

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

MEMORIA DE TITULO

**EFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO, EN LA CARGA
FRUTAL Y RADIACIÓN INTERCEPTADA DEL OLIVO
(*Olea europea* L.) EN LA REGIÓN DE COQUIMBO.**

FELIPE IGNACIO NOVA VENTURELLI

SANTIAGO, CHILE

2015

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

MEMORIA DE TITULO

**EFEECTO DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO, EN LA CARGA
FRUTAL Y RADIACIÓN INTERCEPTADA DEL OLIVO
(*Olea europea* L.) EN LA REGIÓN DE COQUIMBO.**

**EFFECT OF CONTROLLED DEFICIT IRRIGATION IN THE FRUIT
LOAD AND RADIATION INTERCEPTED OF THE OLIVE TREE
(*Olea europea* L.) IN THE REGION OF COQUIMBO.**

FELIPE IGNACIO NOVA VENTURELLI

SANTIAGO, CHILE

2015

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

**EFEECTO DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO, EN LA CARGA
FRUTAL Y RADIACIÓN INTERCEPTADA DEL OLIVO
(*Olea europea* L.) EN LA REGIÓN DE COQUIMBO.**

Memoria para optar al Título Profesional de:
Ingeniero Agrónomo

FELIPE IGNACIO NOVA VENTURELLI

Profesores guías:	Calificaciones
Sr. Cristian Kremer F. Ingeniero Agrónomo, Ph. D	6,4
Sr Victor Garcia de Cortázar G. de C. Ingeniero Agrónomo, Dr. Ing.	6,3
Profesores Evaluadores:	
Sr Ian Homer B. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5
Sr Erwin Aballay E. Ingeniero Agrónomo, M. S. Ph. D.	6,0

**Santiago – Chile
2015**

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Hipótesis	5
Objetivo:	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
Lugar de estudio.....	6
Materiales.....	6
Tratamientos	6
Diseño experimental	7
Procedimiento	8
Caracterización del suelo.....	8
Contenido de agua del suelo.....	9
Radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada.....	9
Producción	11
Eficiencia en el uso de la radiación (EUR).....	11
Área de sección transversal del tronco (ASTT).....	12
Análisis estadístico	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Características del Suelo	13
Evapotranspiración de Referencia y Variables Climáticas.....	13
Riego.....	15
Contenido de Agua en el suelo	16
TDR	16
Diviner	18
Interceptación.....	19
Evolución en la fracción interceptada	20
Tamaño árbol.....	21

Eficiencia en el uso de la radiación	22
Balance de interceptación de radiación o crecimiento	25
Comparación de rendimiento entre los dos diseños empleados en este ensayo	27
Producción	27
Efecto de la carga frutal sobre la producción	27
Efecto de la carga frutal sobre el tamaño del fruto.....	28
Variables de producción	29
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA	33
APÉNDICE I	37

RESUMEN

La escasa disponibilidad de agua en la región de Coquimbo, se ha transformado en un factor limitante para la agricultura. Dado esto, una especie de alta resistencia a la sequía, como el olivo (*Olea europea* L.), resulta altamente atractiva para su cultivo.

Además se han generado nuevas técnicas para aumentar la eficiencia del recurso sin tener una pérdida de rendimiento. Una de las estrategias con mejores resultados es el riego deficitario controlado (RDC), el cual consiste en suplir con menor cantidad de agua a la deseable a los árboles, sin que haya una merma significativa de rendimiento.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de RDC en la carga frutal y radiación interceptada de un huerto de olivos var. Arbequina. Para ello, los árboles fueron sometidos a 4 tratamientos distintos aplicando la estrategia de RDC de reposición hídrica equivalentes a: T0 (100% de ET_c), T1 (75% de ET_c), T2 (50% de ET_c) y T3 (25% de ET_c), entre los meses de diciembre a mayo. Cabe señalar que estos porcentajes no se lograron aplicar dado el déficit de agua de la región, por lo cual T0 quedó en un 53,9% de la ET_c . Además se controlaron periódicamente variables climáticas y de contenido de agua en el suelo.

