endurecimiento de carozo para el tratamiento T0. Las líneas horizontales representan el contenido de agua a capacidad de campo (-33 kPa) y a punto de marchitez permanente (-1500 kPa).

Se apreció que al momento de comenzar el estudio, ya existían diferencias en el contenido de agua para los tratamientos, lo que podría evidenciar diferencias en propiedades del suelo

que determinaron distintos comportamientos del agua en el periodo de estudio. Al comienzo del estudio, todos los tratamientos se encontraban en el rango de humedad aprovechable, sin embargo, considerando el déficit hídrico al que fue sometido este ensayo por falta de agua para el riego, se puede observar que a partir de la tercera fecha de medición, la mayoría de los tratamientos se encontraba por debajo del punto de marchitez permanente. El 18 de febrero, T100 fue el único que se encontraba con un contenido de agua dentro del rango óptimo, manteniendo ese estado hasta el final del ensayo y T75 estaba al límite con $0,22 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.

Acá se comprueba la falla en los valores entregados por el TDR, los cuales mostraban que la mayoría de los tratamientos se mantenían con un contenido de agua por sobre el punto de marchitez permanente en todo momento, incluso por sobre el punto de capacidad de campo, independientemente si se observaba el contenido volumétrico de todo el perfil, o bien, de los primeros 20 centímetros (figuras 5 y 6).

Para muchas especies, el punto de marchitez permanente corresponde a un potencial hídrico de -1500 kPa. Sin embargo, para el olivo que se encuentra adaptado a climas más áridos, este valor fluctúa entre -2500 y -3500 kPa (Fernández, 2014), por lo que es posible que a pesar de que la mayoría de los tratamientos, luego de la tercera semana del ensayo, se encontraran por debajo del punto de marchitez permanente, hayan seguido absorbiendo agua desde el suelo.

Potencial hídrico xilemático

Potencial hídrico xilemático medido en pre alba (ψ_{pa})

La medición del ψ_{pa} , permite estimar el contenido de agua en el suelo, debido a que el déficit de presión de vapor, en ese instante, es muy bajo y hace que los estomas permanezcan cerrados (también por falta de luz) y no exista transpiración, de este modo se igualan los potenciales del suelo con la planta y finalmente se obtiene una medida de la humedad del suelo (Sellin, 1999).

Pese a los resultados contradictorios, en las curvas de contenido de agua en el suelo, es posible encontrar un comportamiento esperado entre los diferentes tratamientos y el ψ_{pa} , es decir, menores potenciales para las plantas que recibieron menos agua (Figura 10).

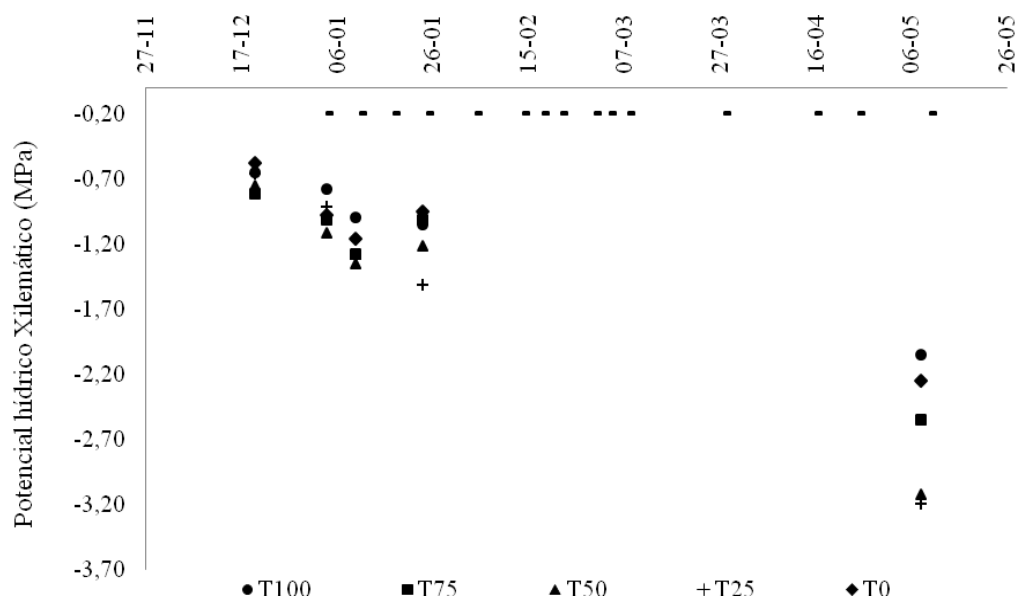


Figura 10. Potencial hídrico xilemático determinado en pre alba, promedio para cada tratamiento durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en olivos var. Arbequina, región de Coquimbo. Los rectángulos superiores representan las fechas en las que se efectuaron riegos.

La primera medición mostró que los ψ_{pa} de todos los tratamientos fueron similares al comenzar el periodo de estudio, equivalentes a valores comprendidos entre -0,5 y -1 MPa; y a medida que fue pasando el tiempo estos tendieron a separarse, apreciando de forma más marcada el efecto de la restricción hídrica de cada tratamiento. Sin embargo, no es posible ver diferencias significativas entre los tratamientos, hasta la última medición de ψ_{pa} (Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedio del potencial hídrico xilemático medido en pre alba (ψ_{pa}) y su correspondiente desviación estándar (Ds), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo.

	20-12-2012	04-01-2013	10-01-2013	24-01-2013	08-05-2013
	ψ_{pa}	ψ_{pa}	ψ_{pa}	ψ_{pa}	ψ_{pa}
	MPa				
T0	$-0,58 \pm 0,1$ a	$-0,98 \pm 0,1$ a	$-1,17 \pm 0,2$ a	$-0,95 \pm 0,1$ a	$-2,25 \pm 0,4$ a
T25	$-0,67 \pm 0,2$ a	$-0,92 \pm 0,2$ a	$-1,32 \pm 0,5$ a	$-1,52 \pm 0,1$ a	$-3,20 \pm 0,4$ b
T50	$-0,75 \pm 0,1$ a	$-1,12 \pm 0,1$ a	$-1,35 \pm 0,1$ a	$-1,22 \pm 0,2$ a	$-3,13 \pm 0,2$ b
T75	$-0,82 \pm 0,1$ a	$-1,02 \pm 0,3$ a	$-1,28 \pm 0,1$ a	$-1,02 \pm 0,2$ a	$-2,55 \pm 0,5$ a
T100	$-0,65 \pm 0,2$ a	$-0,78 \pm 0,1$ a	$-1,00 \pm 0,2$ a	$-1,05 \pm 0,2$ a	$-2,05 \pm 0,8$ a

Valores unidos por la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($p \leq 0,05$).

