

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MANEJOS DE PODA Y ENMIENDAS AL
SUELO SOBRE LA RESPUESTA DE PLANTAS DE OLIVO (*Olea europaea* L.) A
LA SEQUÍA EXTREMA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO**

AMÉRICO PEREIRA LEÓN

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MANEJOS DE PODA Y ENMIENDAS AL
SUELO SOBRE LA RESPUESTA DE PLANTAS DE OLIVO (*Olea europaea* L.) A
LA SEQUÍA EXTREMA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO**

**EVALUATION OF THE EFFECT OF PRUNING AND SOIL AMENDMENTS OVER
OLIVE TREES (*Olea europaea* L.) RESPONSE TO EXTREME DROUGHT AT
COQUIMBO REGION**

AMÉRICO PEREIRA LEÓN

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MANEJOS DE PODA Y ENMIENDAS AL
SUELO SOBRE LA RESPUESTA DE PLANTAS DE OLIVO (*Olea europaea* L.) A
LA SEQUÍA EXTREMA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO**

Memoria para optar a título profesional de:
Ingeniero Agrónomo.

AMÉRICO PEREIRA LEÓN

PROFESORES GUÍAS

Nicolás Franck B.
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph. D.

CALIFICACIONES

6,5

Oscar Seguel S.
Ingeniero Agrónomo, Dr.

6,8

PROFESORES EVALUADORES

Thomas Fichet,
Ingeniero Agrónomo, Dr.

5,8

Ricardo Marchant S.
Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.

7,0

Santiago, Chile
2017

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	5
Objetivo general	5
Objetivo específico	5
MATERIALES Y MÉTODO	6
Lugar de estudio	6
Materiales	6
Método	7
Variables medidas	8
Análisis estadístico	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
Propiedades de suelo	10
Fisiología de la planta	11
Potencial xilemático (Ψ_x)	11
Conductancia estomática (g_s)	13
Fotosíntesis (P_n)	15
CONCLUSIONES	17
BIBLIOGRAFÍA	18
APENDICE	22

RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar las respuestas fisiológicas de plantas de olivo (*Olea europaea* L.) sometidas a una sequía extrema desde febrero de 2013 hasta julio del año 2014, bajo combinaciones de manejos agronómicos de poda y enmiendas orgánicas de suelo. El ensayo se realizó en un huerto de olivos variedad Arbequina I-18 ubicado en Ovalle, Región de Coquimbo, Chile. El diseño fue en bloques completamente aleatorizado con estructura factorial, generando un total de 6 tratamientos y un testigo regado (TOO: Sin poda ni enmienda; TOH: Sin poda con ácido húmico; TOC: Sin poda con compost; TPO: Con poda sin enmienda; TPH: Con poda y ácido húmico; TPC: Con poda y compost; TC: Sin poda ni enmienda, con riego).

Durante la temporada se observó que el TPH disminuyó significativamente el estrés de las plantas de olivo, induciendo potenciales hídricos menos negativos luego de tres meses de aplicada la enmienda en el suelo. También mostró una tendencia a aportar una mayor cantidad de agua aprovechable, tanto en superficie como en profundidad. Por su parte, la poda tuvo una tendencia en mantener una mayor fotosíntesis neta durante la temporada de evaluación en comparación con los tratamientos no podados. Al finalizar el ensayo, el tratamiento TPH presentó la mayor tasa de recuperación de la conductancia estomática, igualándose con TC.

Palabras clave: Respuestas fisiológicas, estrés hídrico, enmiendas orgánicas, propiedades físicas de suelo, potencial hídrico.

ABSTRACT

The aim of the study was to analyze the physiological responses of olive plants (*Olea europaea* L.) subjected to extreme drought from February 2013 to July of 2014, under combinations of agricultural managements: pruning and organic soil amendments. The study was conducted in an Arbequina I-18 olive orchard located in Ovalle, Coquimbo Region, Chile. The design was in completely randomized blocks with factorial structure, generating a total of 6 treatments and a watered control (TOO: No pruning or amendment; TOH: no pruning plus humic acid; TOC: no pruning plus compost; TPO: with pruning without amendment; TPH: with pruning and humic acid; TPC: with pruning and compost; TC: no pruning no amendment, irrigated).

It was noticed that the TPH significantly decreased the stress of olive plants, inducing less negative water potential three months after the amendment was added. It was also showed a tendency to increase the water holding capacity both in surface and in depth. On the other hand, the pruning management allowed a tendency maintaining a greater photosynthesis during the season compared to the treatments without pruning. At the end of the trial, the TPH treatment showed the highest recovery rate of stomatal conductance, reaching the values of TC.

Key words: Physiological responses, water stress, organic amendments, soil physical properties, water potential.

INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno climático que conlleva consecuencias negativas para la sociedad; esta corresponde a un período de tiempo anormalmente seco y suficientemente prolongado para que la falta de agua cause un serio desbalance hidrológico, resultando en una disminución considerable del rendimiento de los cultivos y del ganado en la zona afectada (Nuñez, 2008). La severidad de la sequía depende de la magnitud del déficit de agua, la duración y, en un menor grado, del tamaño del área afectada (OMM, 1990). Las sequías presentan regímenes difíciles de determinar respecto a su duración y áreas de influencia; más aún, la sequía no es un ente estático que pueda ser expresado en términos de valores promedios basado en registros históricos (Santibáñez *et al.*, 2014). Las tendencias respecto del cambio climático global, así como el incremento sostenido en las demandas de la sociedad por el recurso hídrico, hacen que los escenarios presenten complejas relaciones dinámicas (Nuñez, 2008).

La Región de Coquimbo entre los años 2005 y 2015 presentó una marcada condición de sequía, extendiéndose entre los paralelos 29° 02' y 32° 16' de latitud sur, y desde el eje longitudinal 69° 49' oeste hasta el Océano Pacífico (SUBDERE, 2010). Según el Censo del 2002, la región de Coquimbo posee una población total de 603.210 habitantes, de la cual un 20,6% vive en áreas rurales. La especialización productiva de la zona corresponde principalmente a los sectores agropecuario y minero. Existen dos tipos de agricultura en la región; la primera dispone de recursos hídricos y la segunda, referida al secano, está dedicada predominantemente a la explotación pecuaria principalmente caprina y en menor medida ovina (SUBDERE, 2010). Respecto a la agricultura que dispone de agua de riego, el uso de ésta proviene de fuentes superficiales (ríos y embalses) y, en menor grado, de agua obtenida desde pozos profundos; sin embargo, la última sequía generó una situación hídrica desfavorable que no se veía hace más de 10 años (Tapia *et al.*, 2012).

