

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 EL POTENCIAL HÍDRICO DE LOS BROTES DE OLIVOS
(*Olea europaea* L.) SOMETIDOS A DÉFICIT HÍDRICO ABSOLUTO EN LA
REGIÓN DE COQUIMBO**

ANDREE GERARD ARAVENA CÓRDOVA

Santiago, Chile

2014

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 EL POTENCIAL HÍDRICO DE LOS BROTES DE OLIVOS
(*Olea europaea* L.) SOMETIDOS A DÉFICIT HÍDRICO ABSOLUTO EN LA
REGIÓN DE COQUIMBO**

**EVALUATION OF THE EFFECT OF PRUNING AND SOIL AMENDMENTS
ON SHOOT WATER POTENTIAL OF OLIVES (*Olea europaea* L.) UNDER
ABSOLUTE WATER DEFICIT IN THE REGION OF COQUIMBO, CHILE**

ANDREE GERARD ARAVENA CÓRDOVA

Santiago, Chile

2014

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MANEJOS DE PODA Y ENMIENDAS AL SUELO SOBRE EL POTENCIAL HÍDRICO DE LOS BROTES DE OLIVOS (*Olea europaea* L.) SOMETIDOS A DÉFICIT HÍDRICO ABSOLUTO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo.

ANDREE GERARD ARAVENA CÓRDOVA

PROFESORES GUÍAS

CALIFICACIONES

Nicolás Franck Berger
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

6,5

Oscar Seguel Seguel
Ingeniero Agrónomo, Dr.

6,8

PROFESORES EVALUADORES

Herman Silva Robledo
Profesor de Biología y Ciencias, Mg. Sc. Dr.

6,0

Cecilia Baginsky Guerrero
Ingeniera Agrónoma, Dra.

5,8

Santiago, Chile

2014

*Dedicada a mi madre
Maritza por su amor
silente y su ayuda
constante; y a mi
mamá Kika por
aquella protección y
preocupación para
conmigo y mi
hermano.*

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a todas las personas que colaboraron, de forma directa o indirecta, en la realización de memoria.

Agradezco en primer lugar a mis profesores guías, Oscar Seguel y Nicolás Franck, por la paciencia, comprensión, conocimientos, ayuda y dedicación a lo largo de la realización de esta memoria.

A Francisco Alfaro por acompañarme a realizar las mediciones y por enseñarme acerca de los fundamentos de los instrumentos de medición y por la utilización los mismos; así como a don Hugo por la colaboración y buena disposición que tuvo conmigo en el Laboratorio de Física de Suelos.

A don José Miguel Jopia y a la “Sociedad Agrícola y Ganadera Río Negro Ltda.” por permitirme utilizar los olivos de su huerto y por la total disposición a que las cosas resultaran de la mejor forma posible, aún a sabiendas que las plantas podían fallecer a lo largo del ensayo.

Agradezco enormemente a mi familia, a mi madre y hermano por ser mis pilares a lo largo de mi carrera, ejemplos de esfuerzo y dignos de mi admiración. A mi tío Erik por irme a buscar y a dejar al terminal cuando era muy tarde y a mi mamá Kika por creer en mis capacidades desde pequeño.

Agradezco encarecidamente a mi novia, Andrea Barrera, por la ayuda, el aliento y la motivación para continuar y dar término a mis estudios, por prepararme colaciones para mis viajes y por toda la preocupación que ha tenido para conmigo hasta el día de hoy.

Finalmente, agradezco al Fondo de Inversión a la Competencia (FIC) por el financiamiento al Proyecto FIC-R 2012 “Estrategia de manejo agronómico de especies frutales en sequía”.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Lugar de estudio.....	6
Materiales	6
Métodos.....	7
Variables medidas	9
Análisis estadístico.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
Caracterización inicial.....	11
Propiedades de suelo post aplicación de enmiendas	11
Densidad aparente	11
Curva característica y distribución de tamaño de poros.....	13
Estabilidad de microagregados	16
Contenidos de agua en el suelo	17
Resultados en la planta.....	20
Fluorescencia de clorofilas	20

Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada	20
Potencial hídrico de brote.....	21
Efecto de la enmienda en el potencial hídrico de brote.....	22
Conductancia estomática	23
Tasa fotosintética	25
Producción en base a peso fresco obtenida en cosecha.....	28
CONCLUSIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	31
APÉNDICE	35
Apéndice 1.....	35
Apéndice 2.....	37
Apéndice 3.....	38
Apéndice 4.....	39

RESUMEN

Debido a la sequía que ha afectado a la Región de Coquimbo en los últimos años, se decidió estudiar el efecto de manejos de poda y de enmiendas al suelo en huertos de olivo de la variedad Arbequina sometidos a sequía absoluta, durante la temporada 2012-2013, en la localidad de Tabalí, Región de Coquimbo, Chile.

Las plantas se escogieron bajo una condición hídrica similar, a las cuales se les aplicaron diferentes tratamientos establecidos por dos factores evaluados, poda (sin poda y con poda) y enmienda (sin enmienda, enmiendas de compost, de ácido húmico y de estiércol). Posterior a la aplicación de los tratamientos (febrero), se interrumpió el riego y se realizaron mediciones periódicas hasta después de la primera lluvia (junio). Se midieron propiedades físicas del suelo antes y después de la aplicación de las enmiendas para determinar el efecto que tuvieron dichas aplicaciones, sumado a ello, se midieron parámetros fisiológicos como el potencial hídrico de brote, la conductancia estomática, y la fotosíntesis.

Durante la temporada, se observó que las enmiendas disminuyeron significativamente el estrés de las plantas de olivo, induciendo potenciales hídricos de brote (Ψ_b) menos negativos luego de cuatro meses de aplicadas en el suelo. Se observó que el estiércol disminuyó la densidad aparente, el ácido húmico mejoró la estructura del suelo y que la realización de poda en conjunto con la enmienda de estiércol aumentaron las tasas de asimilación fotosintética. Además, la poda tuvo un efecto reductor sobre el rendimiento en base a peso fresco de frutos de olivo.

Palabras clave: Déficit hídrico absoluto, Enmienda de suelo, *Olea europaea* L., Poda, Potencial hídrico de brote.

ABSTRACT

Due to the drought that has affected the Region of Coquimbo the last years, we decided to study the effect of pruning and soil amendments in Arbequina olive orchards submitted to absolute drought during the 2012-2013 season in Tabalí, Coquimbo Region, Chile.

The selected plants were under similar moisture conditions and different treatments were applied according to a factorial design with two factors: pruning (without pruning and with pruning) and amendment (without amendment, compost, humic acid and manure). Once treatments were applied (February) irrigation was stopped and periodical measurements were carried out until the first rain (June). Physical soil properties were measured before and after application of the amendments to determine their effects, and physiological parameters such as photosynthesis, stomatal conductance and shoot water potential were also measured.

It was noticed that the amendments significantly decreased the stress of olive plants, inducing less negative Ψ_b four months after the date they were applied. It was observed that manure decreased bulk density, humic acid improved soil structure and pruning, in conjunction with manure amendment, increased photosynthetic assimilation rates. In addition, pruning had a reducing effect on yield based on fresh weight of olive fruits.

Keywords: Absolute water deficit, *Olea europaea* L., Pruning, Shoot water potential, Soil amendment.

INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno climático que puede provocar consecuencias extremadamente perjudiciales en la sociedad; su frecuencia y regímenes de duración son indeterminables y pueden abarcar grandes superficies (Nuñez, 2008).

La Región de Coquimbo se ha visto afectada por sequías durante los últimos años. Esta zona, en que el agua se obtiene casi totalmente a partir de fuentes superficiales como ríos y embalses, actualmente se encuentra en una situación hídrica desfavorable no vista desde hace más de 10 años en la Región (Tapia *et al.*, 2012). A la fecha, en relación con los registros históricos, existe un evidente déficit hídrico, que va desde un 19 a un 86% dependiendo de la localidad, y un menor caudal en los ríos de las tres principales cuencas de la Región (Tapia *et al.*, 2012).

En septiembre de 2012, se determinó que la zona más afectada en su balance hídrico, dada por la relación precipitación versus consumo, era la Provincia de Limarí, con un 70% de déficit, y la restricción hídrica aquejaba prácticamente a la totalidad del ganado caprino y de los cultivos como el olivo (Tapia *et al.*, 2012). Este último cultivo frutal es el más importante de la Región por superficie plantada, y el segundo más importante a nivel nacional (Larrañaga y Osore, 2011).

Según Searles *et al.* (2011), el olivo es una especie altamente tolerante a la sequía en relación a otras especies frutales, aunque el uso de riego permite obtener mayores rendimientos producto de un aumento en la transpiración. Sofo *et al.* (2007) determinaron que el olivo goza de esta mayor tolerancia a la sequía debido a que, en condiciones limitantes de agua, se desencadenan los siguientes fenómenos fisiológicos: mantención de la turgencia celular, probablemente debido a la alta elasticidad de las paredes celulares, que aumenta al acrecentarse la intensidad de la sequía con el fin de disminuir las pérdidas de agua de las células; inhibición de la fotosíntesis, la cual comienza muy pronto y se acompaña de una disminución de la transpiración; cambio de los procesos fotoquímicos como foto-oxidación y foto-inhibición; y aumento en la relación de crecimiento raíces/brotes, debido a que el crecimiento de los brotes es más sensible que el crecimiento de las raíces al déficit hídrico. Los mismos autores relacionan el potencial hídrico xilemático con la fisiología del olivo del siguiente modo; el cierre estomático es una de las primeras respuestas a la sequía y es gradual conforme a la disminución del potencial hídrico. Este cierre comienza a tomar mayor relevancia para los valores por debajo de los -2,5 MPa, ya que luego de este punto comienza a disminuir fuertemente la turgencia de las células de las hojas; por otro lado, cuando los valores de potencial hídrico son menores a los -3,2 MPa, la acumulación de azúcares, de prolina y otros osmolitos permiten la conservación del agua en los tejidos, pero poco después la respiración celular comienza a verse afectada.

Para medir el grado de estrés de las plantas ante una condición adversa de disponibilidad de agua, el mejor indicador sería el potencial hídrico de la planta, sin embargo, al ser difícil la obtención de este parámetro, se ha tomado el potencial hídrico foliar como el indicador prioritario (García y Fuentes, 1994).

Junto con favorecer el uso de especies adaptadas a condiciones de baja disponibilidad hídrica en zonas de climas semiáridos, es necesario dar las condiciones para que éstas aprovechen de mejor forma el agua disponible. Dichas condiciones se basan en tres principios tendientes a aumentar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, los cuales son: aumentar la productividad por unidad de agua, disminuir las pérdidas de agua desde el suelo e incrementar el uso efectivo de agua (FAO, 2003). Esto se puede lograr, en parte, mediante el manejo del suelo, destacando el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas sobre el balance hídrico. Al respecto, el uso de enmiendas como estiércol o compost favorecen el proceso de infiltración y aumentan la retención de agua y la estabilidad de agregados (Seguel *et al.*, 2003); además, aplicados en cobertera, disminuyen la evaporación de agua por un aumento de la estructuración superficial, que actúa como colchón antievaporante (Shaxson y Barber, 2005). Sin embargo, en sistemas frutales, se hace difícil su incorporación en el perfil de suelo (Cortés, 2011) y, en el caso del estiércol, puede acarrear problemas de salinidad (Seguel *et al.*, 2013a), disminuyendo el potencial osmótico. Como alternativa, el uso de enmiendas líquidas, como ácidos húmicos, permiten su fácil incorporación vía riego, recubriendo las partículas inorgánicas del suelo, formando agregados más estables y con mayor resistencia a la desintegración (Czarnes *et al.*, 2000), generando un aumento en la capacidad de retención de agua (Marín, 2011), lo que permite disminuir la frecuencia de riego (Seguel *et al.*, 2013b).

La transpiración es el proceso que le significa a la planta la mayor pérdida de agua, la cual además puede poner en riesgo su supervivencia, especialmente en climas muy secos y cálidos (De Santa Olalla *et al.*, 2005). Sin embargo, podas en verde permiten disminuir la transpiración de los árboles al disminuir la superficie evapotranspirante (Geilfus, 1994), lo que ayudaría a soportar de mejor forma una sequía. Aunque por otro lado, podas de producción en olivo, realizadas con el fin de regular la carga frutal, han producido disminuciones en el rendimiento de los mismos (Fichet, 2013).