En la Figura 10, se aprecia que los mayores ψ_{pa} , siempre lo presentaron T100 y T0, con promedios de -0,65 MPa y -0,58 MPa respectivamente para la primera medición y promedios de -2,05 MPa y -2,25 MPa para la medición de mayo, lo que comprueba un mejor estado hídrico del suelo a lo largo del periodo de estudio. Los ψ_{pa} más negativos se asociaron a T25 y T50, los cuales recibieron menos agua, promediando valores de -0,67 MPa y -0,75 MPa respectivamente en la primera fecha de medición y -3,20 MPa y -3,13 MPa en su última determinación en mayo, y por tanto estos suelos presentaron un peor estado hídrico durante el periodo de estudio. En T75, se observa que a pesar de que con el TDR, se diera a entender que el contenido de agua en el suelo era mayor que en T100 (Figura 6), a través de los valores de ψ_{pa} -0,82 MPa y -2,55 MPa, correspondientes a la primera fecha y a la última respectivamente, se aprecia que si hubo un cierto déficit hídrico, comparado con T100. Este comportamiento, también se pudo apreciar en las mediciones puntuales del Diviner donde T100 se mantuvo siempre entre los rangos de humedad aprovechable, a diferencia de T75. Además, con esto se comprueba que los valores entregados por el TDR, no eran precisos.

El estado hídrico del suelo, considerando los ψ_{pa} , se relacionó mejor con los valores entregados por el diviner (Figura 9) que por los entregados por los sensores TDR (Figura 6). Sin embargo, al observar los valores para el 24 de enero, se puede apreciar, que según el ψ_{pa} , el suelo aún mostraba un contenido de agua dentro del rango de humedad aprovechable, a diferencia del diviner, que sólo mostraba al tratamiento T75 dentro de este sector. Por el contrario, para la medición de mayo, se observa que en el diviner, T100 se encontraban por sobre el punto de marchitez permanente, mientras que en los ψ_{pa} todos los tratamientos fueron inferiores a -1,5 MPa (Figura 10). Hay que tener en consideración que los valores del Diviner, representan un valor diario, mientras que los ψ_{pa} , representa un valor puntual, medido en pre alba.

Potencial hídrico xilemático medido al medio día (ψ_{md})

Los valores del ψ_{md} , medidos al medio día, mostraron valores esperados en los tratamientos T100, T75, T50 y T25 (Figura 11), es decir, una disminución en los valores conforme pasaban las semanas, de acuerdo a la reposición hídrica a la que fueron sometidos (Guerfel et al., 2009b).

En los tratamientos T0 y T100, los valores fluctuaron entre, -1,7 y -2 MPa en el primer mes de evaluación, demostrando que en este periodo, estos olivos no presentaban estrés hídrico (Pierantozzi et al., 2013). En los árboles de T25, las primeras dos semanas y últimos meses de muestreo, presentaron los valores más negativos de ψ_{md} y sólo en la tercera semana aumentó su valor -2,1 MPa, en contraste con T50 y T75 (-2,3 y -2,2 MPa, respectivamente). Como se mencionó, al tratamiento T0 no se le realizó de manera correcta el corte del suministro de riego luego de endurecimiento de carozo (5 de febrero de 2013), por lo que estos árboles recibieron más agua que en los otros tratamientos y presentaron los valores de ψ_{md} más altos desde esa fecha hasta el final del periodo de estudio (Figura 11). Este

comportamiento también se ve reflejado en las diferencias significativas que tuvo T0 en las dos últimas fechas de medición (Cuadro 4).

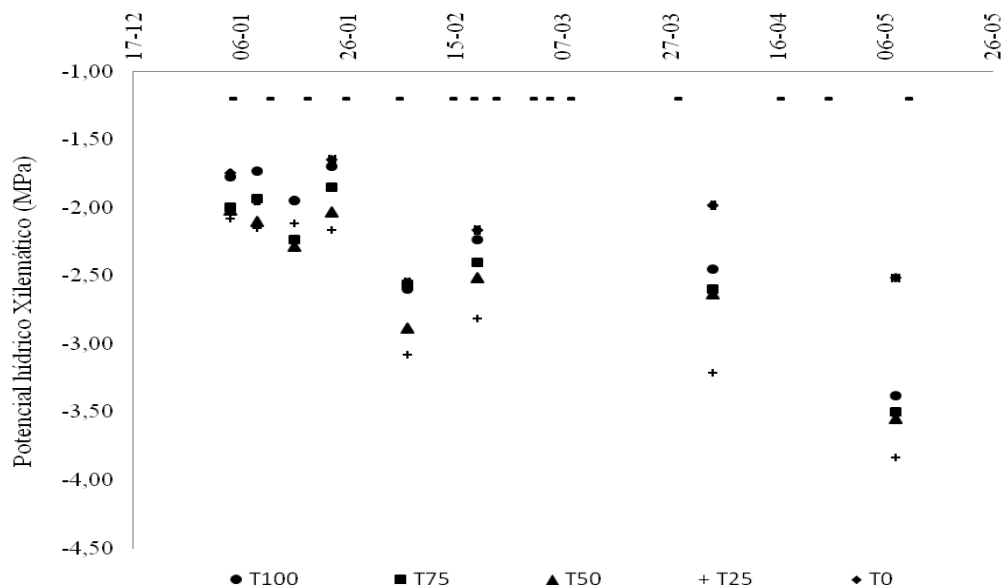


Figura 11. Potencial hídrico xilemático determinado al medio día promedio para cada tratamiento durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. Las barras representan la desviación estándar de cada tratamiento. Los rectángulos superiores representan las fechas en las que se efectuaron riegos.