En la Región de Coquimbo, el olivo (*Olea europaeae* L.) corresponde al tercer frutal más importante según superficie total. En cuanto a nivel comunal, Ovalle presenta 2.491,2 ha de olivos, ocupando el segundo lugar de la superficie de frutales (ODEPA, 2011). El olivo es una de las especies mejor adaptadas al ambiente mediterráneo semi-árido, tanto así que en vastas aéreas se cultiva en condiciones de secano (FAO, 2012). La capacidad del olivo para aclimatarse a distintas condiciones hídricas implica alteraciones morfológicas, anatómicas y fisiológicas a nivel de hoja. Variedades de olivos que se han adaptado a condiciones de sequía en el campo, revelan mejoramiento en la esclerofilia, con una alta densidad de tejido foliar, cutícula gruesa y capas de tricomas (Bacelar *et al.*, 2004). Según Giorio *et al.* (1999), el control estomático del olivo es el factor fisiológico más importante en la optimización del uso de agua en condiciones de sequía; así, las plantas de olivo cierran sus estomas en condiciones de alta temperatura para reducir pérdidas excesivas de agua, ya que la hoja es el órgano más sensible a los cambios ambientales. La reducción de la fotosíntesis bajo déficit hídrico, podría potencialmente ser debida a una disminución tanto en la conductancia estomática como en la conductancia del mesófilo (Guerfel *et al.*, 2009). Según Bosabalidis y

Kofidis (2002), el cierre estomático implica una reducción de la tasa fotosintética, ya que el CO₂ no puede ingresar al mesófilo. Este efecto no sólo se atribuye al cierre estomático, sino también a la inactivación de la Rubisco y la inhibición de reacciones fotoquímicas. Sin embargo, el estrés hídrico suave afecta normalmente tanto a la actividad fotosintética de la hoja como a la conductancia estomática. A medida que se produce el cierre estomático, en los estadios tempranos del estrés hídrico, el uso eficiente del agua puede aumentar (es decir, se incorpora más CO₂ por unidad de agua transpirada) debido a que el cierre estomático inhibe la transpiración más de lo que disminuye las concentraciones intercelulares de CO₂; cuando el estrés se hace grave, la deshidratación de las células del mesófilo inhibe la fotosíntesis, se desajusta el metabolismo del mesófilo y el uso eficiente del agua normalmente desciende (Taiz y Zeiger, 2006). Sin embargo, la planta ha desarrollado estrategias para seguir realizando fotosíntesis bajo condiciones de déficit hídrico, disminuyendo el potencial osmótico celular por medio de la acumulación de solutos netos. Este mecanismo conlleva al mantenimiento de la turgencia celular y, por lo tanto, a la apertura de algunos estomas (Chartzoulakis *et al.*, 2002).

Según FAO (2003), hay tres principios fundamentales para aumentar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura: mejorar la productividad por unidad de agua, disminuir las pérdidas de agua desde el suelo e incrementar el uso efectivo de ésta. Debido a esto, parte de la estrategia para realizar un uso eficiente del agua en condiciones de sequía pasa por acondicionar el suelo, favoreciendo el almacenamiento de agua aprovechable por las plantas y evitando las pérdidas superficiales que se generan por ascenso capilar. De este modo, el uso de enmiendas como estiércol o compost promueven este doble efecto, aumentando la retención de agua y actuando como un colchón anti-evaporante cuando son aplicados en superficie (Barzegar *et al.*, 2002). Como alternativa, existe la posibilidad de usar ácidos húmicos comerciales, de fácil aplicación vía riego y con efecto positivo en la retención de agua, pero con un rango de acción de corto plazo (Seguel y Vargas, 2013).

Por otro lado, la poda permite regular el tamaño de los olivos, así como la cantidad de hojas o frondosidad de los árboles (índice de área foliar). Podas severas que reduzcan el volumen de la copa o su índice de área foliar permiten reducir las necesidades de agua del olivo, con ahorros del 40% al reducir el volumen de copa del olivar desde 10.000 a 8.000 m³ ha⁻¹ (Pastor *et al.*, 1997). A partir de ello, es posible concluir que la aplicación de una poda aumentaría la tolerancia a sequía en plantas de olivo.

En el proyecto “Estrategia de manejo agronómico de especies frutales en sequía” financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo y desarrollado por la Universidad de Chile, se han establecido protocolos de manejo de olivo frente a una condición de sequía extrema, con el objeto de asegurar su sobrevivencia (Aravena, 2014). Para la presente etapa, se propone validar los mejores manejos que permitan a los agricultores pasar períodos de sequía extremos, evitando la muerte de las plantas durante la sequía y mejorando su recuperación post-sequía.

Hipótesis

Manejos agronómicos de suelo y planta, a través de enmiendas de suelo y poda, favorecerán una mayor retención de agua en el suelo y disminuirán la transpiración de la planta, mitigando los efectos negativos de la sequía en las variables fisiológicas de la planta.

Objetivo General

Evaluar los efectos de la poda y la aplicación de enmiendas de suelo sobre la respuesta fisiológica de plantas de olivo sometidas a un déficit hídrico absoluto en la Región de Coquimbo, Chile.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de diferentes enmiendas sobre las propiedades físicas de suelo bajo condición de sequía.
2. Evaluar el efecto de diferentes enmiendas del suelo y de la poda sobre variables fisiológicas de plantas de olivo sometidas a sequía.

MATERIALES Y MÉTODO

Lugar de estudio

El presente trabajo se realizó en un huerto de olivos (*Olea europaea* L.), en un predio de La Sociedad Agrícola y Ganadera Río Negro Ltda., ubicado en la Comuna de Ovalle, Provincia del Limarí, Región de Coquimbo (30° 68' latitud sur y 71° 39' longitud oeste) durante la temporada 2013-2014.

Las evaluaciones de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Por su parte el equipamiento para las evaluaciones fisiológicas de terreno pertenecen al laboratorio APA (Adaptación de Plantas a la Aridez) del Centro de Estudios de Zonas Áridas de la Universidad de Chile.

Según Uribe *et al* (2012), la zona presenta un clima de estepa con nubosidad caracterizado por frecuentes neblinas y alta humedad relativa, lluvias que llegan a los 81,6 mm por año y que se distribuyen mayoritariamente en invierno, siendo el mes más cálido enero, con una temperatura media máxima de 28,3°C y el mes más frío julio, con media mínima 5,8°C; la ETP anual sobrepasa los 1.100 mm.

El suelo está cartografiado como Serie San Julián (Aburto *et al.*, 2008), el cual corresponde a terrazas aluviales antiguas, con suelos delgados y abundante pedregosidad a partir de los 60 cm; la clase textural varía de franco arcillosa en superficie a arcilla densa en profundidad, limitando el arraigamiento de los cultivos. La pendiente es menor al 3% y presenta grava común en todo el perfil.

Materiales

Se utilizaron 90 árboles de olivo de la variedad Arbequina I-18 de 4 años de edad, establecidos en hileras de orientación norte-sur, en un marco de plantación de 4 metros entre hilera y 1,5 metros sobre hilera. El huerto posee un sistema de riego por goteo, con emisores de un caudal de 4 L h⁻¹ espaciados a 0,75 metros entre sí; se aplicaron riegos hasta febrero de 2013, fecha a partir de la cual estos fueron suspendidos completamente, como parte de la primera temporada del proyecto (Aravena, 2014).