En la Región de Coquimbo, los productores de olivo se han visto en la necesidad de dejar de regar la totalidad o superficies importantes de sus huertos, producto de la disminución de la oferta de agua. Es por esto que, en el presente trabajo, se propone como hipótesis que ante una necesidad de eliminar el riego por un periodo de tiempo no conocido, la tolerancia a la sequía del olivo, determinada por el tiempo que demoran las plantas en presentar potenciales hídricos de brote menos cercanos a cero, se vería favorecida por la aplicación de enmiendas al suelo, específicamente compost, estiércol y ácido húmico, aplicadas por separado y tratamientos de poda que reduzcan el área foliar y, por consiguiente, la transpiración de las plantas.

Objetivo general

Determinar los manejos agronómicos que permitan lograr una mejor tolerancia a la sequía de plantas de olivo sometidas a un déficit hídrico absoluto en la Región de Coquimbo, Chile.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de diferentes enmiendas sobre las propiedades físicas de suelo bajo condición de déficit hídrico absoluto.
2. Determinar el efecto de diferentes enmiendas del suelo y de la poda sobre variables fisiológicas y el rendimiento de plantas de olivo sometidas a déficit hídrico absoluto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio 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 localidad de Tabalí, Comuna de Ovalle, Provincia del Limarí, Región de Coquimbo (30° 68 latitud sur y 71° 39 longitud oeste) durante la temporada 2012-2013.

Las evaluaciones de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

De acuerdo a Aburto *et al.* (2008), el huerto de olivos se ubica en la Serie de suelos San Julián (Typic Haplotorrert), con clase textural franco arcillosa en superficie y arcillosa a partir de los 15 cm, bien estructurado hasta los 60 cm de profundidad. La pendiente es menor al 3% y presenta grava común en todo el perfil.

La zona presenta un clima semiárido con nubosidad abundante y lluvias invernales, donde la nubosidad provoca marcadas oscilaciones térmicas diarias (Errázuriz *et al.*, 1998). Según Uribe *et al.* (2012), las precipitaciones anuales bordean los 82 mm y la evapotranspiración potencial anual alcanza los 1.132 mm. Los mismos autores agregan que la temperatura media es de 15,8 °C; siendo el mes más cálido enero, con una temperatura media promedio de 28,3 °C y el mes más frío julio, con una temperatura media promedio de 5,8 °C.

Materiales

Se utilizaron 120 plantas de olivo de la variedad Arbequina I-18 de tres y medio años de edad, dispuestos en hileras en orientación norte-sur, establecidas en un marco de plantación de 4 metros entre hilera y 1,5 metros sobre hilera, conducidas en eje central, las cuales han sido regadas con un sistema de riego por goteo (una línea) con emisores de un caudal de 4 L h⁻¹ espaciados a 0,75 metros entre sí.

Las enmiendas utilizadas fueron ácido húmico (@Pow Humus, WSG 85%), compost y estiércol de cabra de un año de antigüedad (semiestabilizado).

Para realizar las mediciones de fluorescencia de clorofilas se utilizó un fluorómetro portátil

(Hansatech, FMS2), una cámara de presión tipo Scholander (cámara de alta presión, fabricación chilena) para medir el potencial hídrico de los brotes, un analizador de intercambio de gases infrarrojo, cuyas siglas en inglés corresponden a IRGA (Licor 6400 XTR) para medir conductancia estomática, temperatura foliar y fotosíntesis, un ceptómetro (Delta T, Sunscan) para medir la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada ($fPAR_i$), mientras que, para la determinación del contenido de agua del suelo, se utilizaron sondas de humedad de suelo (Decagon Devices) de monitoreo continuo conectadas a un datalogger que registró los datos de contenido de agua cada 15 minutos desde su instalación, el 22 de febrero, hasta el fin del ensayo.

En laboratorio se dispuso del equipamiento necesario para la evaluación de las propiedades físicas de suelo, cama de arena (Eijkelkamp Agrisearch Equipment), olla y plato de presión (Soil Moisture Equipment Co.) para obtener la curva característica de retención de agua a diferentes tensiones, estufa (Blue M Electric Co, Modelo OV18SC) para secar las muestras de suelo, cilindros de acero inoxidable de 5,9 cm de altura y 5 cm de diámetro para medir la densidad aparente y la curva de retención de agua, balanza (Bel Engineering) y otros materiales de laboratorio como termómetro, probeta, pipeta, tamiz, polifosfato de sodio y agua destilada.

Métodos

Al inicio del ensayo se realizó una caracterización morfológica del suelo para asegurar su homogeneidad en el ensayo; para esto se realizó una descripción de tres calicatas de acuerdo a Schoeneberger *et al.* (2002). Posteriormente, se llevó a cabo una caracterización física del suelo, evaluando por horizonte genético y hasta una profundidad de 1 m las siguientes variables: distribución de tamaño de partículas mediante el hidrómetro de Bouyoucos, curva característica mediante cama de arena, olla y plato de presión y, densidad aparente por el método del cilindro, todas descritas por Dane y Topp (2002). Al final del ensayo, se volvió a medir para cada tratamiento y repetición, la curva característica y la densidad aparente de los dos horizontes superficiales, por ser los más susceptibles a los manejos del suelo.

El ensayo consistió en un diseño en bloques completamente aleatorizado con estructura factorial donde cada hilera se consideró un bloque. Se evaluaron los factores poda (dos niveles: sin poda y con poda severa) y enmienda de suelo (cuatro niveles: sin enmienda, enmienda de compost, enmienda de ácido húmico y enmienda de estiércol de cabra semiestabilizado), resultando así ocho tratamientos con cinco repeticiones cada uno. Las plantas fueron elegidas con un vigor y nivel de carga similares mediante una evaluación visual previa a la aplicación de las enmiendas y de la realización de la poda.

Producto de la interacción de los niveles del factor poda y de los niveles del factor

enmienda se obtuvieron los tratamientos presentados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos del ensayo obtenidos por la interacción de los niveles de los factores poda y enmienda.

	Sin enmienda	Compost	Ácido húmico	Estiércol de cabra
Sin poda	Sin enmienda ni poda	Aplicación de compost y sin poda	Aplicación de ácido húmico y sin poda	Aplicación de estiércol y sin poda
Con poda	Sin enmienda y con poda	Aplicación de compost y con poda	Aplicación de ácido húmico y con poda	Aplicación de estiércol y con poda

Se asignó como unidad experimental un conjunto de tres plantas consecutivas sobre la hilera de plantación, es decir, de un largo de 4,5 m y de un ancho de 1 m, debido a que el diámetro del bulbo de mojamiento en un suelo arcilloso es cercano a ese valor (Brady y Weil, 2000). Así, se obtuvo una unidad experimental de una superficie de 4,5 m². Se asignó como unidad de observación a la planta ubicada en el centro.

Las enmiendas se aplicaron el día 15 de enero de 2013 en una zanja de 20 cm de profundidad debajo de la línea de riego. Según correspondiera, se aplicaron 10 kg de compost, 13,5 g de ácido húmico (disueltos en 10 L de agua para simular un fertirriego) y 18 kg de estiércol por cada unidad experimental.

Las dosis agronómicas aplicadas por unidad experimental corresponden a cantidades de 5,6 toneladas por hectárea de compost, 7,5 kg por hectárea de ácido húmico y 10 toneladas por hectárea de estiércol.

La poda se realizó simulando una poda mecanizada, eliminando el material vegetal que se encontraba a más de 20 cm de distancia desde el eje central en el sentido de la hilera, dejando así una copa de 40 cm de ancho, equivalente aproximadamente a un 50% del follaje inicial.

La poda fue realizada el día 22 de febrero, coincidiendo con la fecha en que se interrumpió el riego e inició el periodo de déficit hídrico absoluto (interrupción del riego).

Previo a la interrupción del riego, pero posterior a la descripción morfológica del perfil, se realizaron calicatas con el fin establecer sondas de humedad de suelo, en una de las repeticiones para cada tratamiento. Para ello la calicata fue construida a 50 cm del eje de la sobrehilera, excavando cuidadosamente en forma lateral, para instalar la sonda en una zona no disturbada de suelo, bajo la línea de goteo. Las sondas fueron establecidas a profundidades de 30 y 60 cm, correspondiente a la zona donde se concentró la mayor proporción de raíces finas y donde existe un cambio de estructura subangular a un grado de no estructura masiva del suelo, respectivamente.

Variables medidas

Previo al inicio del déficit hídrico absoluto se midió fluorescencia de clorofilas, para establecer si las plantas de olivo estaban bajo una misma condición hídrica al comienzo del ensayo. Para la medición se tomó una hoja completamente expandida (cuarta desde el ápice). En estas hojas se midió la relación de fluorescencia variable y fluorescencia máxima (F_v/F_m) como indicador del grado de estrés. Para ello, las hojas fueron previamente adaptadas a la oscuridad por 20 minutos usando las pinzas de oscurecimiento del fluorómetro. Las mediciones se realizaron a un intervalo de 70 minutos aproximadamente, comenzando a las 12:00 horas y terminando a las 18:30 horas.

Con el propósito de determinar el efecto de las enmiendas en las propiedades del suelo, se tomaron muestras en agosto del 2013 a profundidades de 0 a 10 cm y de 20 a 30 cm en tres de los cinco bloques de medición, específicamente los tres del centro. Con muestras no disturbadas tomadas en cilindros se determinó la densidad aparente y la distribución de tamaño de poros, metodologías descritas por Sandoval *et al.* (2012).

Como complemento, se midió la estabilidad de microagregados mediante la relación de dispersión (Berryman *et al.*, 1982); para ello, se seleccionaron por tamizaje agregados de los cuatro diferentes niveles de enmiendas (sin enmienda, enmienda de compost, enmienda de ácido húmico y enmienda de estiércol) de entre uno y dos milímetros de diámetro. Posterior a ello, para cada uno de los niveles, se pesaron dos submuestras de 50 g de agregados secos al aire de las cuales a una submuestra se les aplicó 20 mL de un dispersante (polifosfato de sodio) con agua destilada, mientras que a la contramuestra se le aplicó sólo agua destilada. Las submuestras se dejaron en reposo durante 24 horas. Posteriormente, la muestra con dispersante químico fue agitada mecánicamente durante cinco minutos, trasvasiéndose a una probeta enrasada a un volumen de un litro. Se realizó una lectura con un densímetro una vez transcurridos 40 segundos posteriores a la agitación de manera de determinar arcilla y limo en la suspensión. Finalmente se calculó la relación de dispersión (RD) mediante la fórmula:

$$RD = \frac{\text{Densidad a los 40 segundos de la muestra sin dispersante}}{\text{Densidad a los 40 segundos de la muestra con dispersante}}$$

Se midió la interceptación de radiación solar en los cinco bloques utilizando un ceptómetro lineal (Delta T, Sunscan) siguiendo la metodología utilizada por Zamorano (2011). Dichas mediciones se realizaron en días totalmente despejados o totalmente nublados, dos horas antes del mediodía solar, al mediodía solar y tres horas después del medio día solar, aproximadamente, antes de la realización de la poda y posterior a la realización de esta.

El potencial hídrico de brote (Ψ_b) se midió con la cámara de presión en periodos de entre 15 y 30 días, en los tres bloques centrales con el fin de optimizar el tiempo de medición y aumentar la homogeneidad de los brotes. La medición se llevó a cabo a mediodía tomando

un brote expuesto al sol de la proporción media de la copa. Se retiró el brote mediante un corte con tijera de podar y se colocó dentro de la cámara de presión, se tapó y se aplicó presión hasta el momento en que se observó con una lupa la presión a la que ocurre la salida de la gota de agua desde la zona de corte del brote, los valores fueron registrados *in situ*. Para evitar errores en la medición, el tiempo transcurrido entre la toma del brote y la medición no fue superior a 10 segundos. Se logró medir dos fechas antes de iniciado el estrés hídrico, tres fechas intermedias y una posterior a la primera lluvia.

De forma paralela a la medición del Ψ_b se midió la conductancia estomática, la temperatura foliar y la fotosíntesis con un Analizador de Intercambio de Gases Infrarrojo (IRGA) en tres ocasiones, dentro del periodo de estrés hídrico. Dicha medición se realizó manteniendo las condiciones de humedad del aire y temperatura del ambiente en una hoja ubicada en la parte media de un brote expuesto al sol, con una repetición por planta, entre las 11 y las 15 horas.