Se realizaron mediciones periódicas de interceptación de radiación solar a los árboles, para así obtener resultados de crecimiento de estas. Además, al final de la temporada se cosecharon los árboles, obteniendo resultados de producción (carga frutal, calibre, peso de frutos, rendimiento, porcentaje de aceite, entre otras). Los valores de interceptación de radiación se interpolaron para obtener la interceptación total de la temporada de los árboles, que junto con componentes de producción se obtuvieron valores de eficiencia en el uso de la radiación para producción de frutos (EUR_f) y para la producción de aceite (EUR_a).

Los resultados mostraron que los olivos sometidos a mayor déficit hídrico, presentaron menores valores de rendimiento, carga frutal, peso de fruto y calibre, además de presentar un menor crecimiento durante la temporada. Por otra parte, los árboles mejor regados presentaron un mayor rendimiento de fruta y de aceite que el resto.

Frente a estos resultados, se puede concluir que lo mejor será regar a los olivos con la mayor cantidad de agua disponible (para casos especiales como la de este ensayo), para así generar un mayor crecimiento de los árboles, además de un mejor rendimiento en fruta y en aceite.

Palabras claves: déficit hídrico, carga frutal, radiación interceptada, olivo, riego deficitario controlado

ABSTRACT**EFFECT OF CONTROLLED DEFICIT IRRIGATION IN THE FRUIT
LOAD AND RADIATION INTERCEPTED OF THE OLIVE TREE
(*Olea europaea* L.) IN THE REGION OF COQUIMBO.**

The scarce availability of water in the region of Coquimbo has currently transformed into a limiting factor for agriculture. Given that, a high drought resistant species, like the olive tree (*Olea europaea*), becomes highly attractive for its cultivation.

Also this situation has generated new techniques with the purpose to increase the resource use efficiency without a yield loss. One of the best strategies is “controlled deficit irrigation” (RDC) which consist to supply a lower water level than desirable for the fruit trees without significant yield losses.

The aim of this study was to evaluate the effect of different levels of RDS in the fruit load and intercepted radiation in olive trees orchard (cv. Arbequina). To this effect the trees were subjected to four different treatments using the RDC strategy of water reposition equivalent to: T0 (100% of ET_c), T1 (75% of ET_c), T2 (50% of ET_c) and T3 (25% of ET_c) between December and May. It is important to mention, that those percentages were not able applied because of drought. Therefore T0 stayed in 53, 9% of ET_c . In addition, climatic and soil water content variables were periodically controlled.

Systematic measurements of solar radiation interception were made during the experiment in order to obtain results of growth of these. Moreover at the end of the season the trees were harvested obtaining production results (fruit load, size, fruit weight, yield, oil percentage, among others). Radiation interception values were interpolated to crop load, yield, fruit size, oil percentage, among, others. The interception values were interpolated to obtain the total interception at the end season, which together with the productions components were obtained radiation use efficiency values (RUE) for oil and yield.

Results shown that olive trees treated with a higher water deficit, presented lower values of yield, fruit load, fruit weight and size fruit, besides presenting lower growth throughout the season. Moreover the best irrigated trees had a higher fruit yield and oil than the others.

In light of these results it was concluded it's better to irrigate with the more water available for special cases such as this essay, in order to generate a further growth of the trees, and also to have a better yield in fruit and oil.

Key words: water deficit, fruit load, radiation intercepted, olive, controlled deficit irrigation.

INTRODUCCIÓN

El olivo (*Olea europea* L.), es cultivado desde la antigüedad, siendo originaria del mediano oriente, aunque en donde más se cultiva es en las zonas mediterráneas de Europa, con un 80% de la producción (Razeto, 2006). Aquí las plantas a menudo son expuestas a largos periodos de déficit de agua, altos niveles de radiación y grandes demandas evaporativas durante el verano (Connor y Fereres, 2005).