Las enmiendas utilizadas fueron compost clase A y ácido húmico (Pow Humus®, WSG 85%) el cual corresponde a un complejo de sustancias húmicas bio-activas, derivados de

Leonardita de alta concentración, 100% soluble en agua, compuesto por extractos húmicos (85%), N_{org} (1,3%), K_2O (12%), Fe (1,1%) y un 1% de otros minerales.

Para realizar las mediciones del potencial xilemático foliar (Ψ_x) se utilizó una cámara de presión tipo Scholander (PMS 1505D), mientras que para determinar las variables de fotosíntesis (P_n) y conductancia estomática (g_s) se utilizó un analizador de gases infrarrojo (IRGA; ADC LCPro+).

Método

En octubre de 2012 se realizó una caracterización morfológica del suelo para asegurar su homogeneidad en el ensayo, siguiendo los estándares de Schoeneberger *et al.* (2012). Posteriormente se realizó una caracterización física del suelo, evaluando por horizonte genético y hasta una profundidad de 1 m la distribución de tamaño de partículas mediante el hidrómetro de Bouyoucos, curva característica mediante olla y plato de presión y densidad aparente por el método del cilindro, todas descritas por Dane y Topp (2002). Para el presente estudio, al cabo de dos meses de aplicación de las enmiendas se volvieron a medir, para cada tratamiento y repetición, la curva característica y la densidad aparente por horizonte de suelo hasta los 30 cm de profundidad, que correspondió a la zona de máxima acumulación de raíces. Para cumplir con los objetivos, se establecieron los tratamientos detallados en el Cuadro 1.

El ensayo consistió en un diseño en bloques completamente aleatorizado con estructura factorial, donde se evaluaron los factores poda (dos niveles: sin poda y con poda severa, esta última retirando alrededor del 70% de follaje) y enmienda de suelo (tres niveles: sin enmienda, enmienda con ácido húmico y enmienda con compost), siendo el bloque cada una de las hileras, resultando así seis tratamientos con cinco repeticiones cada uno. Se designó como unidad experimental a tres árboles dispuestos consecutivamente sobre la hilera y como unidad de observación al árbol del medio, con el fin de eliminar el efecto borde. Los árboles correspondieron a plantas sometidas al mismo tratamiento de poda y enmienda de la primera temporada del proyecto (febrero de 2013), cuyos resultados detalla Aravena (2014).

Cuadro 1. Tratamientos realizados en olivos variedad Arbequina, Región de Coquimbo.

Tratamiento	Tipo de enmienda	Poda
TPO	Sin enmienda	Con poda
TOO	Sin enmienda	Sin poda
TPH	Acido húmico	Con poda
TOH	Acido húmico	Sin poda
TPC	Compost	Con poda
TOC	Compost	Sin poda

Adicionalmente, se incorporó un tratamiento con plantas que han sido sometidas a riego desde su plantación (tratamiento control TC), manteniendo este manejo durante el ensayo. Dicho tratamiento permitió analizar las variables medidas en los tratamientos respecto de plantas no sometidas a sequía. Las repeticiones del TC se ubicaron en los extremos (alternando aleatoriamente el extremo) de los bloques, también con cinco repeticiones.

Las enmiendas se aplicaron los primeros días de diciembre de 2013 con el fin que, durante ese mes, pudieran cumplir su función de mejorar la estructura del suelo. Para esto se depositó la enmienda en una zanja de 20 cm de profundidad, justo debajo de la línea de goteo y según las siguientes dosis: Compost: se aplicaron 10 kg en la unidad experimental (equivalente a 20 Mg ha⁻¹); Ácido húmico: se disolvieron 135 g en 100 litros de agua, aplicando 10 litros por unidad experimental (equivalente a 30 kg ha⁻¹). Para incorporar la enmienda de ácido húmico se aplicó un riego (que también se aplicó al resto de las unidades experimentales).

La poda se llevó a cabo en diciembre, simulando una poda mecanizada, eliminando el material vegetal que se encontraba a más de 20 centímetros desde el eje central en el sentido de la hilera, dejando así una copa de 40 cm de ancho.

Variables medidas

El potencial hídrico xilemático (Ψ_x) se midió cada 15 días en cada repetición en pre alba y mediodía en un brote expuesto al sol de la porción media de la copa. Se utilizó el método propuesto por SEPOR (2009). Para esto, al medio día se envolvió una ramilla por planta con un film plástico y, luego, con un film de papel de aluminio. Se dejó reposar durante al menos 30 minutos con el fin que el potencial xilemático llegase a equilibrio. Posteriormente, se retiró la muestra y se colocó dentro de la cámara de presión tipo Scholander, se tapó y se observó con una lupa la presión a la que ocurrió la salida de la gota de agua desde la zona de corte de la ramilla. Para evitar errores en la medición, el tiempo transcurrido entre la toma de la ramilla y la medición no fue superior a 20 segundos.

En las mismas fechas de las mediciones anteriores, se midió la fotosíntesis neta (P_n) y la conductancia estomática (g_s) a través del analizador de gases infrarrojo (IRGA), en hojas expuestas al sol de cada lado de la hilera (dos hojas por planta). Dichas mediciones se realizaron a mediodía; también se realizó una medición inicial previa al inicio del estrés.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, los datos fueron analizados mediante un ANDEVA de dos factores (poda y enmienda) con un nivel de confianza del 95%. Al encontrar diferencias estadísticamente significativas los promedios obtenidos fueron comparados a través de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$). Para la comparación de datos respecto al tratamiento control regado se realizó un análisis de modelos mixtos con repeticiones en el tiempo ($p \leq 0,1$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del efecto de diferentes enmiendas sobre las propiedades del suelo

La caracterización inicial realizada por Aravena (2014); confirma la presencia de un suelo con pedregosidad abundante en profundidad y un subsuelo con bajo desarrollo estructural, tendiente a masivo. La clase textural superficial es franco arcillosa, en tanto en profundidad corresponde a arcillosa. Los principales efectos que se produjeron sobre el suelo al cabo de un mes de aplicadas las enmiendas en esta segunda temporada de estudio, se pueden ver en el Cuadro 2. Las respectivas curvas características, a partir de la cual se derivó la porosidad gruesa (PDR) y el agua aprovechable (AA) se presentan en el Apéndice 1. La densidad aparente varió en superficie entre los 0,91 y 1,23 Mg m⁻³, su contenido promedio de agua a capacidad de campo (tensión de 33 kPa) fue de 32,6% y a punto de marchitez permanente (tensión 1.500 kPa) fue de 22,3%, ambos en base volumétrica, mientras que en profundidad (11-30 cm) la densidad aparente varió entre los 1,24 y 1,36 Mg m⁻³, su contenido promedio de agua a capacidad de campo fue de 38,5% y a punto de marchitez permanente fue de 25,2%.