Finalmente, se realizó una cosecha de frutos entre los días 14 y 16 de mayo y se midió el peso fresco de todos los frutos por planta en una balanza electrónica en cuatro de los cinco bloques.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo un análisis de varianza con estructura factorial, mediante el uso del programa InfoStat 2011; cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). Además, se realizó una correlación y una regresión entre la conductancia estomática y la fotosíntesis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización inicial

Tras la descripción morfológica de las tres calicatas realizadas (Apéndice 1) se observó que el suelo era homogéneo en muchas de sus propiedades, tales como color, variando de rojo oscuro a pardo rojizo oscuro, entre los matices 10 R y 2,5 YR, respectivamente; estructura, constituida de bloques subangulares finos en superficie y gruesos en profundidad; presencia de grava; porosidad fina abundante y con profundidades que superaban los 85 cm, aunque bajo los 40 cm las raíces eran escasas.

La textura del suelo se caracterizó por poseer altos contenidos de arcilla en todos sus horizontes, siempre mayores al 45%, con contenidos de limo siempre por debajo del 20% (Apéndice 2), lo que resulta en una clase textural predominantemente arcillosa.

En superficie, la densidad aparente del suelo varió entre los 1,12 y 1,34 Mg m⁻³, su contenido promedio de agua a capacidad de campo (equivalente a una tensión de 330 hPa) fue de 29,0% y de 21,4% a punto de marchitez permanente (equivalente a una tensión de 15.000 hPa), mientras que entre los 20 y 30 cm de profundidad la densidad aparente varió entre los 1,37 y 1,47 Mg m⁻³, su contenido promedio de agua a capacidad de campo fue de 48,9% y de un 34,9% a punto de marchitez permanente.

Propiedades de suelo post aplicación de enmiendas

Densidad aparente

Al cabo de siete meses de aplicadas las enmiendas, solo el tratamiento con estiércol tuvo efectos significativos en los primeros 10 cm de profundidad, resultados que se presentan en la Figura 1.

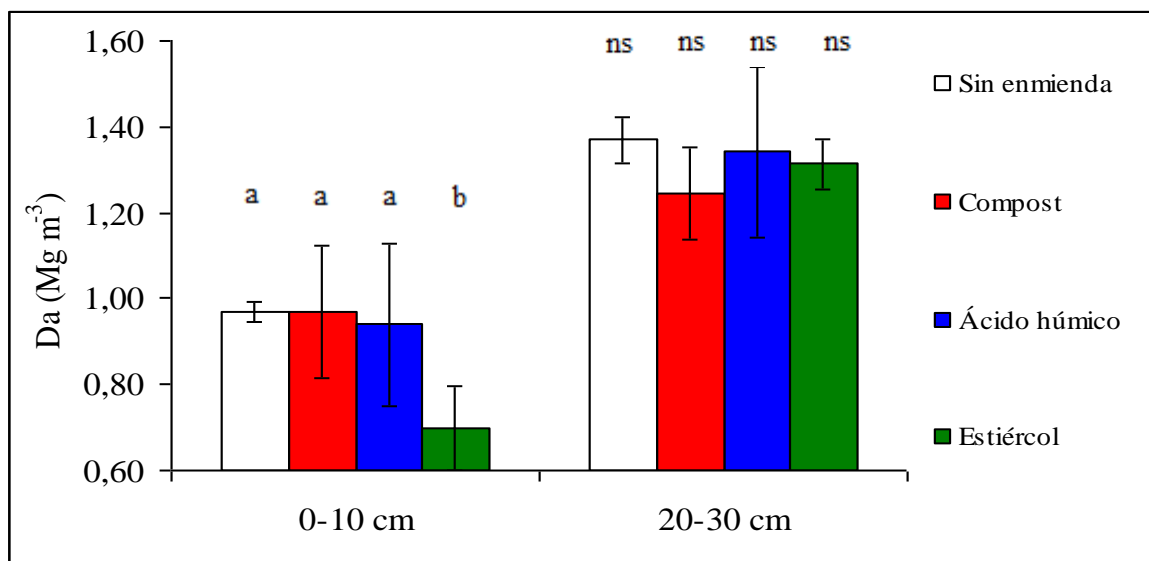


Figura 1. Densidad aparente (D_a , Mg m^{-3}) obtenida para cada enmienda. Las barras indican los promedios de la densidad aparente mientras que las líneas negras corresponden a ± 1 desviación estándar de los mismos. Barras con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p_{\text{value}} \leq 0,05$). ns: no significativo.

La densidad aparente corresponde a la relación entre la masa de suelo seco y el volumen que este ocupa, vale decir, se relaciona de forma inversa con la porosidad, debido a que los poros ocupan un volumen pero no aportan masa (Hillel *et al.*, 1998). Al analizar la densidad aparente, se puede observar que en los primeros 10 cm el estiércol fue la enmienda que más porosidad generó, lo cual contribuyó a disminuir significativamente la densidad aparente a valores de $0,7 \text{ Mg m}^{-3}$. Esto ya lo habían observado Seguel *et al.* (2003) en un Mollisol de la zona central de Chile, determinando un efecto más marcado del estiércol en relación al compost.

En relación al efecto del ácido húmico, Seguel *et al.* (2013b) utilizaron dentro de la misma Serie de suelo tres aplicaciones de enmiendas húmicas en diferentes dosis, dos de ellas con el mismo producto (Pow Humus WSG 85%), obteniendo una disminución de la densidad aparente. En el presente estudio, si bien no se consiguió una disminución significativa de la densidad aparente producto de la aplicación de la enmienda húmica, ello podría deberse a que la aplicación se realizó solo en una ocasión, mientras que en el ensayo de Seguel *et al.* (2013b) las enmiendas se aplicaron en al menos dos temporadas, y sus dosis de aplicación sumaron 20 y 30 kg ha^{-1} , mientras que dentro de este ensayo solo se aplicó una dosis de $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$.

Seguel *et al.* (2013a) realizaron un ensayo en un huerto de *Vitis vinifera* L. en un suelo Haplocambid, en el cual midieron la densidad aparente obtenida a lo largo de tres años de aplicación de enmiendas orgánicas, donde mantuvieron además un tratamiento testigo, siendo la dosis de estiércol de cabra de 15 ton ha^{-1} . Los resultados obtenidos arrojaron valores de densidad aparente superiores a los obtenidos en este ensayo, tanto para el caso

del suelo testigo, como para el caso del suelo tratado con enmiendas anuales de estiércol de cabra.

Por otra parte, Sandoval *et al.* (2011) indican que, en el caso de enmiendas líquidas, los efectos sobre densidad y porosidad se obtienen en dosis muy elevadas, sobre 5 ton ha^{-1} base materia seca.

Curva característica y distribución de tamaño de poros

Con el fin de determinar el efecto que generaron a nivel de porosidad y de la capacidad de retención de agua las distintas enmiendas de suelo, se realizaron curvas características de retención de agua, que relacionan la cantidad de agua que es capaz de almacenar el suelo a ciertas tensiones. Los gráficos de tales comportamientos se presentan en el Apéndice 3. A partir de ellos se puede derivar la distribución de tamaño de poro según Hartge y Horn (2009).

Al analizar la distribución de poros por tamaño, se puede ver en la Figura 2 que, para el caso de los poros de drenaje rápido (PDR, $> 50 \mu\text{m}$), se generaron diferencias entre enmiendas en la primera profundidad.

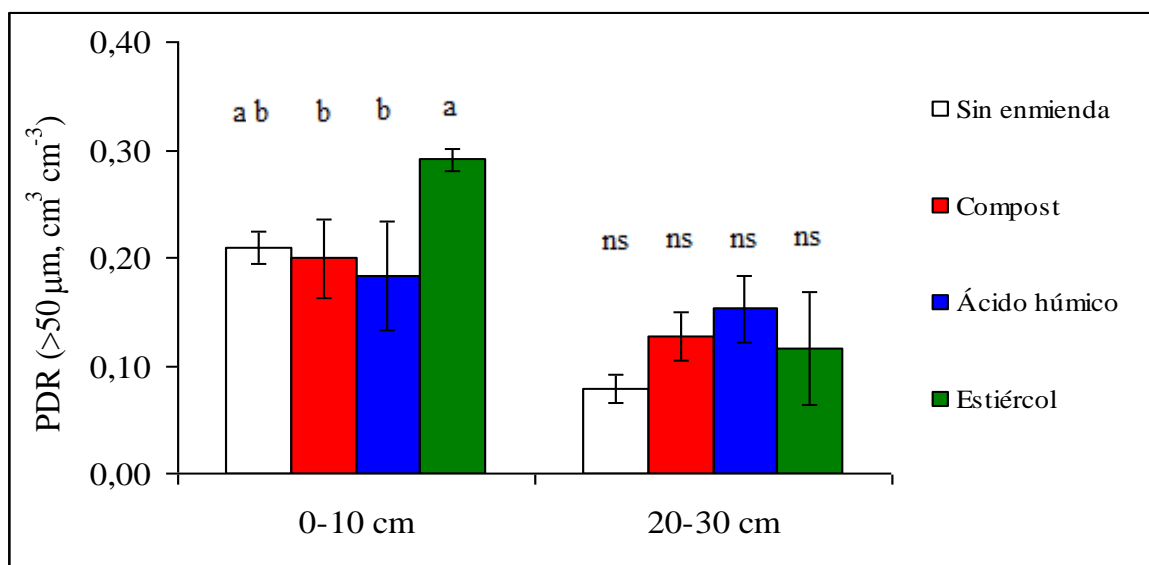


Figura 2. Poros de drenaje rápido (PDR, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) obtenidos para cada enmienda. Las barras indican los promedios de la proporción de poros de drenaje rápido mientras que las líneas negras corresponden a la desviación estándar de los mismos. Barras con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p_{\text{value}} \leq 0,05$). ns: no significativo.

Los poros de drenaje rápido dicen relación con la proporción de poros capaces de transmitir fluidos y generar las condiciones para la aireación del suelo (Warrick, 2002). Se observó que dentro de los primeros 10 cm de profundidad todos los tratamientos obtuvieron sobre un 12% de poros gruesos, lo que cumple según Richards (1983) con la condición óptima para los diversos cultivos. Por otro lado, entre los 20 y los 30 cm de profundidad todos los tratamientos obtuvieron una porosidad cercana al 12%, con una fuerte disminución en el testigo, aunque sin diferencias estadísticas significativas con el resto de los tratamientos. De acuerdo a Ferreyra *et al.* (2011), valores de porosidad gruesa menores a 10% afectarían el metabolismo de los frutales, condición en la que podría estar el testigo. Es necesario destacar que el tratamiento con estiércol también tuvo una fuerte disminución de los PDR en profundidad, ya que las aplicaciones en cobertera de las enmiendas sólidas generan una discontinuidad en el sistema poroso del suelo (Seguel *et al.*, 2013a).

El ácido húmico destaca, además de poseer una porosidad superior al 12%, por ser el que obtuvo los resultados más homogéneos a ambas profundidades, lo cual dice relación con una estructura más homogénea a lo largo del perfil. Julca *et al.* (2006), mencionan que el humus, de cuya compleja composición forman parte huminas, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos, tiene un efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados, lo cual dice relación con una mayor estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, lo cual, a su vez, favorece la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y favoreciendo el intercambio de gases en el suelo. Es de esperar que aplicaciones sucesivas generen un efecto acumulado, con diferencias respecto al testigo.

En cuanto a la retención de agua, debido a la alta variabilidad de los resultados, no existieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (Figura 3), lo cual no responde a lo esperado, vale decir, una mayor retención de agua en los tratamientos de enmiendas de estiércol (Burés, 1997; Seguel *et al.*, 2003).