Comparado con otros frutales, el olivo es capaz de tolerar la baja disponibilidad de agua en el suelo mediante adaptaciones tanto morfológicas como fisiológicas adquiridas en respuestas a largos tiempos de estrés hídrico (Connor y Fereres, 2005). Algunas de estas adaptaciones son: una disminución en el intercambio gaseoso (Mariana *et al.*, 2002), un muy desarrollado ajuste osmótico (Dichio *et al.*, 2005) y la habilidad para extraer agua del suelo a un alto gradiente de potencial hídrico (Fernández *et al.*, 1997). Sin embargo bajo estas condiciones, aunque el árbol logra sobrevivir, manifiesta un menor crecimiento y una menor o nula producción (Osorio *et al.*, 2006).

El cultivo del olivo, en los últimos años, ha tenido un gran aumento de sus hectáreas plantadas en Chile, siendo en este momento el quinto frutal con mayor superficie en el país, con 19.737 hectáreas (ODEPA 2014). Este aumento se puede deber, entre otros, tanto a la mayor apreciación del aceite de oliva como parte de la dieta mediterránea lo cual ha aumentado su precio (Mariana *et al.*, 2003), como a su capacidad de poder desarrollarse en ambientes con poca agua o de secano.

Mesa (2007) indica que existen dos componentes de productividad en los árboles, por un lado la carga frutal, que tendrá un efecto en el tamaño del fruto, y por otro lado la interceptación de luz por el cultivo que afectará fotosíntesis, desarrollo morfológico de hojas y brotes, iniciación floral y cuaja de la fruta y en el desarrollo y calidad de la fruta (Rom, 1991).

Respecto a la carga frutal, en el olivo como en otros frutales, el componente más importante para estimar el rendimiento es el número de frutos por árbol (Patumi *et al.*, 1999). A pesar de que el olivo es resistente a la sequía, estudios demuestran que tanto el crecimiento del fruto como el número de estos es fuertemente influenciado por la disponibilidad de agua en el suelo (Patumi *et al.*, 1999). Además el olivo presenta añerismo o alternancia productiva, teniendo años con alta floración y muchos frutos (año “ON”), donde casi no produce crecimiento vegetativo, lo que lleva a una escasez de floración en los brotes del árbol en el año siguiente (año “OFF”) (Pritsa y Voyiatzis, 2005).

Por otra parte la radiación interceptada por el cultivo está directamente relacionada con la fotosíntesis, la cual determina directamente la producción de fotosintatos, influyendo en el crecimiento, la productividad y calidad de frutas de las plantas (Raffo e Iglesias, 2004). Ha sido demostrado que durante un déficit hídrico, el olivo logra conservar agua además de generar una fotoprotección (inclinación de sus hojas para evapotranspirar menos), esto gracias a la regulación de la apertura estomática y la disminución de la transpiración

(Fernández *et al.*, 1997). Si se genera un cierre estomático largo en el tiempo, esto podría generar una disminución en el índice de área foliar. Respuestas fisiológicas y estructurales de las hojas, en varios escenarios de radiación-sequía han demostrado que las condiciones de sombra podrían mejorar (o al menos no empeorar) el impacto de la sequía (Quero *et al.*, 2006).

Distintos autores coinciden en la importancia del riego como una práctica beneficiosa para el olivo, dado que su efecto se refleja en el crecimiento vegetativo y en los rendimientos, que conllevan a una entrada en producción más temprana y constante, mejorando las características de la fruta (Palese *et al.*, 2010). Sin embargo, se ha demostrado que la producción del olivo no se ve afectada por niveles moderados de estrés hídrico, por lo cual se comenzó a proponer una nueva técnica de riego llamada riego deficitario controlado.