Cuadro 2. Densidad aparente (Da), poros de drenaje rápido (PDR) y agua aprovechable (AA) para cada enmienda. Promedios con sus respectivas desviaciones estándar (\pm DS).

Tratamiento	Profundidad. (cm)	Da (Mg m ⁻³)	PDR (%)	AA (%)
T0	0-10	1,23 (\pm 0,06)	18,5 (\pm 5,2%)	11,4 (\pm 3,2%)
TC	0-10	0,91 (\pm 0,04)	27,9 (\pm 3,1%)	7,2 (\pm 5,1%)
TH	0-10	1,18 (\pm 0,11)	18,5 (\pm 6,4%)	11,5 (\pm 3,1%)
T0	>10-30	1,34 (\pm 0,14)	10,9 (\pm 2,6%)	12,7 (\pm 2,2%)
TC	>10-30	1,36 (\pm 0,10)	9,3 (\pm 7,2%)	15,0 (\pm 3,4%)
TH	>10-30	1,24 (\pm 0,20)	16,9 (\pm 5,3%)	20,6 (\pm 5,1%)
Significancia		ns	ns	Ns

En el Cuadro 2 se puede observar que el tratamiento con compost en superficie obtuvo la menor Da, aunque no se presentaron diferencias estadísticas significativas con el resto de los tratamientos. En el trabajo de Seguel *et al.* (2003), en un mollisol de la zona central de Chile, la aplicación de compost generó una menor Da en superficie, pero con un efecto no tan marcado comparativamente con las aplicaciones de estiércol. Lo mismo observó Aravena (2014), donde el estiércol aportó mayor porosidad en superficie y el compost tuvo un resultado similar al tratamiento sin enmienda. Respecto a los PDR ($>$ 50 μ m), no se encontraron diferencias entre tratamientos, pero según Ferreyra *et al.* (2006), valores de PDR menores al 10% afectarían el metabolismo de los frutales, condición que se da

únicamente en el tratamiento con compost en profundidad (10-30 cm), lo que podría atribuirse a que las aplicaciones en cobertura de las enmiendas sólidas genera una discontinuidad en el sistema poroso del suelo (Seguel *et al.*, 2013a). Por otra parte, el ácido húmico generó una mayor continuidad de la Da y los PDR a lo largo del perfil, al igual que en los resultados obtenidos por Aravena (2014). En cuanto al agua aprovechable, el tratamiento que mostró la mejor tendencia en sus resultados fue el ácido húmico, tanto en superficie como en profundidad, llegando a registrar una altura de agua aprovechable de 52,7 mm, en tanto el testigo y el tratamiento con compost, alcanzaron valores de 36,8 y 37,2 mm, respectivamente. Resultado similar obtuvo Olivares (2016) en un estudio sobre paltos en sequía, reportando que el tratamiento de ácido húmico en profundidad obtuvo el mayor porcentaje de agua aprovechable comparado con aplicaciones de guano y un tratamiento testigo sin enmienda. Según Julca *et al.* (2006), la enmienda de ácido húmico, debido a su composición forma huminas, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos, generando un efecto sobre las propiedades físicas del suelo, la cual incluye la formación de agregados, los cuales proporcionan una mayor estabilidad estructural, favoreciendo la retención de agua por parte del suelo.

Evaluación del efecto de diferentes enmiendas de suelo y de la poda sobre la fisiología de la planta

Potencial xilemático (Ψ_x)

El efecto de los tratamientos sobre el potencial xilemático se presenta en las figuras 1 y 2 para las mediciones de prealba y mediodía solar, respectivamente. En la Figura 2, falta la medición del 10 de julio debido a las precipitaciones que comenzaron al medio día, imposibilitando toda labor posterior a prealba.

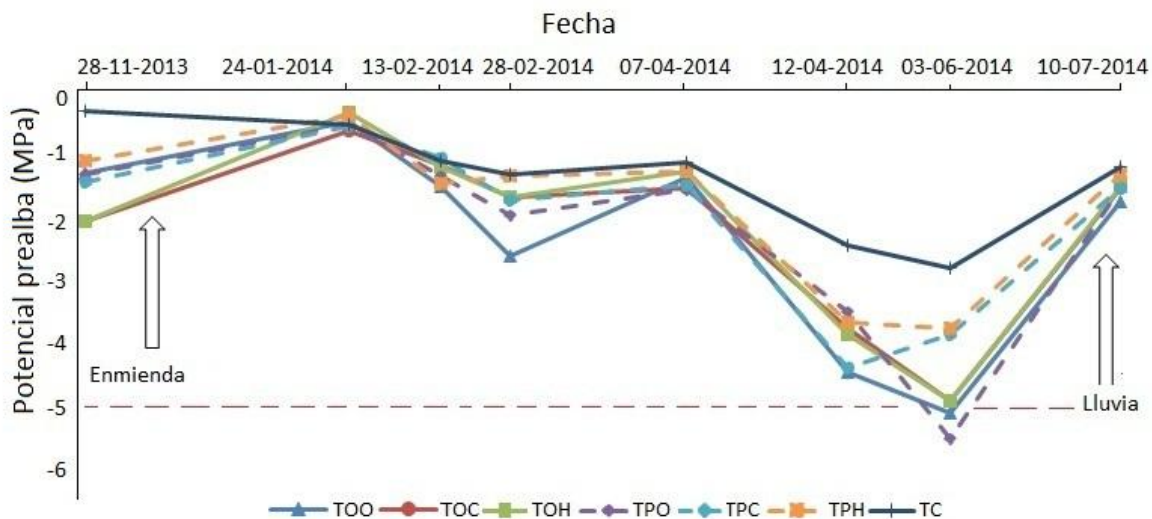


Figura 1. Evolución estacional del potencial xilemático de prealba en olivos sometidos a sequía absoluta durante el desarrollo del ensayo (TOO: sin enmienda ni poda; TOC: sin poda con compost; TOH: sin poda con ácido húmico; TPO: sin enmienda con poda; TPC: con poda y con compost; TPH: con poda y ácido húmico; TC: sin poda ni enmienda, con riego). El 20-01-2014 (segunda fecha) fue el comienzo de la sequía y el 10-07-2014 ocurrió la primera lluvia del año.