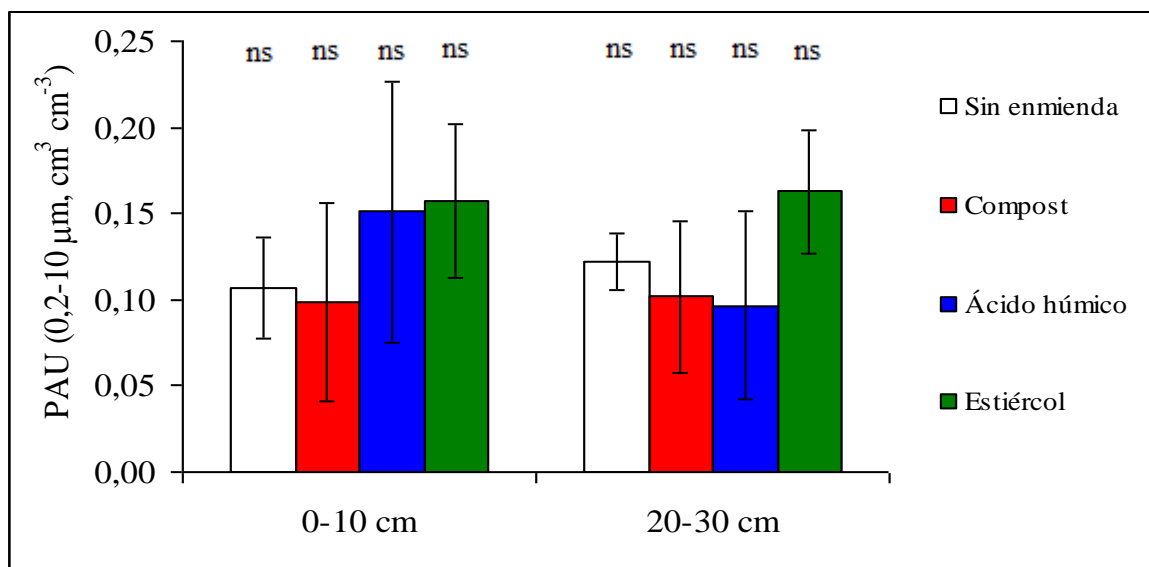


Figura 3. Poros de agua útil (PAU, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) para cada enmienda. Las barras indican los promedios de la proporción de poros de agua útil mientras que las líneas negras corresponden a la desviación estándar de los mismos. No hubo diferencias estadísticamente significativas (ns).

Sin embargo, existe la tendencia de esta enmienda a retener mayor cantidad de agua disponible en relación al resto de los tratamientos, lo que se ve con mayor claridad a mayor profundidad. En relación al ácido húmico, si bien existen antecedentes de un mayor contenido de agua aprovechable como consecuencia de su uso (Seguel *et al.*, 2013b), el efecto no es persistente en el suelo, desapareciendo al cabo de seis meses (Fernández, 2013).

Finalmente, los poros de agua inútil ($< 0,2 \mu\text{m}$), correspondiente a aquellos que por su estado energético dificultan la extracción del agua por parte del cultivo, se presentan en la Figura 4.

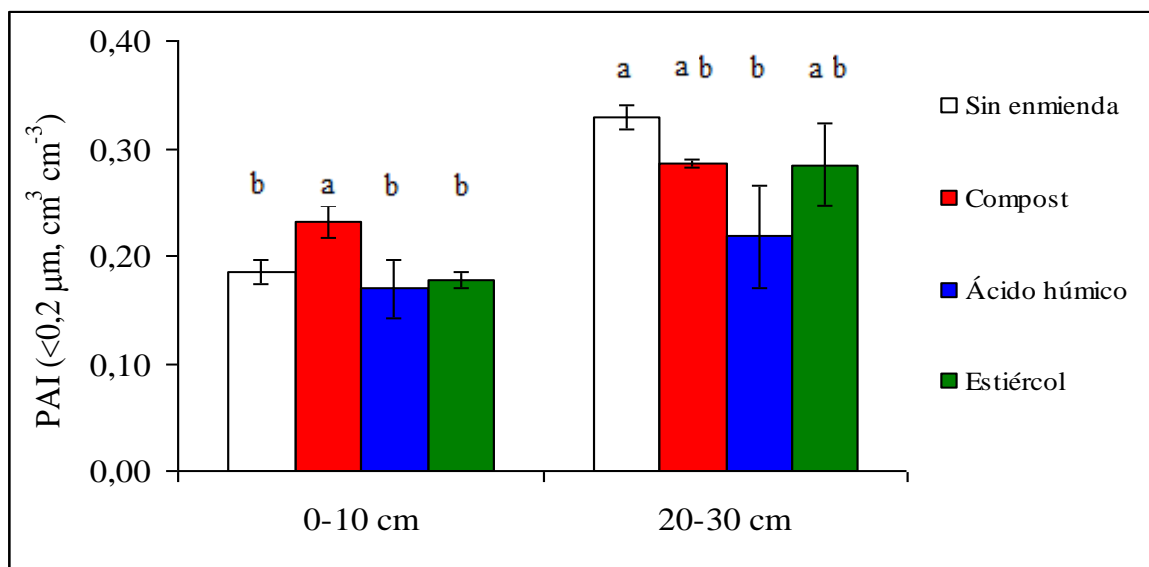


Figura 4. Poros de agua inútil (PAI, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) para cada enmienda. Las barras indican los promedios de la proporción de poros de agua inútil mientras que las líneas negras corresponden a la desviación estándar de los mismos. Barras con letras distintas indican diferencias (Tukey, $p_{\text{value}} \leq 0,05$).

Los poros de menor diámetro (PAI) retienen el agua tan fuertemente, que las plantas deben incurrir en un gran gasto energético para adquirirla y utilizarla en el proceso de transpiración (Hillel *et al.*, 1998). Lo óptimo en una condición de estrés sería que la proporción de estos poros fuera lo más baja posible, para así dar cabida a los poros capaces de almacenar agua útil para las plantas. En superficie, el tratamiento que obtuvo la mayor proporción de PAI fue aquel en que se aplicó compost, superando los $0,2 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. En profundidad, en cambio, los tratamientos en que se aplicó enmienda presentan los valores de PAI más bajos, e incluso el ácido húmico presentó diferencias estadísticas significativas con el testigo, el que mantuvo su valor de PAI cercano a los $0,35 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ de la caracterización inicial. Vale decir, las enmiendas colaboran a disminuir, en profundidad, la proporción de poros de agua inútil para las plantas, y dentro de ellas, la que obtuvo los mejores resultados fue el ácido húmico, lo que ya había sido establecido por Marín (2011).

Estabilidad de microagregados

Los resultados obtenidos indicaron que si bien el compost logró obtener en promedio los valores más bajos (mayor estabilidad) de relación de dispersión (RD), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas con un 5% de significancia. Los detalles de los valores de relación de dispersión obtenidos en los primeros 10 cm de profundidad y entre los 20 y 30 cm de profundidad se presentan en los Cuadros 2.1 y 2.2 respectivamente.

Cuadro 2.1. Detalle de los valores de relación de dispersión (RD). Evaluación con muestras de 0 a 10 cm.

Tratamiento	RD (%)
Compost	20,76
Estiércol	22,81
Compost	29,95
Sin enmienda	37,9
Sin enmienda	40,1
Compost	41,36
Sin enmienda	44,5
Ácido húmico	46,86
Ácido húmico	65,13
Ácido húmico	73,53
Estiércol	81,97

Cuadro 2.2. Detalle de los valores de relación de dispersión (RD). Evaluación con muestras de 20 a 30 cm de profundidad.

Tratamiento	RD (%)
Compost	20,89
Compost	22,81
Compost	23,67
Ácido húmico	24,64
Sin enmienda	26,74
Estiércol	27,86
Estiércol	28,23
Ácido húmico	37,61
Sin enmienda	39,81
Ácido húmico	48,79
Sin enmienda	60,36
Estiércol	68,02

Contenido de agua en el suelo

El contenido del agua en el suelo disminuyó a lo largo del ensayo a diferentes tasas para cada enmienda (Figuras 5 y 6). Como se muestra más adelante, el potencial hídrico de brote de las plantas de olivo se hizo cada vez más negativo hasta el 6 de junio, ello se explica debido a que los contenidos de agua en el suelo también disminuyeron a lo largo del tiempo producto de la transpiración de las plantas de olivo.

No es posible concluir a un nivel estadístico significativo, ya que solo se contó con una sonda por tratamiento; sin embargo, los datos obtenidos permiten dar una idea general. De ello se desprende que en superficie, el tratamiento que consumía a una mayor tasa el agua en el suelo fue aquel en que se realizó una poda y no se aplicó enmienda, lo que se puede observar en la pendiente de la recta de regresión, mientras que en profundidad fue aquel en que no se realizó poda ni se aplicó enmienda. Se observa que el estiércol fue el nivel que generó un menor consumo de agua: sin embargo, el contenido de agua con que iniciaron las mediciones en este tratamiento fueron más bajas que el resto, lo cual puede explicarse dado que a medida que disminuye el contenido de agua en el suelo aumenta la tensión con la que el suelo retiene esa agua, dificultando la absorción por parte de las plantas (Taiz y Zeiger, 2006).

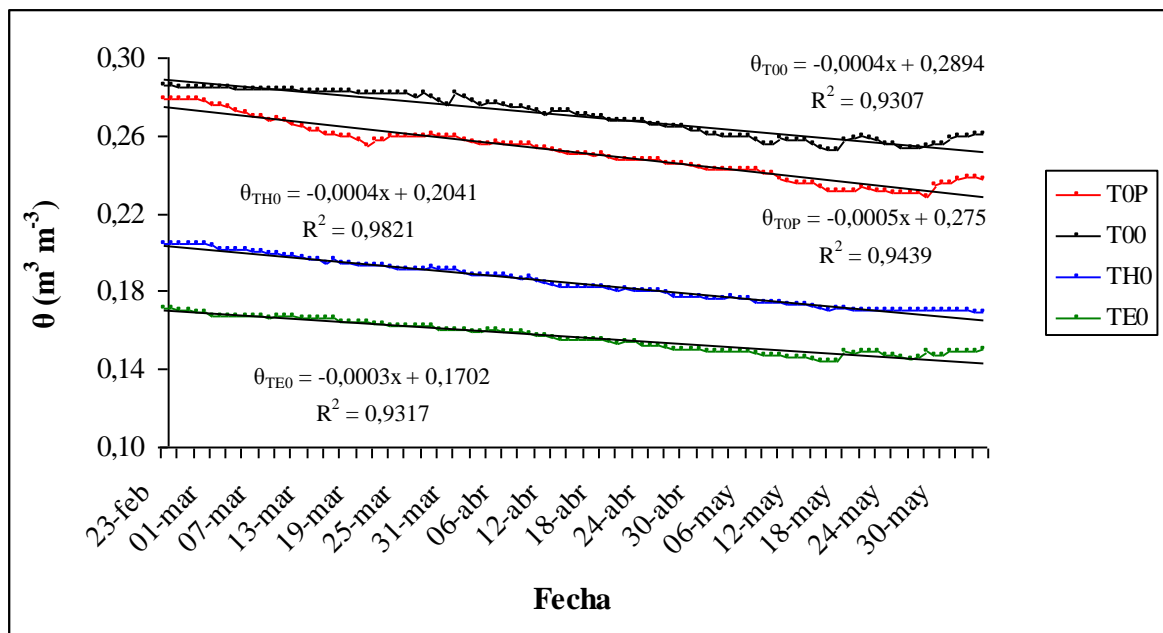


Figura 5. Contenidos volumétricos de agua (θ , $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) en el suelo para cada enmienda. Evaluación a los 30 cm de profundidad. Se incluyen líneas de tendencia con coeficientes de determinación. T00: Tratamiento sin poda y sin enmienda; TOP: Tratamiento con poda y sin enmienda; TH0: Tratamiento sin poda con enmienda de ácido húmico; TE0: Tratamiento sin poda con enmienda de estiércol.