Durante el primer mes de estudio, el déficit de agua en comparación con la ET_c fue mayor que durante los otros meses (Cuadro 2). Sin embargo, según el ψ_{md} , ese fue el momento de menor estrés para las plantas. Esto podría entenderse por las características propias del suelo y la condición en la que se encontraba antes de comenzar el periodo de estudio. Un suelo arcilloso tendrá una alta capacidad de retención de agua y por lo tanto una mayor capacidad de soportar un estrés hídrico (Saffih-Hdadi et al., 2009) y durante enero, las plantas se vieron favorecidas por el agua que se encontraba almacenada en el suelo con anterioridad. Sin embargo, no fue suficiente para los otros meses, donde el déficit hídrico continuo afectando al ensayo. No obstante, sólo hasta la última medición, en el mes de mayo, que coincidió con la fecha de cosecha, se pudo apreciar un ψ_{md} menor a los umbrales descritos por Moriana et al., (2013), equivalente a $-3,5$ MPa, donde los olivos ya presentaban un alto nivel de estrés hídrico (Figura 11).

Cuadro 4. Promedio del potencial hídrico xilemático medido al medio día (Ψ_{md}) y su correspondiente desviación estándar (Ds), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo.

	04-01-2013	09-01-2013	16-01-2013	23-01-2013
	Ψ_{md}	Ψ_{md}	Ψ_{md}	Ψ_{md}
	MPa			
T0	-1,75 ± 0,3 a	-1,95 ± 0,4 a	-1,95 ± 0,2 a	-1,65 ± 0,5 a
T25	-2,08 ± 0,1 a	-2,15 ± 0,3 a	-2,12 ± 0,2 ab	-2,17 ± 0,1 a
T50	-2,02 ± 0,1 a	-2,10 ± 0,1 a	-2,28 ± 0,1 b	-2,03 ± 0,1 a
T75	-2,00 ± 0,2 a	-1,93 ± 0,3 a	-2,23 ± 0,1 b	-1,85 ± 0,2 a
T100	-1,78 ± 0,4 a	-1,73 ± 0,1 a	-1,95 ± 0,2 a	-1,70 ± 0,1 a

	06-02-2013	19-02-2013	04-04-2013	08-05-2013
	Ψ_{md}	Ψ_{md}	Ψ_{md}	Ψ_{md}
	MPa			
T0	-2,55 ± 0,4 a	-2,17 ± 0,5 a	-1,98 ± 0,4 a	-2,52 ± 0,6 a
T25	-3,08 ± 0,2 b	-2,82 ± 0,2 a	-3,22 ± 0,1 b	-3,83 ± 0,3 b
T50	-2,88 ± 0,1 ab	-2,52 ± 0,4 a	-2,63 ± 1,0 ab	-3,55 ± 0,7 b
T75	-2,57 ± 0,3 a	-2,40 ± 0,5 a	-2,60 ± 0,1 ab	-3,50 ± 0,4 b
T100	-2,60 ± 0,1 a	-2,23 ± 0,1 a	-2,45 ± 0,1 ab	-3,38 ± 0,1 b

Valores unidos por la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($p \leq 0,05$).

Conductancia estomática (gs)

Las máximas temperaturas y tasas de transpiración, se alcanzan cercanas al medio día, por lo que se espera que el olivo en este horario tenga sus estomas parcialmente cerrados, para así evitar pérdidas de agua a través de sus estomas. Es decir, en ese momento debiera presentar una conductancia estomática (gs) reducida (Barranco et al., 2008).

Los valores de gs fueron erráticos a lo largo del ensayo (Cuadro 5). Sin embargo, se observa una leve tendencia en la que los tratamientos T25 y T50 presentaran los valores más bajos, y los tratamientos T0 y T100 los valores más altos. No obstante, no existió una disminución en gs a medida que el suelo se fue secando, como si le ocurrió a Cornic (2000), quien afirma, que al existir un déficit hídrico, el primer efecto en los parámetros fisiológicos será la disminución de gs, debido a que los olivos al notar esta falta de agua, tienden a cerrar sus estomas, para así disminuir las pérdidas excesivas de agua. Sólo el 9 de enero hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 5. Promedio de la conductancia estomática medida al medio día ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y su correspondiente desviación estándar (Ds), en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo.

	04-01-2013	09-01-2013	16-01-2013	23-01-2013
	gs	gs	gs	gs
	$\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$			
T0	276,2 ± 23,1 a	222,9 ± 28,9 b	151,3 ± 8,9 a	174,8 ± 74,1 a
T25	239,2 ± 25,2 a	159,8 ± 24,9 a	181,2 ± 47,8 a	153,9 ± 13,0 a
T50	217,0 ± 55,1 a	125,6 ± 0,1 a	193,1 ± 67,7 a	164,7 ± 35,2 a
T75	234,8 ± 56,7 a	235,8 ± 43,6 b	161,7 ± 9,6 a	182,0 ± 7,2 a
T100	222,4 ± 14,0 a	219,5 ± 24,6 b	207,2 ± 77,9 a	168,2 ± 29,8 a

	06-02-2013	19-02-2013	04-04-2013	08-05-2013
	gs	gs	gs	gs
	$\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$			
T0	228,2 ± 77,2 a	225,0 ± 12,0 a	123,3 ± 47,1 a	221,8 ± 83,5 a
T25	147,1 ± 45,7 a	182,0 ± 119,1 a	139,8 ± 17,9 a	161,3 ± 54,6 a
T50	168,0 ± 73,3 a	163,9 ± 36,1 a	123,6 ± 91,2 a	176,4 ± 15,8 a
T75	146,2 ± 45,7 a	182,4 ± 93,9 a	149,4 ± 55,1 a	172,6 ± 12,2 a
T100	220,1 ± 24,7 a	248,1 ± 15,3 a	137,2 ± 46,1 a	191,7 ± 19,7 a

Valores unidos por la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($p \leq 0,05$).

Una alta desviación estándar (Ds), denota una baja confiabilidad en las mediciones. Durante la toma de muestras se pudo apreciar variaciones exageradas de la conductancia estomática dentro de un mismo árbol. Esto podría deberse a la presencia de tricomas en el envés de las hojas, los cuales ayudan a controlar las pérdidas de agua excesivas ante un estrés hídrico, pero también tienden a dificultar el traspaso de gases al aumentar la resistencia de la capa límite (Bongi y Palliotti, 1994), dada esta razón, podría verse afectada la medición de conductancia estomática por parte del porómetro. Ante esta situación, en el caso del olivo, no sería recomendable la medición de este parámetro a través del porómetro o se requerirá remover los tricomas de forma manual, como hicieron Bongi y Palliotti (1994), logrando disminuir la resistencia de la capa límite cinco veces.