En la Figura 1 se observa que, al comienzo del ensayo (24 de enero), todos los tratamientos tienen un comportamiento similar, pero a medida que pasa el tiempo, los tratamientos se logran diferenciar del tratamiento control (TC), aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Luego de la primera lluvia del año, todos los tratamientos se recuperaron de igual forma, volviendo a una condición similar respecto al inicio de la sequía. El tratamiento podado sin enmienda (TPO) destacó por llegar a tener el potencial más bajo, de -5,5 MPa, lo que representa un alto nivel de estrés de acuerdo a lo establecido por Dichio *et al.* (2006). A pesar que los estomas se cierran parcialmente en respuesta al estrés hídrico, los árboles maduros de olivo pueden recuperarse de condiciones extremas de sequía, que resultan en potenciales xilemáticos de hasta -8MPa (Moriani *et al.*, 2002). Esta capacidad de resistir el estrés explicaría la recuperación que tuvieron todos los tratamientos posterior a la lluvia, obteniendo valores en general superiores a -2 MPa, situándolos en una condición libre de estrés, ya que Ahumada (2012), señala que árboles de olivo con $\Psi_x \geq -2,1$ MPa poseen un estado hídrico normal, y bajo este ($\Psi_x < -2,1$ MPa) presentan niveles de estrés.

Al analizar la fecha anterior a la primera lluvia (3 de junio) que correspondió a la de valores más negativos de Ψ_x de prealba, se observó un efecto interacción entre el factor poda y el factor enmienda, de lo cual se desprende que los tratamientos que obtuvieron los valores de Ψ_x menos negativos fueron aquellos a los que se le aplicó una enmienda de compost y de ácido húmico en conjunto con la realización de poda (Cuadro 3).

Cuadro 3. Potencial xilemático de prealba (MPa) para la evaluación del 3 de junio de 2014. Promedios con sus respectivas desviaciones estándar (\pm DS).

3 de junio	Sin enmienda	Compost	Ácido húmico	Promedio
Sin poda	-5,1 (\pm 0,07) b	-4,96 (\pm 0,06) b	-4,95 (\pm 0,06) b	-5,01 (\pm 0,06)
Con poda	-5,5 (\pm 0,09) b	-3,86 (\pm 0,03) a	-3,77 (\pm 0,02) a	-4,37 (\pm 0,05)

Promedios con letras distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas según la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

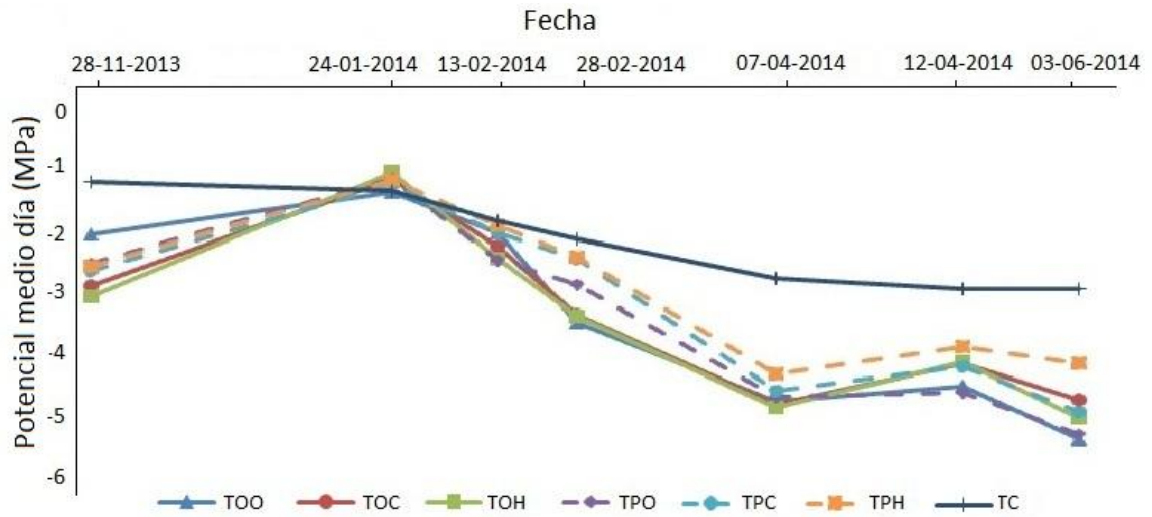


Figura 2. Evolución estacional del potencial xilemático de mediodía solar en olivos sometidos a sequía absoluta durante el desarrollo del ensayo (TOO: sin enmienda ni poda; TOC: sin poda con compost; TOH: sin poda con ácido húmico; TPO: sin enmienda con poda; TPC: con poda y con compost; TPH: con poda y ácido húmico; TC: sin poda ni enmienda, con riego).

Para los potenciales de mediodía solar (Figura 2), se observa una tendencia similar a la medición de prealba. Luego de la aplicación de las enmiendas de suelo, se puede apreciar que, a largo plazo, el tratamiento que obtuvo una mejor respuesta, mostrando valores de potencial xilemático más altos, fue el tratamiento con poda y ácido húmico (TPH), aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Cabe recordar que, al momento de iniciar las evaluaciones, los árboles llevaban un año de sequía absoluta y, aun así, las diferencias de potencial con el testigo regado no son de más de 2MPa. Los valores de mediodía solar son más negativos en comparación a los de prealba, lo que se debe al gradiente que se forma respecto al déficit de presión de vapor (DPV) que existe entre la atmósfera y la hoja del olivo, a diferencia del horario prealba, en que los estomas se encuentran cerrados y en equilibrio con el Ψ_x del suelo (Squeo y León, 2007).

Conductancia estomática (g_s)

Respecto a la g_s , la Figura 3 muestra los resultados obtenidos en los tratamientos a lo largo del ensayo, observándose interacciones entre los factores.