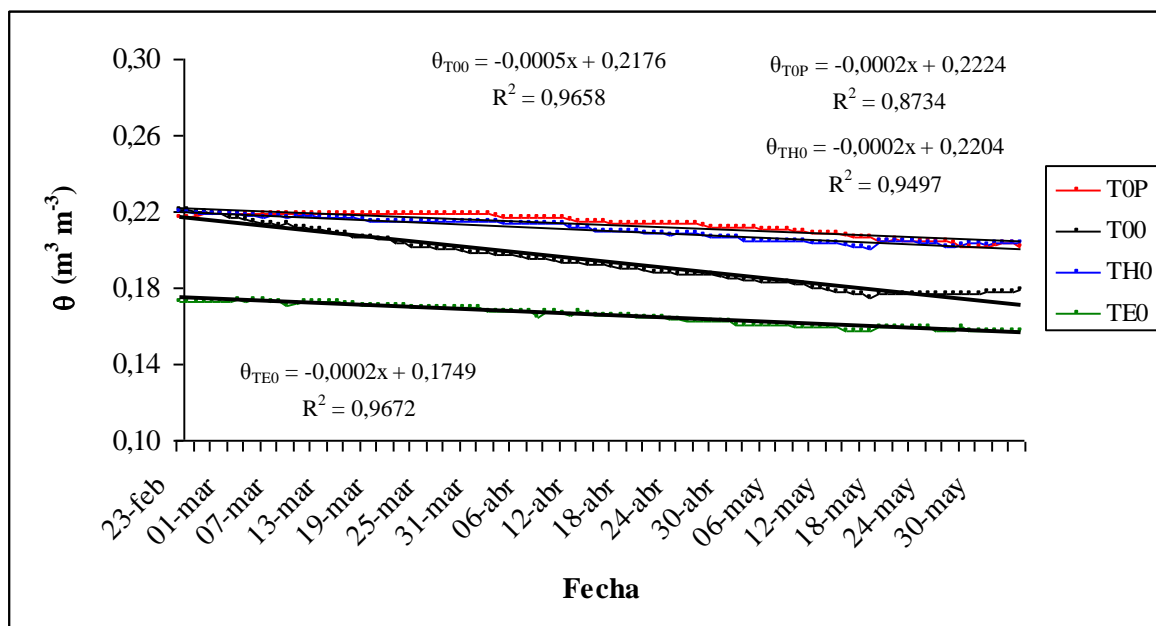


Figura 6. Contenidos volumétricos de agua (θ , $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) en el suelo para cada enmienda. Evaluación a los 60 cm de profundidad. Se incluyen líneas de tendencia con coeficientes de determinación. T00: Tratamiento sin poda y sin enmienda; TOP: Tratamiento con poda y sin enmienda; TH0: Tratamiento sin poda con enmienda de ácido húmico; TE0: Tratamiento sin poda con enmienda de estiércol.

Resultados en la planta

Fluorescencia de clorofilas

Los resultados obtenidos, presentados en el Cuadro 3, indicaron que todas las plantas, previo a la realización de la poda, se encontraban en un estado inicial estadísticamente igual ($p_{\text{value}} = 0,9127$), con lo cual se estableció que las plantas iniciaron el ensayo bajo las mismas condiciones de estrés hídrico y los resultados obtenidos dependieron netamente de los tratamientos aplicados en campo. Los valores de Fv/Fm indican ausencia de estrés al inicio del ensayo (Björkman y Demming, 1987).

Cuadro 3. Relación entre la fluorescencia variable y la fluorescencia máxima obtenida previo al inicio de las mediciones de las variables fisiológicas. Promedio (\pm DS).

Enmienda	Fv / Fm
Compost	0,85 (\pm 0,01) ns
Estiércol	0,84 (\pm 0,02) ns
Sin enmienda	0,84 (\pm 0,02) ns
Ácido húmico	0,84 (\pm 0,01) ns

Promedios con letras ns indican que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada

En la primera medición, realizada el 13 de febrero, cuando aún no se había realizado la poda, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las fracciones de radiación fotosintéticamente activa interceptada ($f \text{ PAR}_i$) entre las plantas que no fueron podadas, que obtuvieron un promedio de fracción interceptada de $28,29 \pm 6,92 \%$, y las plantas que serían podadas, que obtuvieron un promedio de fracción interceptada de $29,37 \pm 7,96 \%$.

Posterior a la poda, el día 8 de marzo, se obtuvieron diferencias entre los niveles de poda, donde las plantas que obtuvieron una mayor interceptación correspondieron a aquellas a las cuales no se les removió material vegetal (Cuadro 4). En este sentido, la fracción de la PAR interceptada en las plantas podadas disminuyó en un 16,98% en comparación con las plantas no podadas, por lo que era esperable una menor transpiración en los tratamientos con poda, lo que resulta beneficioso ante un evento de sequía.

Cuadro 4. Fracción interceptada promedio en plantas podadas y no podadas.

Nivel del factor poda	Fracción Interceptada (%)
Sin poda	26,78 (\pm 5,57) a
Con poda	22,23 (\pm 6,49) b

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%.

Cabe destacar que, con respecto al ensayo llevado a cabo por Zamorano (2011), quien también estimó el área específica de las hojas de olivo removidas en la poda, los valores obtenidos en este ensayo fueron mayores, ya que se obtuvo un área específica promedio de $48,2 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ mientras que en el estudio de Zamorano (2011) esta fue de $42,0 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$.

Potencial hídrico de brote

El potencial hídrico de los brotes se midió a lo largo del tiempo en seis ocasiones. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7, donde se analizan los ocho tratamientos en conjunto. No existió interacción entre los factores poda y enmienda en ninguna de las fechas en que se realizaron las mediciones.

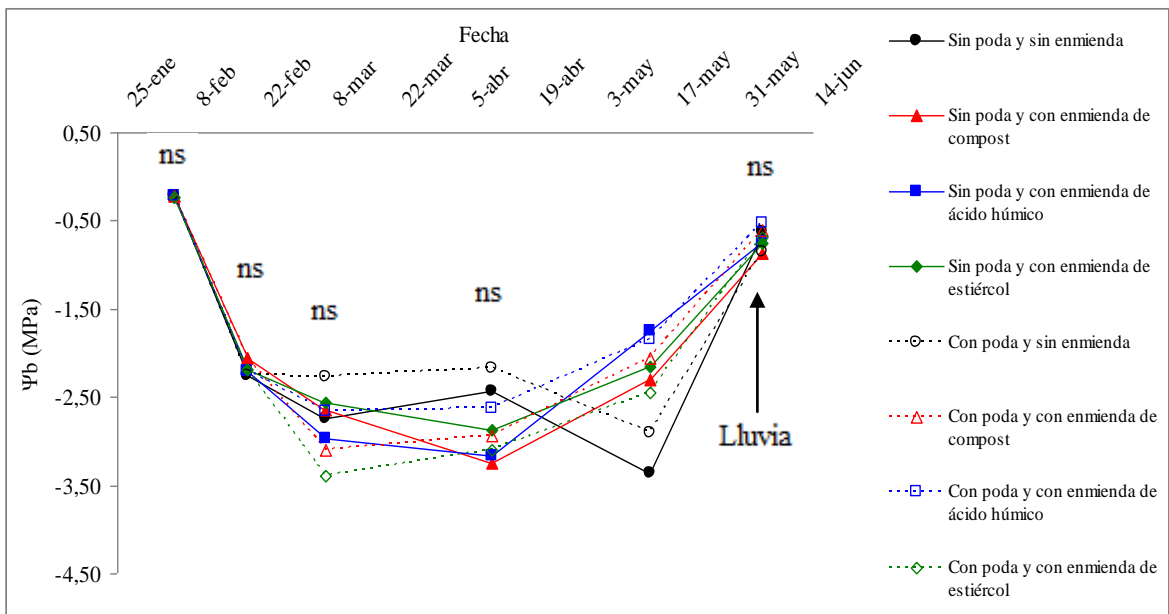


Figura 7. Potencial hídrico de brotes de olivo (Ψ_b , MPa), evaluado desde previa suspensión del riego (5 de febrero) hasta la primera lluvia (6 de junio). Diferencias estadísticas obtenidas el 13 de mayo se detallan en el Cuadro 5.

Como se puede observar, al principio del ensayo, antes de comenzar con el estrés, los

árboles presentaban potenciales hídricos de brote superiores a $-0,5$ MPa de tensión, lo que indica ausencia de estrés en relación a los obtenidos a medida que avanzó el ensayo, producto de que, para este caso, las plantas venían de un régimen de riego normal. A medida que avanzó la sequía, se observó que los valores de potencial hídrico de brote disminuyeron, aunque los promedios de potencial obtenidos son bastantes similares, sin diferencias estadísticamente significativas. Para el caso de las siguiente dos fechas de medición (5 de marzo y 10 de abril) las medias de esta variable se distanciaron entre sí, aunque, nuevamente, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas.

Por otro lado, en la medición realizada el 13 de mayo, se observó que sí existió un efecto de la enmienda sobre el potencial hídrico de los brotes ($P_{\text{value}} = 0,0222$), donde el ácido húmico mostró los valores menos negativos (Cuadro 5). Como se pudo observar, el ácido húmico, si bien tuvo un efecto disminuyendo el nivel de estrés del olivo, demoró cerca de cuatro meses en lograr una diferencia estadísticamente significativa con el resto de las enmiendas. Por el contrario, el tratamiento que obtuvo los potenciales hídricos de brote más negativos fue aquel en que no se hizo la aplicación de enmienda alguna.

Cuadro 5. Potencial hídrico de brote obtenido al 13 de mayo para cada enmienda.

Enmienda	Potencial hídrico de brote (MPa)
Ácido húmico	$-1,80 (\pm 0,58)$ a
Compost	$-2,18 (\pm 0,53)$ a b
Estiércol	$-2,30 (\pm 0,36)$ a b
Sin enmienda	$-3,13 (\pm 0,54)$ b

Promedios unidos por letras iguales indican que no existen diferencias estadísticamente significativas según la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Finalmente, se produjo una recuperación de las plantas hasta alcanzar potenciales hídricos cercanos a cero en la última fecha de medición, ello debido a que, en días previos, ocurrió la primera lluvia en el sitio del ensayo, la que puso final al periodo de estrés hídrico absoluto.

Efecto de la enmienda en el potencial hídrico de brote

En la Figura 8 se observa que, al 13 de mayo, los tratamientos en que se aplicó enmienda se desligan de la tendencia a los potenciales más negativos del resto de los tratamientos, por ello, se realizó una comparación entre los tratamientos en que sí se aplicó enmienda y en los tratamientos que no se aplicó. En la Figura 6 se puede observar que las plantas que sí recibieron este aporte consiguen disminuir su estrés hídrico, obteniendo valores de potencial hídrico de brotes significativamente diferentes al testigo.

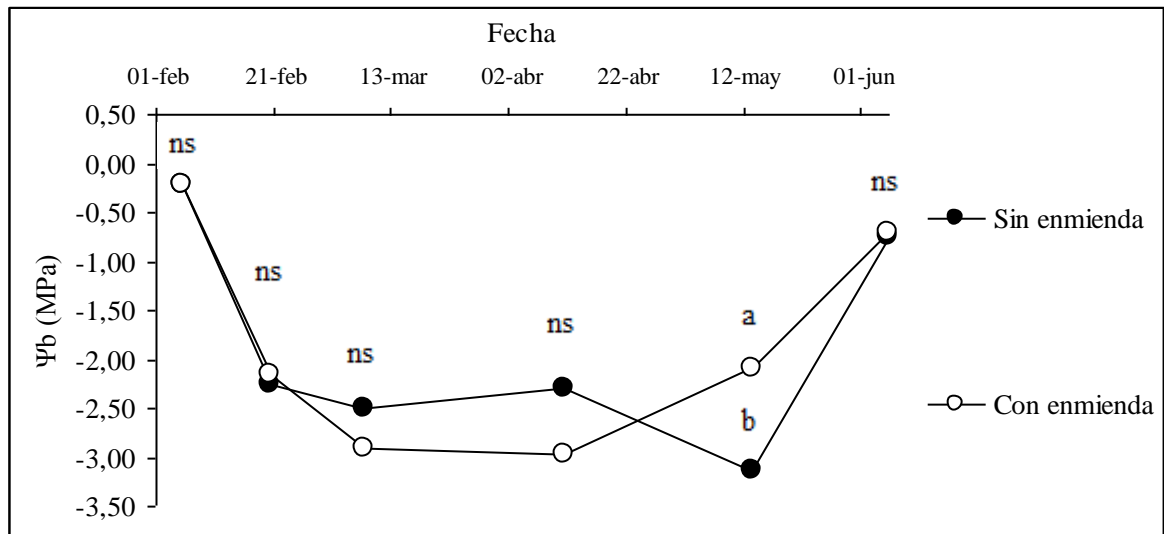


Figura 8. Efecto de la aplicación de enmiendas al suelo sobre el potencial hídrico de brotes de olivo (Ψ_b , MPa), evaluado desde previa suspensión del riego (5 de febrero) hasta la primera lluvia (6 de junio).

Se observó que, durante el transcurso de la sequía, las plantas que tuvieron un aporte de enmienda al suelo, registraron potenciales más alejados de cero. Sin embargo, posteriormente, las plantas a las que se les aportó enmienda al suelo se repusieron, disminuyendo su nivel de estrés hídrico, con diferencias estadísticas significativas respecto al testigo, siendo así la aplicación de la enmienda, tanto de compost, ácido húmico y estiércol, favorable para disminuir, en un largo plazo, el nivel de estrés de olivo bajo una condición de sequía.