Existe una relación en los valores de gs obtenidos durante un día de medición y el déficit de agua al que estuvieron sometidos los olivos ese día. Este déficit, representa la deficiencia de agua que se genera al contrastar la sumatoria de la ET_C , con la cantidad de agua aplicada a la fecha, para T100. Se aprecia que el 4 de abril todos los tratamientos presentaron los valores más bajos de gs de toda la temporada, y como se aprecia en la Figura 12, este fue el día en el que los olivos fueron sometidos al mayor déficit de agua entre todas las fechas de

medición. Por el contrario, los días en donde se dieron los menores déficits de agua (4 de enero y 6 de febrero), coincidieron con los mayores valores de gs en la temporada

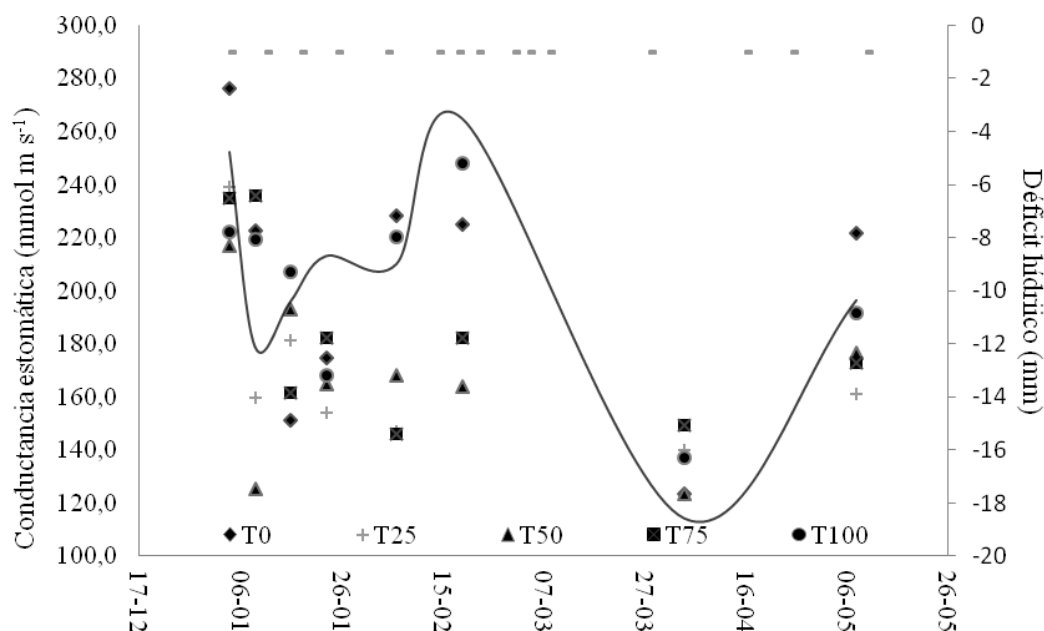


Figura 12. Conductancia estomática medida al medio día en olivos var. Arbequina sometidos a RDS contrastado con el déficit hídrico para T100. Región de Coquimbo. La línea continua, representa la magnitud del déficit hídrico para el día de medición (Déficit hídrico = $\sum ET_{C(T100)} - \sum \text{Agua aplicada por riego}_{(T100)}$).

Pese a no encontrar diferencias significativas entre los tratamientos, salvo en una fecha, durante el periodo de ensayo, fue posible distinguir diferentes comportamientos en el tiempo según fuera el déficit hídrico existente a la fecha de medición.

Actividad fotosintética

Al observar el comportamiento de la actividad fotosintética, lo primero que destaca fue el aumento en el valor de los datos para la tercera fecha (figuras 13 y 14), donde se obtuvieron las mayores tasas de fotosíntesis y conductancia estomática.

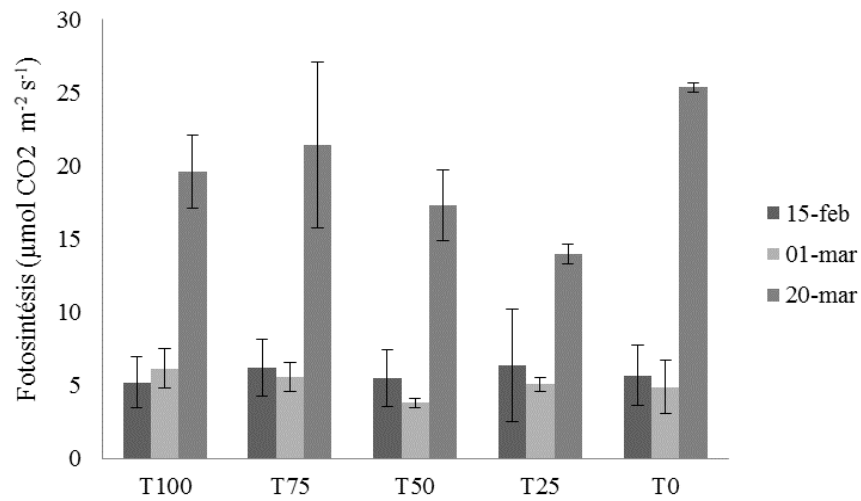


Figura 13. Fotosíntesis medida en tres fechas diferentes con un analizadaro infrarrojo de gases, en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. Las barras representan la desviación estándar de cada tratamiento.

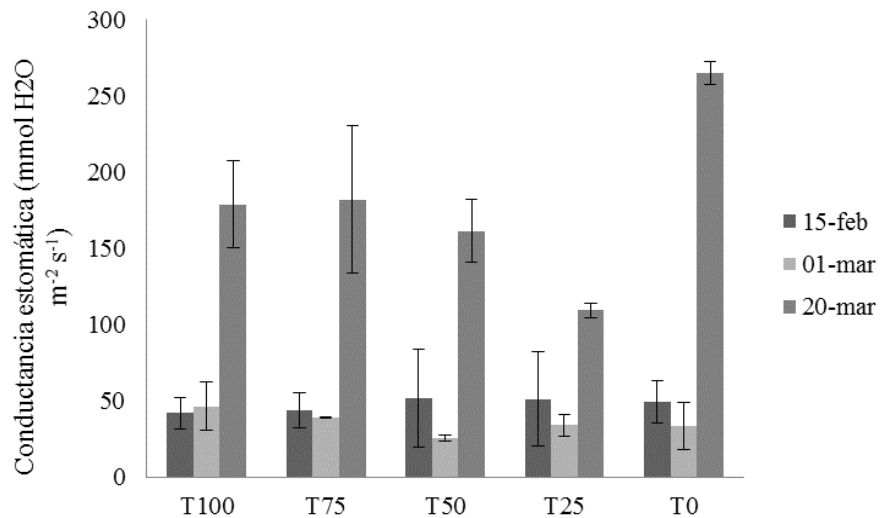


Figura 14. Conductancia estomática medida en tres fechas diferentes con un analizador infrarrojo de gases, en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. Las barras representan la desviación estándar de cada tratamiento.