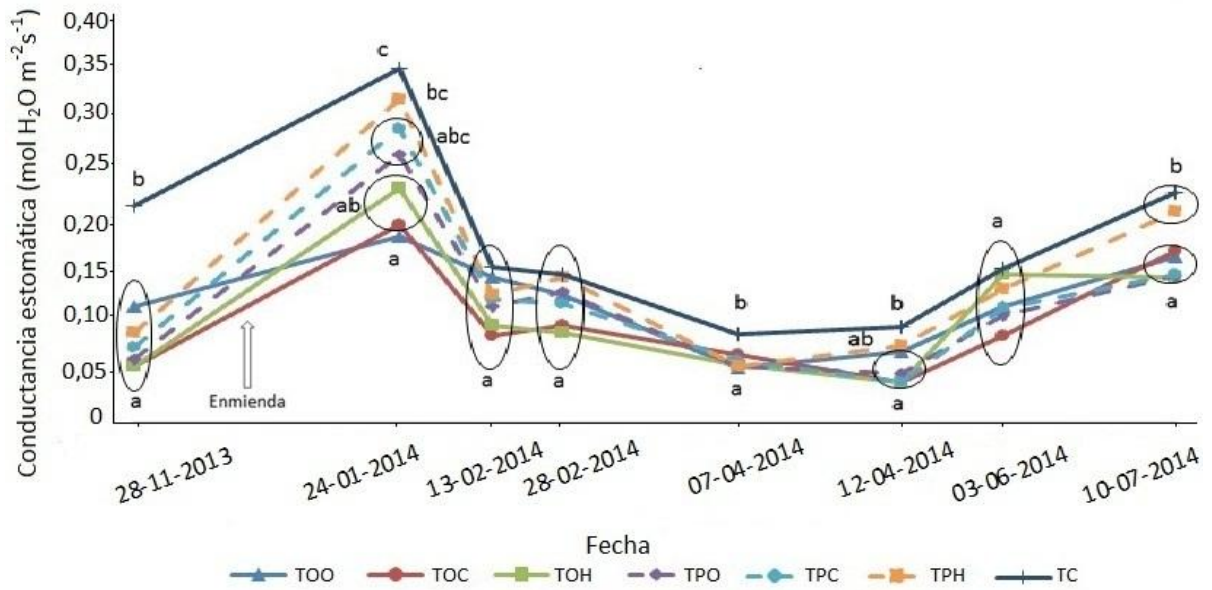


Figura 3. Evolución estacional de la conductancia estomática (g_s) de olivos sometidos a sequía absoluta durante el desarrollo del ensayo (TOO: sin enmienda ni poda; TOC: sin poda con compost; TOH: sin poda con ácido húmico; TPO: sin enmienda con poda; TPC: con poda y con compost; TPH: con poda y ácido húmico; TC: sin poda ni enmienda, con riego). Letras diferentes para una misma fecha indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Al comienzo de las mediciones, se observaron marcadas diferencias de los tratamientos en comparación al testigo regado, pero en la siguiente fecha (24 de enero del 2014), los tratamientos podados se diferenciaron de los no podados, presentando un incremento de g_s . El mayor incremento se presentó en el tratamiento TPH donde en la última medición se puede diferenciar respecto a todos los otros tratamientos, presentando niveles de g_s comparables a los del testigo regado, lo que indica un efecto positivo de este tratamiento sobre el olivo, lo que podría deberse a que, después de 3 meses de aplicar la enmienda, comienza a generar el máximo efecto del ácido húmico en el suelo (Seguel *et al.*, 2013b). En dicho caso, el incremento del agua aprovechable en profundidad (Cuadro 2) habría permitido mantener una g_s en un nivel similar al control con riego.

Según Sofo *et al.* (2007), cuando los potenciales hídricos llegan a los $-1,5$ MPa, el intercambio gaseoso de hojas de olivo se detiene, en conjunto con una inhibición del crecimiento. Sin embargo, a lo largo de este ensayo, se observó que el intercambio gaseoso no se detuvo durante el periodo de sequía, al menos hasta el 3 de junio, fecha en la cual se observó el valor más bajo de Ψ_x ($-5,5 \pm 0,09$ MPa) en el tratamiento en que se realizó poda y no se aplicó enmienda (Figura 1).

Por otro lado, la g_s observada en el tratamiento con enmienda de ácido húmico y sin poda fue, a lo largo del ensayo, nunca menor a los $0,039 (\pm 0,03)$ mol $m^{-2} s^{-1}$, en línea con los

valores entre los 0 y los $0,14 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ reportados para la misma variedad de olivos sometidos a tratamientos de déficit hídrico por Pastenes y Garrido (2013).

Si bien el olivo es una especie que cierra sus estomas bajo condiciones de déficit hídrico, este ocurre a niveles de potencial hídrico más negativos que otras especies leñosas cultivadas (FAO, 2012); así mismo, el cierre estomático es un mecanismo efectivo de ahorro de agua, posiblemente debido a una superficie cuticular altamente hidrofóbica a nivel de sus hojas. Finalmente, el cierre estomático y su consecuente disminución en la actividad fotosintética no conllevan a niveles de fotoinhibición perceptibles. Lo anterior implica que esta especie es, muy probablemente, capaz de resistir situaciones temporales de déficit hídrico, sin pérdidas permanentes en su capacidad de crecer y producir (Pastenes y Garrido, 2013).

Fotosíntesis (P_n)

El comportamiento de P_n en los tratamientos fue muy similar a los datos obtenidos de g_s (Figura 4). Esto se debe a que con el estrés hídrico se reduce la conductancia estomática, la que a su vez reduce la asimilación de CO_2 (Sánchez-Díaz y Aguirreolea 2008).

A lo largo de las mediciones, los tratamientos mostraron una respuesta fluctuante pero homogénea entre ellos, generalmente diferenciados del control regado. Cabe destacar que, en la última medición, se logró obtener una diferencia por parte del TOO como el tratamiento con el valor más bajo de fotosíntesis neta. Pastenes *et al.* (2011), observaron que árboles podados recibían una mayor intensidad luminosa que árboles que no fueron podados, lo cual resulta en que los árboles podados registraban tasas de asimilación fotosintética significativamente mayores a aquellos no podados. En el caso del presente ensayo, en línea con el efecto de la poda en paltos sometidos a sequía observado por Olivares (2016), la mayor P_n se asociaría a una mayor g_s producto de la menor área foliar de la planta, asociada a una menor transpiración y consecuente una reducción del Ψ_x .