Ennajeh *et al.* (2008) ya habían observado que los potenciales hídricos obtenidos en dos variedades de olivo, Meska y Chemlali, se hacían más negativos a medida que el potencial mátrico del suelo se hacía más negativo, tal como ocurrió a lo largo del ensayo, donde los contenidos de agua iniciales del suelo fueron disminuyendo.

Conductancia estomática

Como se puede observar en el Cuadro 6, no existió interacción entre los factores y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la conductancia estomática entre los diferentes tratamientos en la primera fecha de medición.

Posteriormente, el 22 de marzo se pudo observar un efecto producido por la poda, donde las plantas podadas demostraron obtener una conductancia estomática superior a las plantas que no fueron podadas; además existió un efecto interacción entre el factor poda y el factor

enmienda, de lo cual se desprende que los tratamientos que obtuvieron los mayores valores de conductancia fueron aquellas a las que se les aplicó una enmienda de compost y de estiércol en conjunto con la realización de la poda.

Finalmente, en la última medición realizada, se observaron los valores de conductancia estomática menores, de entre los tratamientos el que obtuvo la mayor conductancia estomática, y por lo tanto, mostró una menor condición de estrés que los demás, fue el tratado con poda y con la aplicación de ácido húmico.

Cuadro 6. Conductancia estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) medidas en tres fechas diferentes, todas ellas posteriores al inicio de sequía.

8 de marzo	Sin enmienda	Compost	Ácido húmico	Estiércol	Promedio
Sin poda	0,15 ($\pm 0,04$) ni	0,12 ($\pm 0,05$) ni	0,16 ($\pm 0,06$) ni	0,17 ($\pm 0,02$) ni	0,15 ($\pm 0,05$) ns
Con poda	0,12 ($\pm 0,06$) ni	0,13 ($\pm 0,04$) ni	0,20 ($\pm 0,14$) ni	0,19 ($\pm 0,08$) ni	0,16 ($\pm 0,09$) ns
Promedio	0,14 ($\pm 0,05$) ns	0,13 ($\pm 0,04$) ns	0,18 ($\pm 0,11$) ns	0,18 ($\pm 0,06$) ns	
22 de marzo	Sin enmienda	Compost	Ácido húmico	Estiércol	Promedio
Sin poda	0,13 ($\pm 0,01$) b	0,14 ($\pm 0,06$) b	0,17 ($\pm 0,07$) a b	0,15 ($\pm 0,00$) b	0,15 ($\pm 0,05$) b
Con poda	0,21 ($\pm 0,10$) a b	0,25 ($\pm 0,03$) a	0,20 ($\pm 0,04$) a b	0,24 ($\pm 0,06$) a	0,22 ($\pm 0,07$) a
Promedio	0,17 ($\pm 0,08$) ns	0,19 ($\pm 0,07$) ns	0,18 ($\pm 0,06$) ns	0,19 ($\pm 0,07$) ns	
11 de abril	Sin enmienda	Compost	Ácido húmico	Estiércol	Promedio
Sin poda	0,13 ($\pm 0,04$) a b	0,10 ($\pm 0,01$) a b	0,09 ($\pm 0,05$) a b	0,10 ($\pm 0,02$) a b	0,11 ($\pm 0,04$) ns
Con poda	0,09 ($\pm 0,04$) a b	0,08 ($\pm 0,03$) b	0,16 ($\pm 0,08$) a	0,13 ($\pm 0,04$) a b	0,11 ($\pm 0,06$) ns
Promedio	0,11 ($\pm 0,04$) ns	0,09 ($\pm 0,02$) ns	0,12 ($\pm 0,07$) ns	0,11 ($\pm 0,04$) ns	

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%. Promedios con las letras ni indican que no existe interacción entre el factor poda y el factor enmienda. Promedios con las letras ns indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Promedios de interacción de niveles se leen por separado al Promedio en última fila y al Promedio en última columna.

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 11 de abril, fecha a la cual se observó el valor más bajo de Ψ_b ($-3,25 \pm 0,35$ MPa en el tratamiento en que no se realizó poda y se aplicó composta; Figura 7).

Flexas *et al.* (1999), estresaron mediante sequía plantas de vid durante 20 días, luego de lo cual obtuvieron tasas de conductancia estomática cercanas a los $0,5 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mientras que tan solo luego de 14 días la conductancia estomática del olivo, tratado sin poda y sin enmienda, arrojó valores de $0,15 (\pm 0,04) \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Aquello, dice relación con que el olivo ve disminuida su conductancia estomática por debajo de otras especies, como la vid,

frente a una condición de déficit hídrico absoluto. Esto se debe a que los olivos tienen hojas diseñadas para disminuir su transpiración, ya que cuentan con pelos aparasolados, también llamadas escamas peltadas, que se encuentran tanto en el haz como en el envés de las hojas, aunque en este último en mayor proporción, y cubren a los estomas (Barranco *et al.*, 2008).

Por otro lado, la conductancia estomática observada en el tratamiento sin enmienda y sin poda fue, a lo largo del ensayo, nunca menor a los $0,13 (\pm 0,01) \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mientras que Pastenes y Garrido (2013) obtuvieron valores que oscilaban aproximadamente entre los 0 y los $0,14 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Vale decir, a pesar que los valores de conductancia observados son menores comparados con otras especies como la vid, son valores altos en comparación con olivos de la variedad Arbequina sometidos a un diferente déficit hídrico.

Se observa que la conductancia estomática no sufrió cambios significativos a lo largo de las tres fechas de medición, y mantiene su valor mientras se encuentra en un periodo de déficit hídrico absoluto, manteniéndose a niveles relativamente altos en comparación a los valores de conductancia obtenido por Pastenes y Garrido (2013).

Al realizar un análisis de correlación entre el potencial hídrico de los brotes y la conductancia estomática medida a mediodía, hora acorde a las mediciones del potencial hídrico de los brotes, no se encontró una correlación significativa entre ambas variables. Se debe agregar que, si bien el cierre estomático, y por lo tanto la disminución de la conductancia estomática, contribuyen como resistencia a las pérdidas de agua por parte de la planta, aún con un cierre estomático completo existen pérdidas de agua continuas a través de la cutícula (Pastenes y Garrido, 2013), por lo que, a pesar de que ocurra un cierre estomático, el potencial hídrico de los brotes puede hacerse más negativo.

Tasa fotosintética

En el Cuadro 7 se muestra que la tasa fotosintética no responde a un patrón constante en el tiempo, sino más bien a un proceso de adaptación continua a lo largo del periodo que se llevó a cabo el ensayo, donde inicialmente fue el factor enmienda el relevante, pero a medida que transcurrió el tiempo se llegó a una interacción con el factor poda. Es importante mencionar que los coeficientes de variación para cada uno de los análisis de varianza disminuyeron a medida que pasó el tiempo, lo cual quiere decir que, a medida que las plantas pasaron más tiempo en una condición hídrica desfavorable, el comportamiento de los distintos individuos fue más homogéneo.

Cuadro 7. Tasa fotosintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) medida en tres fechas diferentes, todas ellas posteriores al inicio de sequía.

8 de marzo	Sin enmienda	Compost	Ácido húmico	Estiércol	Promedio
Sin poda	12,22 (\pm 1,87) ni	11,78 (\pm 8,99) ni	16,46 (\pm 5,74) ni	17,55 (\pm 1,52) ni	14,50 (\pm 5,83) ns
Con poda	11,86 (\pm 5,51) ni	13,39 (\pm 8,41) ni	17,39 (\pm 11,16) ni	17,82 (\pm 8,99) ni	15,12 (\pm 8,76) ns
Promedio	12,04 (\pm 4,00) b	12,85 (\pm 7,84) b	16,92 (\pm 8,62) a b	18,89 (\pm 6,26) a	
22 de marzo	Sin enmienda	Compost	Ácido húmico	Estiércol	Promedio
Sin poda	12,52 (\pm 1,60) ni	17,11 (\pm 2,86) ni	15,69 (\pm 4,28) ni	16,53 (\pm 0,84) ni	15,46 (\pm 3,17) b
Con poda	17,63 (\pm 6,90) ni	22,80 (\pm 2,98) ni	16,63 (\pm 3,66) ni	19,81 (\pm 2,62) ni	19,22 (\pm 4,83) a
Promedio	15,07 (\pm 5,53) b	21,17 (\pm 3,26) a	16,16 (\pm 3,89) b	18,17 (\pm 2,54) a b	
11 de abril	Sin enmienda	Compost	Ácido húmico	Estiércol	Promedio
Sin poda	15,14 (\pm 4,59) a	12,31 (\pm 1,01) a b	10,65 (\pm 3,95) b	11,90 (\pm 4,89) a b	12,50 (\pm 4,11) ns
Con poda	9,43 (\pm 3,75) b	9,91 (\pm 3,38) b	12,49 (\pm 2,36) a b	14,76 (\pm 3,02) a	11,81 (\pm 3,72) ns
Promedio	12,29 (\pm 5,02) ns	11,35 (\pm 2,48) ns	11,57 (\pm 2,35) ns	13,33 (\pm 4,20) ns	

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%. Promedios con las letras ni indican que no existe interacción entre el factor poda y el factor enmienda. Promedios con las letras ns indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Promedios de interacción de niveles se leen por separado al Promedio en última fila y al Promedio en última columna.

Para la medición del 8 de marzo, no existió un efecto poda ni un efecto de interacción, sin embargo, sí existió un efecto enmienda ($p_{\text{value}} = 0,0125$), de lo cual se desprende que fue la aplicación del estiércol y el ácido húmico quienes comenzaron a evidenciar cambios sobre la fotosíntesis, aumentando sus tasas de asimilación con respecto al resto de los tratamientos.

Para la medición del 22 de marzo, al igual que para el caso anterior, no existió una interacción entre los niveles de los factores, sin embargo, sí existió un efecto tanto para el factor poda ($p_{\text{value}} = 0,0003$) como para el factor enmienda ($p_{\text{value}} < 0,0002$). En Valle del Huasco, Región de Atacama, Pastenes *et al.* (2011), observaron que árboles podados recibían una mayor intensidad luminosa que árboles que no fueron podados, a lo cual agregan que los árboles podados registraban tasas de asimilación fotosintética significativamente mayores a aquellos que no fueron podados. Los mismos autores agregan además, que hojas de olivo que poseen una menor exposición a la luz poseen una mayor cantidad de clorofila, lo cual es inversamente proporcional a concentraciones de la enzima Rubisco, encargada de la primera reacción de la asimilación del CO_2 para producir sacarosa y almidón, debido a que el nivel de energía lumínica es muy bajo y se necesitaría una menor cantidad de la misma. Se puede observar además, que el estiércol mantiene una mayor tasa de asimilación en comparación a los demás tratamientos, tal como ocurrió en la primera fecha de medición.

Finalmente, para el 11 de abril no existieron efectos ni de los factores poda ni enmienda, sin embargo, sí existió interacción entre ambos factores ($p_{\text{value}} < 0,0001$). Los tratamientos que obtuvieron las mayores tasas fotosintéticas fueron aquellos en que se podó y se aplicó estiércol, y en el que no se realizó poda ni se aplicó enmienda. De ello se desprende que el tratamiento con el cual se obtendría una mayor tasa de asimilación sería aquel en que se realiza la poda y además se aplica estiércol de cabra, esto producto de que en las tres fechas estos factores demostraron estadísticamente adjudicarse las mayores medias de tasas fotosintéticas.

Angelopoulos *et al.* (1996), establecen que la conductancia estomática limita la fotosíntesis en plantas de olivo bajo un déficit hídrico moderado y que otros factores no estomáticos limitarían la asimilación bajo una condición de estrés hídrico severo. Por otro lado, Chartzoulakis *et al.* (1999), sugieren que, bajo una condición de déficit hídrico, en olivos es preferible disminuir la transpiración, a pesar de que aquello conlleve una reducción de la actividad fotosintética. Es por ello, que con el fin de determinar si los resultados se condicen con ambos autores, se procedió a realizar un análisis de correlación entre la conductancia estomática y la tasa fotosintética.

Al realizar dicho análisis se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0,87, lo cual indica que existe una correlación positiva entre estos dos factores y que tiene un comportamiento directo, vale decir, al aumentar la conductancia estomática aumenta también la tasa fotosintética, tal y como se puede observar en la Figura 9.