Sin embargo, teniendo en cuenta que un olivo sin restricciones hídricas mostrará tasas de fotosíntesis y conductancia estomáticas, al medio día, cercanas a los 10-12 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y 120-160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente (Moriani et al., 2002), resultan improbables los valores obtenidos para estas variables el día 20 de marzo. La razón de esta anomalía, puede

deberse a la concentración de CO² utilizada en la medición de la actividad fotosintética para ese día, lo que resultó en un aumento de los valores obtenidos. No obstante, si existieron diferencias significativas entre los tratamientos, lo que podría suponer que los valores muestran una tendencia según la reposición hídrica que tuvieron, pese al aumento de los valores.

Fotosíntesis

El valor más alto correspondiente a la fotosíntesis, se alcanzó el 20 de marzo, mientras que la menor fotosíntesis para todos los tratamientos, ocurrió el 1 de marzo. Los mayores valores de fotosíntesis se dieron en los tratamientos T0, T100 y T75, mientras que los menores fueron T50 y T25 (Figura 13).

En el Cuadro 6, se muestran las fechas en las que hubo diferencias significativas entre los tratamientos. El 20 de marzo, las diferencias fueron más notorias. El tratamiento T0 presentó la fotosíntesis más alta, consecuentemente con el mayor contenido de humedad encontrado en el perfil de suelo durante la mayor parte del periodo de estudio (Figura 9). Los árboles de T25, fueron los que presentaron menor fotosíntesis para ese día, seguidos de T50, T100 y T75 respectivamente.

Cuadro 6. Fotosíntesis en las fechas donde se encontraron diferencias significativas en olivos var. *Arbequina* sometidos a RDS, Región de Coquimbo.

Tratamientos	Fotosíntesis	
	01-marzo	20-marzo
	$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	
T100	6.15 b	19.62 b c
T75	5.56 b	21.42 c
T50	3.78 a	17.28 a b
T25	5.06 ab	13.96 a b
T0	4.86 ab	25.38 d

Valores unidos por la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($p \leq 0,05$).

Conductancia estomática

La conductancia estomática, medida a través del IRGA, tuvo resultados similares a la fotosíntesis. La fecha en la que se alcanzó la mayor conductancia estomática, fue el 20 de marzo y la menor el 1 de marzo (Figura 14). Hubo el mismo comportamiento entre los tratamientos, donde la mayor conductancia estomática en los olivos fue en los tratamientos T0, T100 y T75, y la menor en los tratamientos T50 y T25.

En el Cuadro 7, se muestran las fechas en las que hubo diferencias significativas entre los tratamientos en gs. El 20 de marzo, las diferencias fueron más notorias. Los olivos de T0 presentaron la gs más alta, en relación con el mayor contenido de humedad encontrado en el perfil de suelo durante la mayor parte del periodo de estudio (Figura 6). Los olivos de T25, fueron los que presentaron menor gs para ese día, seguido de T50, T100 y T75.

Cuadro 7. Conductancia estomática en las fechas donde se encontraron diferencias significativas, en olivos var. Arbequina sometidos RDS. Región de Coquimbo.

Tratamientos	Conductancia estomática	
	01-marzo	20-marzo
	mmol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹	
T100	46,18 b	178,88 b
T75	39,10 b	182,04 b
T50	25,24 a	161,26 b
T25	34,05 ab	109,27 a
T0	33,35 ab	265,13 c

Valores unidos por la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($p \leq 0,05$).

A diferencia de la gs obtenida por el porómetro, estos resultados estarían más acordes a lo esperado según el déficit hídrico al que estuvieron sometidos los olivos (omitiendo la medición del 20 de marzo). Esto deja ver que las consideraciones con respecto a la morfología del olivo que hay que tener presente a la hora de determinar la conductancia estomática con el porómetro, no mostrarán un efecto en los valores obtenidos con el IRGA.

Transpiración

Con los resultados de fotosíntesis y conductancia estomática, se esperaría que la transpiración tuviera una tendencia similar. Sin embargo, los valores más altos se obtuvieron el 15 de febrero, seguidos por los del 20 de marzo y luego el 1 de marzo (Figura 16).

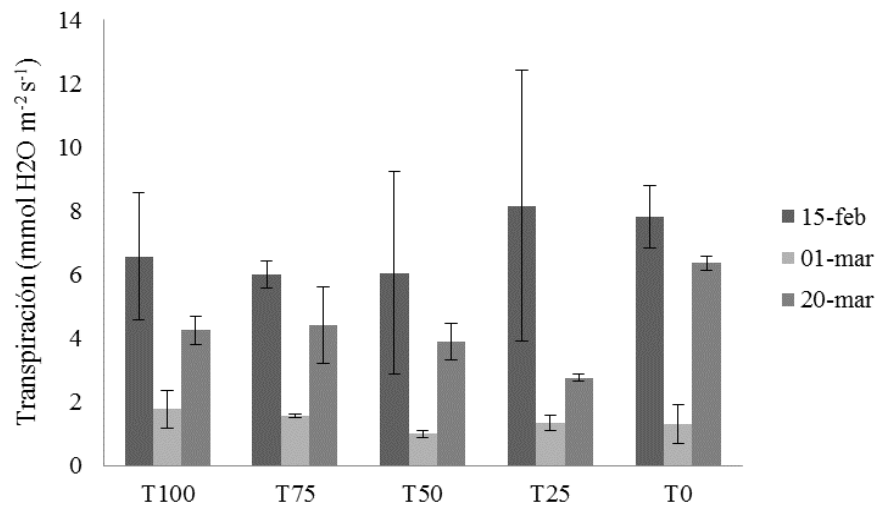


Figura 16. Transpiración medida en tres fechas diferentes con un analizador infrarrojo de gases, en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. Las barras representan la desviación estándar de cada tratamiento.