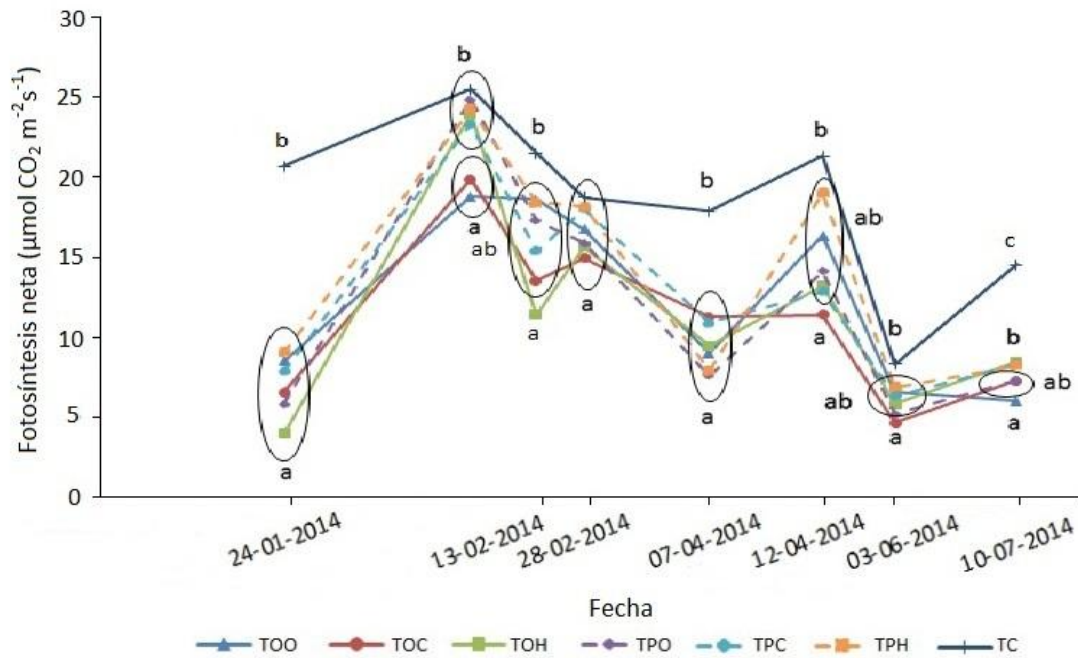


Figura 4. Evolución estacional de la fotosíntesis neta (P_n) de olivos sometidos a sequía absoluta durante el desarrollo del ensayo (TOO: sin enmienda ni poda; TOC: sin poda con compost; TOH: sin poda con ácido húmico; TPO: sin enmienda con poda; TPC: con poda y con compost; TPH: con poda y ácido húmico; TC: sin poda ni enmienda, con riego). Letras diferentes para una misma fecha indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Se ha comprobado que las hojas de olivo presentan sus estomas completamente abiertos temprano en la mañana, cuando el déficit de presión de vapor es bajo, manifestando entonces una mayor asimilación de carbono y baja tasa de transpiración (FAO, 2012). Por el contrario, antes del mediodía, los estomas se cierran parcialmente, reduciendo la fotosíntesis neta y la transpiración (Gimenez *et al.* 1997). Según Angelopoulos *et al.* (1996), la conductancia estomática limitaría la fotosíntesis en plantas de olivo sujetas a un déficit hídrico moderado. Sin embargo, en el presente estudio se encontró una interacción entre la enmienda de ácido húmico y la poda, logrando un funcionamiento fisiológico de la planta que genera expectativas al momento de enfrentar una sequía, siendo necesario continuar con los estudios relacionados a estos manejos agronómicos.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el ensayo, se concluyó que la aplicación de enmiendas de ácido húmico generó una mayor tendencia en la continuidad de la Da y la porosidad a lo largo del perfil; también fue el tratamiento que aportó una mayor cantidad de agua aprovechable, principalmente en profundidad.

En cuanto a la poda, existió un efecto en el potencial xilemático medido en pre alba, disminuyendo el estrés en la planta. Este manejo presentó ventajas en la etapa temprana de la sequía, con mayores niveles de conductancia estomática y fotosíntesis neta respecto a las plantas sin poda, pero las diferencias desaparecieron en el tiempo.

El tratamiento TPH mostró la mejor recuperación al final del ensayo, en cuanto a conductancia estomática y potencial xilemático de prealba, alcanzando estas variables los mismos valores que el tratamiento control regado (TC). No así el tratamiento TOO que obtuvo el peor valor de fotosíntesis al final del ensayo, validando que la poda y la aplicación de enmiendas son una efectiva estrategia para mitigar el estrés por sequía en el olivo. Entre las enmiendas, aquella con ácido húmico presentó los resultados más promisorios en términos de reducción del estrés.

BIBLIOGRAFÍA

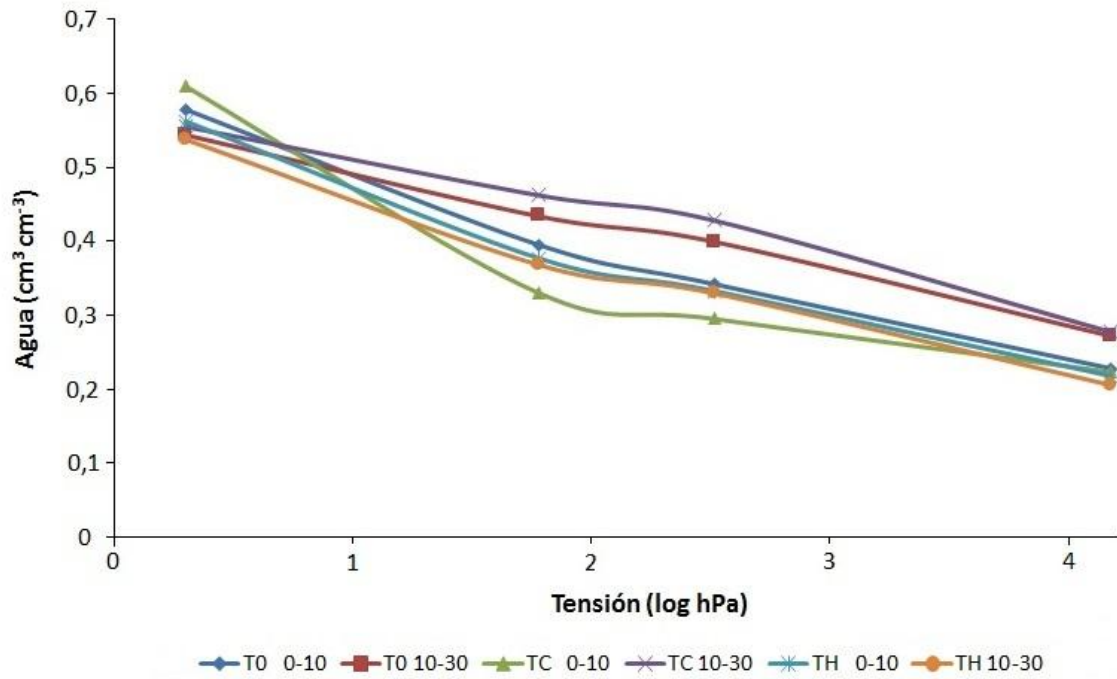
- Aburto, F., C. Hernández, M. Pfeiffer, M. Casanova and W. Luzio. 2008. Northern Field-Guide Between 30° S and 33° 30' S. In: The International Conference & Field Workshops on soil classification. Soil: A work of art of nature. Santiago, Chile, 9-18th Nov.
- Ahumada, L. 2012. Desarrollo de índices fisiológicos para determinar el óptimo estrés hídrico en olivo cv. Arbequina. Tesis de Magíster. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía. 37p.
- Angelopoulos, K., Dichio, B. and Xiloyannis, C. 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *Journal of Experimental Botany*. 301: 1093-1100.
- Aravena, A. 2014. Evaluación del efecto de manejos de poda y enmiendas de suelo sobre la respuesta de plantas de olivo (*Olea europaea* L.) al estrés hídrico absoluto en la Región de Coquimbo. Memoria Ing. Agrónomo. Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agronómicas. 40 p.
- Bacelar, E., C. Correia, J. Moutinho-Pereira, B. Goncalves, J. Lopes and J. Torres-Pereira. 2004. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars growing under drought conditions. *Tree Physiology*. 24: 223-239.
- Barzegar, A. R., A. Yousefi and A. Daryashenas. 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil*. 247: 295-301.
- Bosabalidis, A. and G. Kofidis. 2002. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Science*. 163: 375-379.
- Chartzoulakis, K., A. Patakas, G. Kofidis, A. Bosabalidis and A. Nastou. 2002. Water estress effects leaf anatomy, gas exchange, water relation and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae*. 95: 48-49.
- Dane, J. H. and Topp, G. C. (Eds.). 2002. Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America. Book Series N° 5. Madison, Wisconsin, USA. 1692 p.
- Dichio, B., C. Xiloyannis., A. Sofo and G. Montanaro. 2006. Osmotic regulation in leaves and roots of olive trees during a water deficit and rewatering. *Tree Physiology*. 26(2): 179-185.