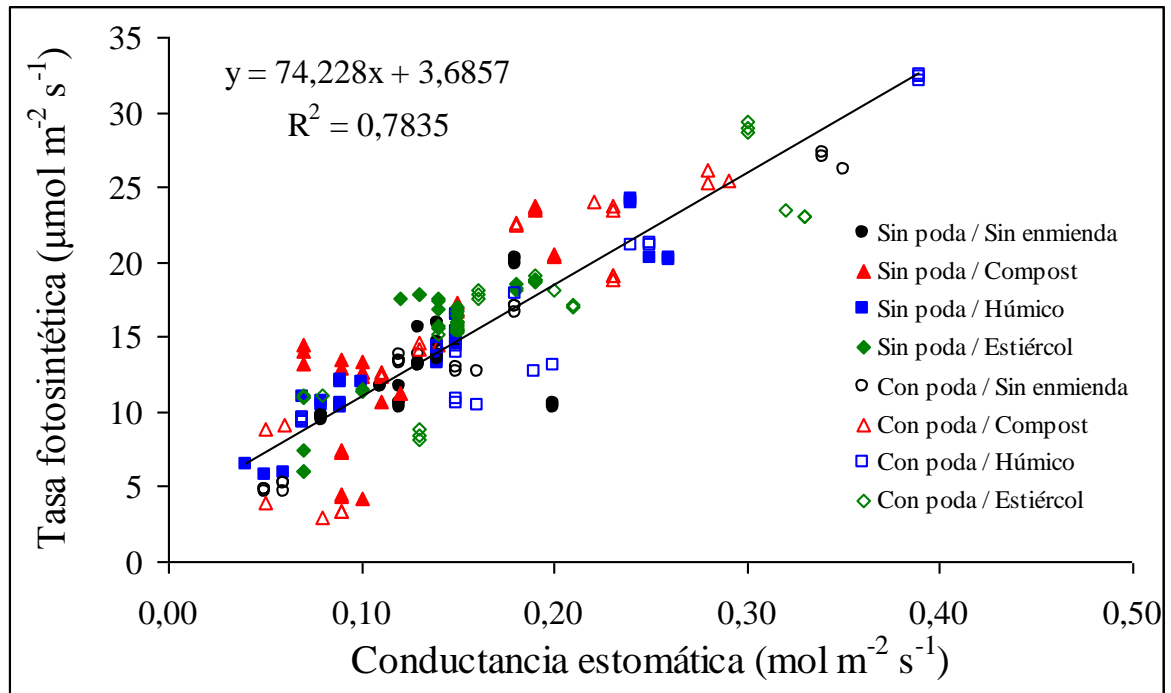


Figura 9. Regresión para predecir una tasa de asimilación por fotosíntesis a partir de valores de conductancia estomática en plantas de olivo bajo una condición de estrés hídrico.

A lo largo del tiempo, se observó que la relación entre la tasa fotosintética y la conductancia estomática no tuvo el mismo comportamiento (Apéndice 4). Se observó que la relación disminuyó entre la primera y la segunda fecha de medición, posteriormente, entre la segunda y la tercera fecha esta relación aumentó, tal y como se puede observar en la pendiente de la ecuación, lo que significa que para el 11 de abril, una misma tasa de conductancia estomática permitió asimilar por fotosíntesis a una tasa más alta, lo que ocurrió a pesar que aumentó el periodo de déficit hídrico absoluto.

Producción en base a peso fresco obtenida en cosecha

No se observó un efecto interacción entre poda y enmienda sobre el rendimiento, ni tampoco un efecto enmienda. El factor poda sí tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento en peso fresco de los frutos fue el factor poda (Cuadro 8). Los resultados en detalle y las reducciones de rendimiento porcentual se presentan en los Cuadros 9 y 10 respectivamente.

Cuadro 7. Peso de olivas frescas cosechadas. Promedio (\pm DS).

Niveles de poda	Peso fresco por planta (g)	Peso fresco por huerto (kg ha ⁻¹)
Plantas no podadas	4.491 (\pm 741) a	7.485 (\pm 1.235) a
Plantas podadas	3.843 (\pm 633) b	6.404 (\pm 1.055) b

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

Las plantas sometidas al déficit hídrico que fueron podadas obtuvieron una producción menor a aquellas igualmente se sometieron al déficit hídrico pero que no fueron podadas, específicamente un 14,4%. Así, llevar a cabo podas severas previas a endurecimiento de carozos como estrategia para enfrentar una sequía conlleva, paralelamente, a una merma en la producción. Aquello ratifica lo obtenido por Fichet (2013), quien realizó un ensayo con olivos de la variedad Coratina en Ovalle, Región de Coquimbo, donde ocurrió un déficit hídrico durante los meses de verano y parte del otoño, observando que, en promedio, las plantas no podadas obtuvieron producciones de fruta por árbol significativamente mayores a aquellas que sí fueron podadas.

El rendimiento promedio obtenido en el cuartel de la variedad Arbequina en que se hizo el ensayo, con los mismos marcos de plantación, fue de 9.830 kg ha⁻¹ de olivas frescas. De ello se desprende que los rendimientos obtenidos por las plantas que se incluyeron en el ensayo están por debajo de los rendimientos obtenidos en cuarteles con riego. Es por ello que, si bien las plantas no podadas producen una mayor cantidad de olivas frescas en comparación a aquellas que sí fueron podadas, el rendimiento sigue siendo mayor cuando las plantas no se encuentran con un déficit hídrico. El rendimiento promedio de olivas

frescas de las plantas tratadas con déficit hídrico y sin poda fue un 23,86% menor al rendimiento obtenido por el productor en los cuarteles que no se incorporaron al ensayo, mientras que aquellas plantas que, además de ser tratadas con déficit hídrico fueron podadas, su rendimiento fue un 34,85% menor.

Dicha disminución de la producción con respecto a aquellas plantas que sí fueron regadas, podría deberse a que la disponibilidad de fotoasimilados pueden ser deficientes bajo condiciones de estrés, como por ejemplo, en este caso, un estrés hídrico (Alegre *et al.*, 2001).

Cuadro 9. Detalle de los resultados de peso fresco obtenidos en cosecha.

Factor Poda	Factor Enmienda	Peso neto total (g planta ⁻¹)	Producción (kg ha ⁻¹)
Sin poda	Ácido húmico	5091	8485,0
Sin poda	Sin enmienda	4804	8006,6
Sin poda	Estiércol	4655	7758,3
Con poda	Sin enmienda	4533	7555,0
Con poda	Compost	4117	6861,6
Con poda	Ácido húmico	3664	6106,6
Sin poda	Compost	3413	5688,3
Con poda	Estiércol	3056	5093,3

Cuadro 10. Detalle de la reducción porcentual en el rendimiento para cada uno de los tratamientos.

Factor Poda	Factor Enmienda	Reducción en la producción (%)
Con poda	Estiércol	48,19
Sin poda	Compost	42,13
Con poda	Ácido húmico	37,88
Con poda	Compost	30,20
Con poda	Sin enmienda	23,14
Sin poda	Estiércol	21,08
Sin poda	Sin enmienda	18,55
Sin poda	Ácido húmico	13,68

CONCLUSIONES

La aplicación de enmiendas de estiércol de cabra disminuyó significativamente la densidad aparente y aumentó significativamente la proporción de poros de drenaje rápido en los primeros 10 cm del suelo. Las enmiendas de ácido húmico y estiércol, si bien no generaron diferencias estadísticamente significativas en el agua aprovechable, tendieron a aumentar esta propiedad.

La aplicación de enmiendas de compost, ácido húmico y estiércol contribuyeron a disminuir el estrés de plantas de olivo bajo condiciones de estrés hídrico absoluto, lo cual se reflejó en potenciales hídricos de brotes menos negativos. Este efecto se produjo 120 días después de aplicadas las enmiendas.

Entre las enmiendas, el ácido húmico fue el que obtuvo los potenciales hídricos de brote más cercanos a cero.

El estiércol y la poda contribuyeron a mantener a lo largo del ensayo las más altas tasas de actividad fotosintética.

Las plantas no podadas obtuvieron una producción de olivas en base a peso fresco significativamente superior a aquellas plantas que sí fueron podadas, sin embargo, se observó que su rendimiento en peso fresco no alcanzó a la producción obtenida en el huerto que sí se mantuvo con riego.

BIBLIOGRAFÍA

- Aburto, F., C. Hernández, M. Pfeiffer, M. Casanova and W. Luzio. 2008. The International Conference & Field Workshops on Soil Classification. Soil: a work of art of nature. Northern Field – Guide Between 30 ° S and 33 ° 30 ´ S 9th – 18th November. Santiago, Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.
- Alegre, S., J. Girona, A. Arbonés, M. Mata y J. Marsal. 2001. Estrategias de riego deficitario controlado para el riego del olivar. Especial Olivicultura III, *Fruticultura Profesional* (120): 19 – 28.
- Angelopoulos, K., B. Dichio and C. Xiloyannis. 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. *Journal of Experimental Botany* (301): 1093 – 1100.
- Barranco, D., R. Fernández-Escobar y L. Rallo. 2008. El cultivo del olivo. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa Coedición Junta de Andalucía. 846 p.
- Berryman, C., D. Davies, C. Evans, M. Harrod, A. Hughes, R. Skinner *et al.* 1982. Techniques for measuring soil and physical properties. Formerly Advisory Paper N° 18. Reference Book 441. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Swedish. 116 p.
- Björkman, O and Demming, B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170: 489-504.
- Brady, N. y R. Weil. 2000. Elements of the Nature and Properties of Soils, Prentices Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 559 p.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Madrid. Ediciones Aerotécnicas F. L. 342 p.
- Chartzoulakis, K., A. Patakas and A. Bosabalidis. 1999. Changes in water relations, photosynthetic and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. *Environ. Exp. Bot.* (42): 113 – 120.
- Cortés, A. 2011. Estabilización física de camellones con palto vía enmiendas orgánicas / cultivos de cobertura, IV Región de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 45 h.
- Czarnes, S., P. Hallet, A. Bengough and I. Young. 2000. Root- and microbial derived mucilages affect soil structure and water transport. *European Journal of Soil Science*

(51): 435 - 443.

- Dane, J. H. and G. C. Topp. 2002. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods.* Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. Book Series N° 5. 1692 p.
- De Santa Olalla, F., P. López y A. Calera. 2005. *Agua y agronomía.* Mundi Prensa Libros. 606 p.
- Ennajeh, M., T. Tounekti, A. Vadel, H. Khemira and H. Cochard. 2008. Water relations and drought-induced embolism in olive (*Olea europaea*) varieties “Meski” and “Chamlali” during severe drought. *Tree Physiology* (28): 971 – 976.
- Errázuriz, A., P. Cereceda, J. González, M. González, M. Henríquez y R. Rioseco. 1998. *Manual de geografía de Chile.* Editorial Andrés Bello. 443 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization), Unión Europea. 2003. Principios básicos para mejorar la productividad del agua. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep>. Leído: 5 de octubre 2012.
- Fernández, P. 2013. Cambio en las propiedades físicas de un suelo con camellones tratado con dos fuentes ácidas, V Región de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 30 h.
- Ferreira E., R. Sellés, P. Gil y R. Ruiz. 2011. Asfixia radicular en huertos de palto: Manejo del riego y suelo. 54 p. Boletín INIA N° 231. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Cruz, Chile.
- Fichet, T. 2013. Manejo de la carga frutal y su relación con el añerismo. 2: 39 – 70. In: T. Fichet y J. L. Henríquez. *Aportes al conocimiento del olivo en Chile.* Universidad de Chile. Santiago, Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 21. 266 p.
- Flexas, J., J. M. Escalona and H. Medrano. 1999. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines. *Plant, Cell and Environment* (22): 39 – 48.
- García, A. y V. Fuentes. 1994. *Cultivos en zonas semiáridas: Características que mejoran sus rendimientos y uso eficaz del agua.* EDITUM. 312 p.
- Geilfus, F. 1994. *El árbol al servicio del agricultor: Principios y técnicas.* Turrialba, Costa Rica. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 657 p.
- Hartge, K. und R. Horn. 2009. *Die physikalische Untersuchung von Böden. Praxis, Messmethoden, Auswertung.* E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Germany. 178 p.