El 15 de febrero no hubo una diferencia clara entre los tratamientos. Se observó que los que presentaron la mayor transpiración, fueron los olivos de T25 y T0, mientras que los que presentaron la menor transpiración fueron T50 y T75. Existió una alta desviación estándar para todos los tratamientos, excepto T75 y no se encontraron diferencias significativas, a diferencia de las otras dos fechas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Transpiración en las fechas donde se encontraron diferencias significativas, en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo.

Tratamientos	Transpiración	
	01-marzo	20-marzo
	$\mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	
T100	1.8 b	4.2 b
T75	1.5 b	4.4 b
T50	1.0 b	3.9 b
T25	1.3 ab	2.8 a
T0	1.3 ab	6.4 c

Valores unidos por la misma letra no presentan diferencias significativas, según la prueba de comparación múltiple de Duncan ($p \leq 0,05$).

Se aprecia que el día de máxima transpiración, coincidió con el día en el que se alcanzó la máxima temperatura de esos tres días y el día en que se registró la temperatura más baja, coincidió con la menor tasa de transpiración (Figura 17). Esto coincide con el estudio realizado por Ahmed et al. (2007), donde mostraron la relación existente entre las temperaturas durante el año y la tasa de transpiración de los olivos en un clima semi árido,

mientras las temperaturas estuvieran dentro del rango óptimo para los procesos de intercambio gaseoso. Esto podría explicar que las temperaturas, durante las mediciones de transpiración, causarían un mayor efecto que otros factores como el contenido de agua en el suelo o el DPV.

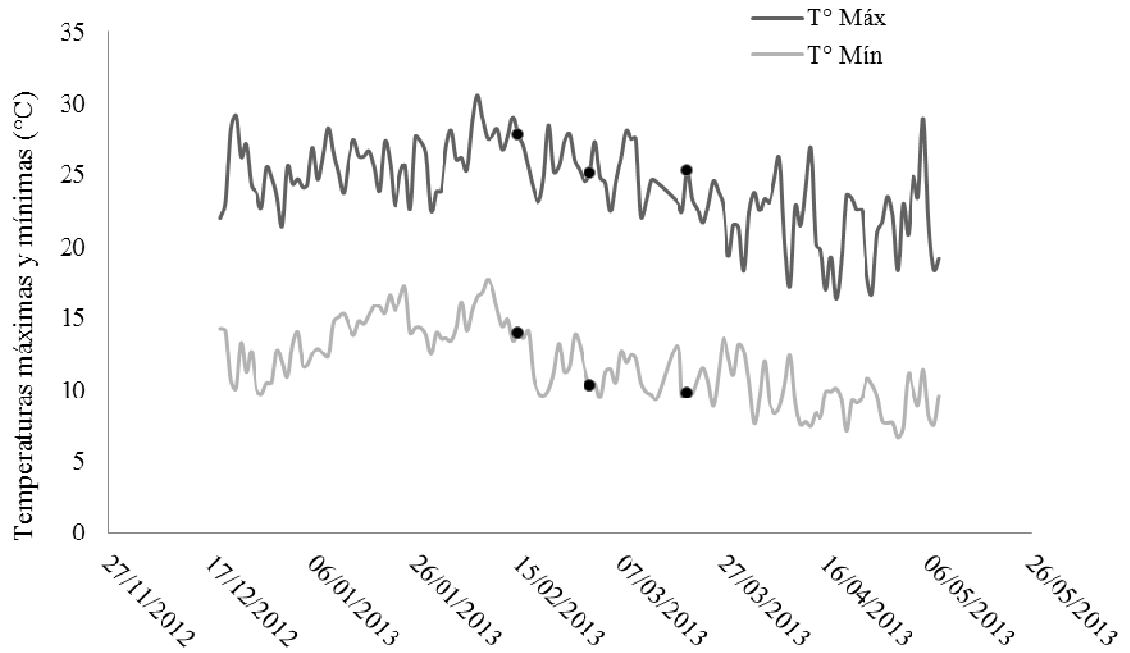


Figura 17. Temperaturas máximas y mínimas medidas en las fechas correspondientes a las mediciones de transpiración, en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo. Los puntos negros indican las tres fechas en que se realizaron las mediciones con el IRGA.

En los datos obtenidos por el IRGA, sólo hubo correlación significativa entre la conductancia estomática y la fotosíntesis (Figura 18). Esto puede deberse por el efecto que causaron las diferentes temperaturas en la transpiración, lo que no permitió encontrar una relación directa de ésta con las otras dos variables medidas por el IRGA.

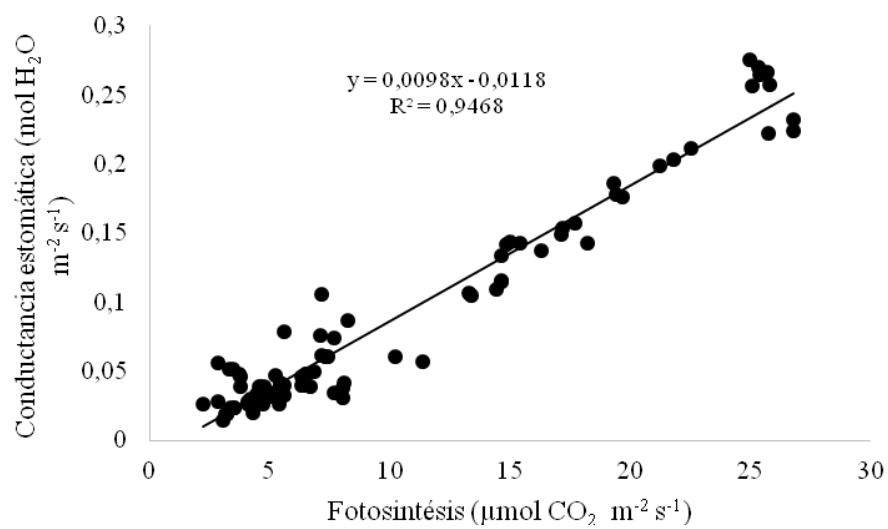


Figura 18. Relación entre conductancia estomática y fotosíntesis, en olivos var. Arbequina sometidos a RDS. Región de Coquimbo.

CONCLUSIONES

El déficit hídrico aplicado en olivos var. Arbequina en cualquiera de los niveles presentados en este estudio, induce un efecto negativo en las propiedades fisiológicas del cultivo.