- FAO. 2003. Principios básicos para mejorar la productividad del agua. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/y4525s/y4525s06.htm#bm06.3>. Leído: 20 de septiembre 2013.
- FAO. 2012. Crop yield response to water. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i2800e/i2800e00.htm>. Leído: 20 de septiembre 2013.
- Ferreira, R.; G. Sellés; P. Maldonado; J. Celedón; C. Barrera y P. Gil. 2006. La asfixia radicular y el manejo de aireación en palto. En: Seminario Internacional: Manejo del riego y Suelo en el Cultivo del Palto. La Cruz, Chile: INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 21p. (Serie Actas INIA N°41).
- Gimenez, C., E. Fereres, C. Ruz and F. Orgaz. 1997. Water relationship and gas exchange of olive trees: diurnal and seasonal patterns of leaf water potential, photosynthesis and stomatal conductance. *Acta Horticulturae*. 449: 411-415.
- Giorio, P., G. Sorrentino and R. d'Andria. 1999. Stomatal behaviour leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. *Environmental and Experimental Botani*. 42: 95-104.
- Guerfel, M., O. Baccouri, D. Boujnah, W. Chaibi and M. Zarrouk. 2009. 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: 257-263.
- Julca, A., L. Meneses, R. Blas y S. Bello. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. Universidad de Tarapacá. *Revista IDESIA* (24): 49 – 61.
- Moriana, A., F. Villalobos and E. Fereres. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant Cell and Environment*. 25(3): 395-405.
- Núñez, J. 2008. Análisis regional de frecuencias de la precipitación anual de la IV Región de Coquimbo, Chile. Etapa 2. Identificación de zonas homogéneas. Informe final. CAZALAC. 32 p.
- ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Chile. 2011. Catastro Frutícola, Principales Resultados IV Región de Coquimbo / Julio 2011. Santiago, Chile: ODEPA 44p.
- Olivares. D. 2016. Evaluación del efecto del manejo de poda y uso de enmiendas en el suelo sobre la respuesta del Palto (*Persea americana* M.) a la Sequía en la Región de Coquimbo. Memoria Ing. Agrónomo. Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agronómicas. 23p.

- OMM (Organización Meteorológica Mundial), Ginebra. 1990. Glosario de Términos Usados en la Agrometeorología. Disponible en: <http://www.wamis.org/agm/pubs/CAGMRep/CAGM40.pdf>. Leído: 26 de Septiembre 2013.
- Pastenes, C., E. Kania., J. González y R. Callejas. 2011. Interceptación de luz y fotosíntesis en olivos con y sin poda. 3: 53 - 65. In: T. Fichet, B. Razeto y T. Curkovic. El olivo: estudio agronómico en la Región de Atacama. Serie Ciencias Agronómicas N° 16. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 171 p.
- Pastenes, C. y D. Garrido. 2013. Estrés hídrico en olivos. 4: 87 – 99. In: T. Fichet y J. L. Henríquez. Aportes al conocimiento del olivo en Chile. Santiago, Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 21. Universidad de Chile. 266 p.
- Pastor, M., J. Hidalgo y V. Vega. 1997. Riego del olivar en la comarca de La Loma (Jaén). *Vida Rural*, 1(44): 34-40.
- Sánchez-Díaz, M. y J. Aguirreolea. 2008. Transpiración y control estomático. (cap. 3, pp. 41-56). En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (Eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. Segunda edición. Madrid, España: McGRAW-HILL Interamericana. 667p.
- Santibáñez, F., P. Santibáñez, C. Caroca, P. Morales, P. Gonzales, N. Gajardo, *et al.* 2014. Atlas del cambio climático en las zonas de régimen árido y semiárido. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 136 p. Color.
- Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, D. C. Benham and W. D. Broderson (Eds.). 2012. Field book for describing and sampling soils, Edition 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Lincoln, NE, USA.
- Seguel, O., V. García de Cortázar y M. Casanova. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica* 63 (3): 287 – 297.
- Seguel, O., C. Baginsky, A. Contreras, J. I. Covarrubias, C. González and L. Poblete. 2013a. Physical properties of a fine textured haplocambid after three years of organic matter amendments management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13 (3): 690 – 705.
- Seguel, O., O. Salazar y B. Sagredo. 2013b. Propiedades físicas de suelo en camellones tratados con ácido sulfúrico y ácido húmico. *Red Agrícola*. 48: 36-37.
- Seguel, O. y D. Vargas. 2013. Efecto del uso del ácido húmico sobre las propiedades hidráulicas e hidrofobia del suelo. *Red Agrícola*. 54: 28-29.

- Servicio de Programación y Optimización del Uso del Agua de Riego (SEPOR). 2009. Uso de la cámara de presión para el monitoreo del estado hídrico de las plantas. Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca. Cartilla de divulgación. 4 p.
- Sofo, A., S. Manfreda, B. Dichio, M. Fiorentino and C. Xiloyannis. 2007. The olive tree: a paradigm for drought tolerance in Mediterranean climates. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 4: 2811-2835.
- Squeo, F. y M. León. 2007. Transpiración (cap. 3, pp. 67-84). En: Squeo F. y Cardemil, L. (Eds.). Fisiología vegetal. [en línea]. Primera edición. La Serena, Chile: Ediciones Universidad de La Serena. Recuperado en: <http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf_word/Capitulo%2003.pdf>. Leído el: 20 de octubre de 2015.
- SUBDERE (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo), Chile. 2010. Articulación y Actores para la Descentralización en 3 Regiones de Chile. Programa Ciudadanía y Gestión Pública. Región de Los Lagos, Chile: SUBDERE. 75p. Recuperado en: <http://www.subdere.gov.cl/sites/default/noticiasold/articles-82969_recurso_2.pdf> Leído el: 12 de septiembre de 2013.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Fisiología vegetal. Universitat Jaume I. España. Vol (1): 1338 p.
- Tapia, F., A. Ibacache, R. Meneses, G. Lobos, I. Maldonado, R. Ruiz, *et al.* 2012. Boletín nacional de análisis de riesgos agroclimáticos para las principales especies frutales y cultivos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 14 p.
- Uribe, J., R. Cabrera, A. De la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas Bioclimático de Chile. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. 229 p. Color.

APENDICE



Apéndice 1. Curva de retención de agua para las distintas enmiendas (TO: sin enmienda, TC: compost, TH: ácido húmico) entre los 0-10 y 11-30 cm de profundidad.