- Hillel, D., A. Warrick, R. Baker and C. Rosenzweig. 1998. Environmental soil physics. Academic Press. 771 p.
- 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.
- Larrañaga, P. y M. Osoreo. 2011. Catastro frutícola; IV Región de Coquimbo. Santiago, Chile. CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 44 p.
- Marín, E. 2011. Estabilización de camellones con cultivo de mandarina (*Citrus reticulata*) mediante el uso de dos fuentes de materia orgánica, IV Región de Chile. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 34 h.
- 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 (Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe). 32 p.
- 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.
- Richards, D. 1983. The grape root system. Horticultural Research Institute. Department of Agriculture, Australia. *Horticultural Reviews* 3: 127 – 168.
- Sandoval, M., J. Celis and P. Morales. 2011. Structural remediation of an Alfisol by means of sewage sludge amendments in association with yellow serradela (*Ornithopus compressus* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11: 68 – 78.
- Sandoval, M., J. Dörner, O. Seguel, J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelo. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Chillán, Chile. Número 5. 80 p.
- Schoeneberger, P., D. Wysocki, D. Benham and W. Broderson (Eds.). 2002. Field book for describing and sampling soils, Version 2.0. Lincoln, NE, USA. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.

- Searles, S., M. Agüero y M. Rousseaux. 2011. 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: 15-28.
- 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., N. Franck y J. Toro. 2013b. Efecto acumulado en el suelo de la aplicación de enmiendas húmicas en camellones con cítricos, Región de Coquimbo. *Revista Riego y Drenaje* 12 (5): 33 – 35.
- Shaxson, F., y R. Barber. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: el significado de la porosidad del suelo. FAO (Food and Agriculture). 128 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.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Fisiología vegetal. Universitat Jaume I. 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. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 14 p.
- Uribe, J., R. Cabrera, A. de la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas bioclimático de Chile. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile. CORFO (Corporación de Fomento de la Producción). Ministerio de Bienes Nacionales. 229 p.
- Warrick, A. (Ed.). 2002. Soil physics companion. Boca Raton. CRS Press. 389 p.
- Zamorano, N. 2011. Estimación del índice de área foliar por medio de la interceptación de radiación solar en vid y olivo. Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 28 h.

APÉNDICE

Apéndice 1.

Descripción morfológica de tres perfiles del huerto:

Calicata 1.

0 – 14 cm: Rojo oscuro (2,5 YR 3/2) rodeando al agregado pero pardo rojizo (2,5 YR 4/4) al interior en húmedo; arcillo limoso con grava fina escasa; plástico muy adhesivo con gravas redondeadas medias (3 – 10 cm) escasas (10%); bloques subangulares finos y moderados; firme. Poros finos y muy finos abundantes y poros gruesos comunes; raíces finas y medias escasas. Límite lineal claro.

14 – 70 cm: Rojo oscuro (10 R 3/3) en húmedo; arcillo limoso denso con grava media escasa; bloques subangulares gruesos débiles. Poros finos abundantes y medios escasos; raíces medias comunes y finas escasas. La parte superior del horizonte reacciona de forma ligera al HCl, no así la parte inferior del horizonte). Límite lineal gradual.

70 – 90 cm y más: Rojo muy oscuro (10 R 2,5/2) en húmedo; arcillo limoso; bloques subangulares finos y medios débiles, firme. Poros finos abundantes; raíces medias escasas y finas muy escasas.

Calicata 2.

0 – 18 cm: Rojo oscuro (2,5 YR 3/2) en húmedo; franco arcillo arenoso con grava fina escasa, plástico y adhesivo; bloques subangulares fuertes, medios y finos comunes. Poros finos comunes y muy finos abundantes; raíces medias y finas comunes. Límite lineal abrupto.

18 – 30 cm: Rojo oscuro (2,5 YR 3/2) en húmedo; arcillo limoso con grava fina escasa; muy plástico y adhesivo; bloques subangulares finos moderados. Poros finos comunes y muy finos abundantes; raíces medias y finas muy escasas. El horizonte presenta una estrata pedregosa cercana al límite inferior de gravas de 3 a 8 cm redondeados (20%). Límite lineal gradual.

30 – 39 cm: Rojo muy oscuro (2,5 YR 2,5/2) en húmedo; arcillo limoso con grava fina escasa; plástico y adhesivo; bloques subangulares finos y medios moderados. Poros finos abundantes y medios escasos; raíces medias comunes. El horizonte presenta una estrata pedregosa cercana al límite de 1 a 7 cm redondeados escasos (10%). Límite lineal claro.

39 – 77 cm: Pardo rojizo oscuro (2,5 YR 3/4) en húmedo; arcilloso con grava media

común; muy plástico y adhesivo; bloques subangulares, gruesos, débiles, en sectores de grieta y poros se observa materia orgánica negra (Gley N° 1 2,5/N) en húmedo (5%). Poros finos comunes y muy finos abundantes; raíces medias muy escasas. Reacción al HCl moderada en betas y clastos (5%). Límite lineal abrupto.

77 – 91 cm y más: Pardo rojizo oscuro (2,5 YR 3/4) en húmedo; franco arcillo limoso; plástico y muy adhesivo; bloques subangulares gruesos y medios débiles. Poros medios escasos y finos abundantes. Presencia de cutanes escasos discontinuos. Reacción moderada al HCl.

Calicata 3.

0 – 26 cm: Rojo muy oscuro (2,5 YR 2,5/2) en húmedo, arcillo limoso con gravas finas y medias escasas; plástico y adhesivo; bloques subangulares finos fuertes. Poros finos abundantes y medios escasos; raíces medias moderadas y finas abundantes. Límite lineal claro.

26 – 40 cm: Pardo rojizo oscuro (2,5 YR 3/3) en húmedo; arcilloso con gravas medias moderadas, bloques subangulares medios moderados. Poros muy finos abundantes; y raíces gruesas y finas escasas. Ligerá reacción al HCl. El horizonte presenta una discontinuidad litológica de gravas gruesas redondeadas de un 15%. Límite lineal abrupto.

40 – 69 cm: Pardo rojizo oscuro (2,5 YR 3/4) en húmedo; arcillo limoso con gravas medias comunes; plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares medios fuertes. Poros finos abundantes; raíces medias escasas y finas moderadas. Moderada reacción al HCl. Límite lineal gradual.

69 – 85 cm y más: Rojo oscuro (10 R 3/3) en húmedo; arcillo limoso; plástico y ligeramente adhesivo con gravas medias comunes. Poros finos abundantes y medios escasos; raíces finas escasas.

Apéndice 2.

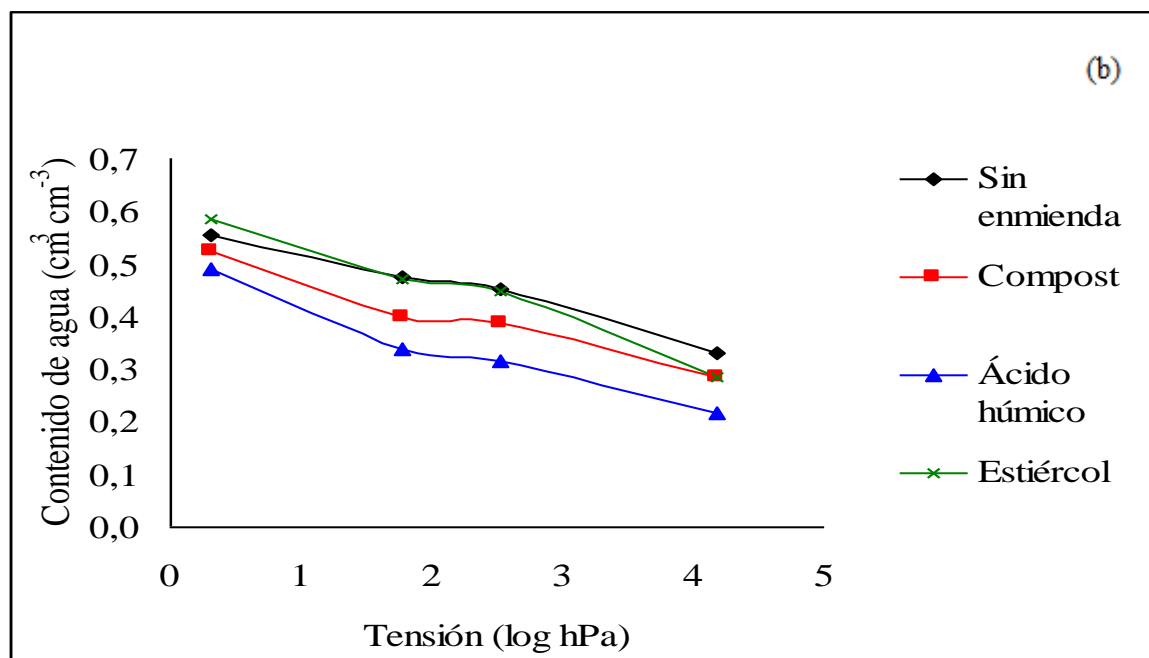
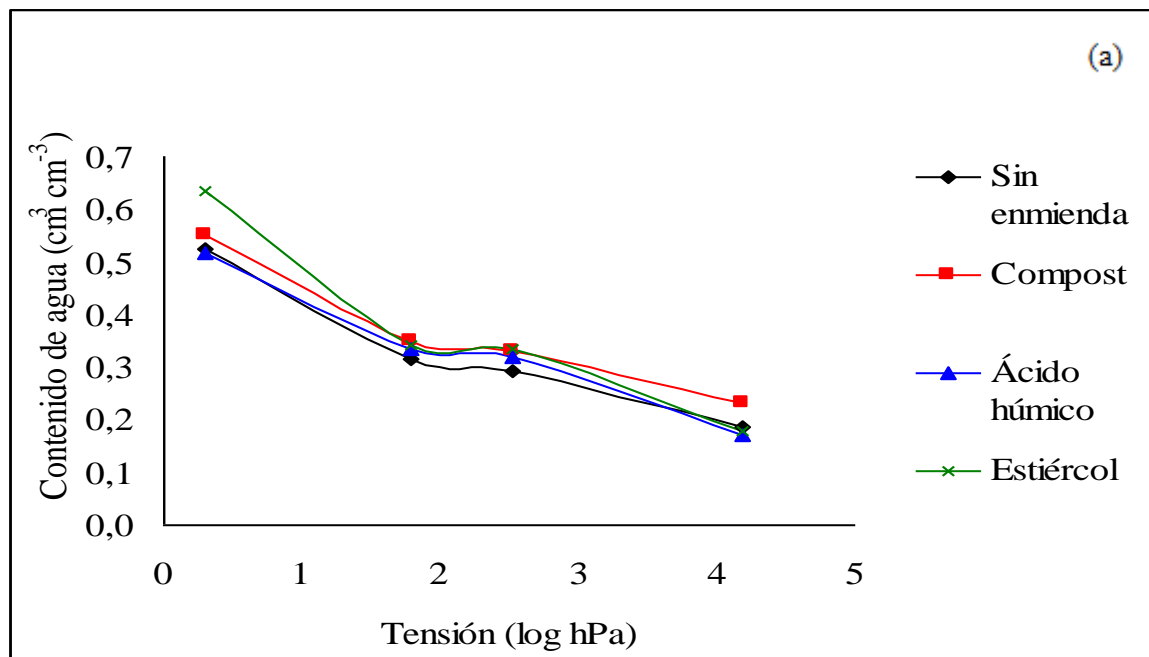
Detalle de textura y clase textural de cada horizonte y calicata.

Calicata	Horizonte	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural
1	1	34	50	16	Arcillosa
1	2	22	64	14	Arcillosa
1	3	40	50	10	Arcillosa
2	1	36	46	18	Arcillosa
2	2	35	52	13	Arcillosa
2	3	30	57	13	Arcillosa
2	4	27	64	9	Arcillosa
2	5	37	51	12	Arcillosa
3	1	33	48	19	Arcillosa
3	2	32	53	15	Arcillosa
3	3	28	62	10	Arcillosa
3	4	22	64	14	Arcillosa

La clase textural se obtuvo a partir del triángulo textural diseñado por el USDA.

Apéndice 3.

Curva característica de retención de agua evaluada para los diferentes tratamientos de enmiendas aplicadas al suelo. Evaluación con muestras de 0 a 10 cm (a) y 20 a 30 cm de profundidad (b).



Apéndice 4.

Regresión para predecir una tasa de asimilación por fotosíntesis a partir de valores de conductancia estomática observada en plantas de olivo bajo una condición de estrés hídrico absoluto. Evaluaciones realizadas en las fechas 8 de marzo (a), 22 de marzo (b) y 11 de abril (c).