Mientras mayor es el déficit de agua, el olivo presenta menor potencial hídrico xilemático, llegando a valores cercanos a -4 MPa en T25,(13,48% de la ETc) y -3 MPa en T100 (53,91% de la ETc) para la última medición realizada.

Con altos niveles de déficit hídrico, equivalentes a un 13,48% de la reposición de la ETc, la fotosíntesis y conductancia estomática se ven reducidas a valores cercanos a $5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y $34 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente. Mientras que con una reposición del 53,91% de la ETc, la fotosíntesis y conductancia estomática alcanzan valores cercanos a $6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y $46 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivamente.

Un aumento en las temperaturas diarias, determina una mayor transpiración por parte de los olivos, independiente de los tratamientos aplicados en este estudio.

La conductancia estomática en olivos, determinada con el porómetro, no muestra diferencias significativas entre los tratamientos de este estudio. Sin embargo, existe una relación con el déficit hídrico diario ($\sum ET_C(T100) - \sum \text{Agua aplicada por riego}(T100)$), donde todos los tratamientos sufren un efecto según la falta de agua para el día de la medición.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, Ch., B. Rouina and M. Boukhris. 2007, jul. Effects of water deficit on olive trees cv. Chemlali under field conditions in arid region in Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 113(3): 267-277.
- Alcaíno, E., L. Martínez, L. Rojas y P. Pereira. 2000. Estrategias del uso del agua de riego en comunidades agrícolas de la Región de Coquimbo. Boletín INIA N°46. 32 p.
- Allen, R., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Estudio de Riego y Drenaje N°56.
- Barranco, D., R. Fernández-Escobar y L. Rallo, 2008. El cultivo del Olivo. Ed. Mundi Prensa. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla, España. 846 p.
- Benlloch-González, M., O. Arquero, J. Fournier, D. Barranco and M. Benlloch. 2008, apr. K⁺ starvation inhibits wáter-stress-induced stomatal closure. *Journal of Plant Physiology*, 165(6): 623-630.
- Bongi, G. and A. Palliotti. 1994. Olive. (Chapter 6, pp 165-187). In: Shaffer, B. and P. Andersen (Ed.). Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops: Temperate Crops vol. 2. Florida, United States of America. 420 p. (ICRC Press)
- Bouyoucos, G. 1951, sep. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43(9): 434-438.
- Cornic, G. 2000, may. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture- not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, 5(5): 187-188.
- Faraloni, C., I. Cutino, R. Petruccelli, A. Leva, S. Lazzeri and G. Torcillo. 2010, nov. Chlorophyll fluorescence technique as a rapid tool for *in vitro* screening of olive cultivars (*Olea europaea* L.) tolerant to drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 73: 49-56.
- Fereres, E. and M.A. Soriano. 2007, nov. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2): 147-159.
- Fernández, J-E. 2014, nov. Understanding olive adaptation to abiotic stresses as a tool to increase crop performance. *Environmental and Experimental Botany*, 103: 158-179

Ferreyra, R., G. Sellés y I. Sellés. 2001. Riego Deficitario Controlado en Olivos. Boletín INIA N°59.

Goldhamer, D., M. Viveros and M. Salinas. 2006, nov. Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrigation Science*, 24: 101-114.

Greven, M., S. Neal, S. Green, B. Dichio and B. Clothier. 2009, nov. The effects of drought on the water use, fruit development and oil yield from young olive trees. *Agricultural Water Management*, 96(11): 1525-1531.

Guerfel, M., A. Beis, T. Zotos, D. Boujnah, M. Zarrouk and A. Patakas. 2009a, jul. Differences in abscisic acid concentration in roots and leaves of two young olive (*Olea europaea* L.) cultivars in response to water deficit. *Acta Physiol Plant*, 31(4):825-831.

Guerfel, M., O. Baccouri, D. Boujnah, W. Chaïbi and M. Zarrouk. 2009b, feb. Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 119(3): 257-263.

Holzappel, E., A. Pannunzio, I. Lorite, A. Silva de Oliveira and I. Farkas. 2009, dec. Design and management of irrigation systems. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(1): 17-25.

IREN. 1964. Estudio de Suelos del Proyecto Aerofotogramétrico CHILE / OEA /BID. Instituto de Investigación de Recursos Naturales. Santiago, Chile. Publicación N°2. 391p.

Krause, U., H. Koch and B. Maerlaender. 2009, jul. Soil properties effecting yield formation in sugar beet under ridge and flat cultivation. *European Journal of Agronomy*, 31(1): 20-28.

Matus, F., Osorio, A., Acevedo, A., Ortega, S. y Cazanga, R. 2002, jun. Efecto del manejo y algunas propiedades del suelo sobre la densidad aparente. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 2(1): 7-15.

Ministerio de Obras Públicas (MOP), 2013. Estrategia de recursos hídricos 2012-2025. Resumen ejecutivo. [En línea], Recuperado en: http://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf . Consultado el: 16 de noviembre de 2013.

Morales, L., F. Canessa, C. Mattar, R. Orrego y F. Matus. 2006, jul. Caracterización y zonificación edáfica y climática de la región de Coquimbo, Chile. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 6(3): 52-74.

- Moriana, A., F. Villalobos and E. Fereres. 2002, oct. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell and Environment*, 25(3): 395-405.
- Moriana, A., M. Corell, I.F. Girón, W. Conejero, D. Morales, A. Torrecillas and F. Moreno. 2013, dec. Regulated deficit irrigation based on threshold values of trunk diameter fluctuation indicators in table olive trees. *Scientia Horticulturae*, 164: 102-111.
- Palese, A.M., V. Nuzzo, F. Favati, A. Pietrafesa, G. Celano and C. Xiloyannis. 2010, jun. Effects of water deficit on the vegetative response, yield and oil quality of olive trees (*Olea europaea* L., cv Coratina) grown under intensive cultivation. *Scientia Horticulturae*, 125(3): 222-229.
- Pastor Muñoz-Cobo M., V. Macís, J. Moya y J. Girona. 2005. Influencia del riego sobre la calidad del aceite y sobre el comportamiento de la aceituna en el proceso industrial de extracción. (pp. 165-184) En: Pastor Muñoz-Cobo, M (ed.). Cultivo del olivo con riego localizado. M. (ed.). Coedición Junta de Andalucía y Mundi-Prensa, Madrid. 783 p.
- Patumi, M., R. Andria, V. Marsilio, G. Fontanazza, G. Morelli and B. Lanza. 2002, may. Olive and olive oil quality after intensive monocone olive growing (*Olea europaea* L., cv. Kalamata) in different irrigation regimes. *Food Chemistry*, 77(1): 27-34.
- Pérez-López, D., F. Ribas, A. Moriana, N. Olmedilla and A. De Juan. 2007, may. The effects of irrigation schedules on the water relations and growth of a young olive (*Olea europaea* L.) orchard. *Agricultural Water Management*, 89(3): 297-304.
- Pierantozzi, P., M. Torres, R. Bodoira and D. Maestrí. 2013, jul. Water relations, biochemical – physiological and yield responses of olive trees (*Olea europaea* L. cvs. Arbequina and Manzanilla) under drought stress during the pre-flowering and flowering period. *Agricultural Water Management*, 125: 13-25.
- Pritsa, T. and D. Voyiatzis. 2005, nov. Correlation of ovary and leaf spermidine and spermine content with the alternate bearing habit of olive. *Journal of Plant Physiology*, 162(11): 1284-1291.
- Rawls, W., L. Ahuja, and D. Brakensiek. 1992. Estimating soil hydraulic properties from soils data. pp. 329–341. In M.Th. Van Genuchten et al. (ed.). Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. Univ. of California, Riverside, CA. 718 p.
- Saffih-Hdadi, K., P. Défossez, G. Richard, Y.J. Cui, A.M. Tang and V. Chaplai. 2009, sep. A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. *Soil and Tillage Research*, 105(1): 96-103.

- Searles, P., D. Saravia and M. Rousseaux, 2009, mar. Root length density and soil water distribution in drip-irrigated olive orchards in Argentina under arid conditions. *Crop and Pasture Science*, 60(3): 280–288.
- Searles, P., M. Alcarás y M. Rousseaux. 2011, abr. El consumo del agua por el cultivo de olivo (*Olea europaea* L.) en el noroeste de Argentina: una comparación con la Cuenca Mediterránea. *Ecología Austral*, 21(1): 15-28.
- Sellin, A. 1999, jan. Does pre-dawn water potential reflect conditions of equilibrium in plant and soil water status?. *Acta Oecologica*, 20(1): 51-59.
- Smith M. and D. Kivumbi. 2002. Use of the FAO Cropwat model in deficit irrigation studies. In: Deficit irrigation practices. FAO Water Reports 22 p.
- Smith, C., M. Johnston and S. Lorentz. 1997, jul. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. *Geoderma*, 78(1-2): 93-111.
- Souza, E., A. Antonino, R. Heck, S. Montenegro, J. Lima, E. Sampaio, R. Angulo-Jaramillo and M. Vauclin. 2014, aug. Effect of crusting on the physical and hydraulic properties of a soil cropped with Castor beans (*Ricinus communis* L.) in the northeastern region of Brazil. *Soil and Tillage Research*, 141: 55-61.
- Uribe, J.M., R. Cabrera, A. De la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas Bioclimático de Chile. Agroenergía S.A. Santiago. Chile. 224p.

APÉNDICE I

Cuadro 9: Porcentaje real de agua aplicada a cada tratamiento según la ETc.

Fecha	Agua aplicada				Agua aplicada según ETc			
	T100	T75	T50	T25	T100	T75	T50	T25
	mm				%			
27-12-2012	5,33	4,00	2,67	1,33	46,86	35,15	23,43	11,72
04-01-2013	5,33	4,00	2,67	1,33	52,79	39,60	26,40	13,20
11-01-2013	5,33	4,00	2,67	1,33	51,68	38,76	25,84	12,92
18-01-2013	5,33	4,00	2,67	1,33	56,34	42,26	28,17	14,09
25-01-2013	5,33	4,00	2,67	1,33	66,94	50,21	33,47	16,74
04-02-2013	5,33	4,00	2,67	1,33	40,83	30,62	20,42	10,21
14-02-2013	6,67	5,00	3,33	1,67	46,64	34,98	23,32	11,66
18-02-2013	4,00	3,00	2,00	1,00	66,53	49,90	33,26	16,63
22-02-2013	4,00	3,00	2,00	1,00	69,22	51,92	34,61	17,31
01-03-2013	6,67	5,00	3,33	1,67	76,28	57,21	38,14	19,07
04-03-2013	4,00	3,00	2,00	1,00	95,74	71,80	47,87	23,93
08-03-2013	1,33	1,00	0,67	0,33	30,87	23,15	15,43	7,72
28-03-2013	6,67	5,00	3,33	1,67	32,48	24,36	16,24	8,12
16-04-2013	4,00	3,00	2,00	1,00	27,22	20,42	13,61	6,81
25-04-2013	4,00	3,00	2,00	1,00	64,44	48,33	32,22	16,11
10-05-2013	2,67	2,00	1,33	0,67	37,74	28,30	18,87	9,43
	Promedio				53,91	40,43	26,96	13,48

APENDICE II

Cuadro 10: Descripción morfológica del perfil del suelo en zona de estudio en la región de Coquimbo.

0-13 cm A _p	Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3); muy plástico; muy adhesivo; arcilloso; estructura prismática que rompe a bloques subangulares finos moderados. Raíces medias moderadas; poros finos abundantes; gravas finas moderadas; limite lineal claro
13-30 cm B ₁	Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4 Pardo); moderadamente plástico; muy adhesivo; arcilloso; bloques angulares medios y fuertes. Raíces medias abundantes y finas escasas; poros finos abundantes; grava fina abundante; guijarros escasos; limite lineal claro
30-58 B ₂	Pardo rojizo (5 YR 4/3); moderadamente plástico; muy adhesivo; arcilloso. Bloques subangulares finos y fuertes; grava fina y media moderadas; raíces medias moderadas y finas escasas; poros finos moderados; limite lineal claro.
58-80 cm B ₃	Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4); moderadamente plástico; muy adhesivo; arcillo limoso. Bloques subangulares medios fuertes; raíces medias y finas escasas; poros finos moderado; guijarros 15%; limite lineal claro
80-93 cm B ₄	Pardo rojizo (5 YR 4/3); moderadamente plástico; muy adhesivo; arcillo limoso; estructura masiva. Raíces finas y medias escasas; poros finos moderados; guijarros y piedras comunes; presencia de argilanes; reacción al HCl moderada.