El riego deficitario controlado es una técnica de riego que busca reducir la cantidad de agua aplicada por debajo del máximo utilizado por el cultivo, permitiendo un estrés moderado con el mínimo impacto en los rendimientos” (Smith y Kivumbi, 2002). El buen aprovechamiento de esta estrategia se basa principalmente en el conocimiento de las distintas respuestas de la planta al estrés hídrico, considerando sus diferentes etapas fisiológicas, de manera de poder identificar los periodos adecuados para realizar los manejos restrictivos de agua (Ferreeres y Goldhamer, 1990).

Estas prácticas de restricción de agua son recomendadas principalmente en zonas áridas y semiáridas para emplear en forma más eficiente este recurso (Hochstrat *et al.*, 2006).

Generalmente en los olivos, el riego deficitario controlado se lleva a cabo durante gran parte de la temporada, sin embargo se recomienda regar de buena manera en el periodo cuando estos son más sensibles a un estrés hídrico (Fernandez *et al.*, 2006). Según varios autores, los procesos de cuaja y división celular del fruto, son las fases más sensibles al déficit hídrico en la mayoría de los cultivos (Selles *et al.*, 2006), por lo cual la fase I, crecimiento del fruto, será el periodo donde más afecte un estrés hídrico al olivo.

Ferreira *et al.* (2001) demostró que regando con un 60% de la ET_c durante toda la temporada, no se afectaba la productividad de los olivos de gran manera, y se lograba ahorrar grandes cantidades del recurso hídrico.

Otro ensayo realizado en California por Goldhamer *et al.* (1994) en la var. Manzanilla, muestra como la producción en los árboles tratados con RDC, implementado en el período de menor sensibilidad a un déficit hídrico, presentaron una ligera merma en la producción (11%) con respecto al tratamiento control pero, sólo cuando se disminuyó el aporte total de agua en más de un 40%, ya que restricciones de agua menores a este porcentaje no afectaron negativamente la producción.

La región de Coquimbo es una de las regiones con más importancia para el olivo dentro de Chile, ya que presenta aproximadamente 3500 hectáreas plantadas de este frutal. Dentro de sus condiciones climáticas presenta altos niveles de radiación, altas demandas evaporativas y una baja disponibilidad de agua, que se ve acrecentada por los bajos niveles de precipitaciones anuales (Alcaíno *et al.*, 2000).

Hipótesis:

Existe un nivel de riego deficitario controlado que no afecta la carga frutal ni la radiación interceptada de los olivos var. Arbequina, con respecto a un huerto bien regado.

Objetivo:

Evaluar la variación de la carga frutal y radiación interceptada del olivo, bajo diferentes niveles de riego deficitario controlado.

Objetivos específicos:

1. Evaluar la producción, además del peso, número, calibre, porcentaje de aceite, y contenido de agua de los frutos de los árboles de cada tratamiento bajo diferentes niveles de agua de riego.
2. Determinar la interceptación de radiación y sus variaciones a través del tiempo de los árboles de olivo sometidos a diferentes niveles de agua de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio se llevó a cabo en el fundo Tabalí ubicado a 15 Km. de Ovalle en la provincia de Limarí de la región de Coquimbo, Chile (30° 39' latitud sur y 71° 25' longitud oeste). La zona presenta clima árido a mediterráneo con precipitaciones anuales que van desde los 75 a 100 mm (Uribe *et al.*, 2012).

Según IREN (1964) el sector pertenece a la serie de suelos Tabalí, de suelos tipo terrazas aluviales con topografía plana a lomajes suaves.

Materiales

Se utilizaron olivos de la variedad Arbequina de 3 años de edad, plantados a 6x3 metros con orientación este-oeste. Estos árboles se encontraban en su año ON de producción.

El sistema de riego consistía en riego por goteo con emisores de 4 L h⁻¹ ubicados cada un metro en hilera simple.

Tratamientos

Se realizaron cuatro tratamientos como muestra el cuadro 1. Estos correspondieron a riegos diferenciales, que partieron en la segunda semana de diciembre hasta la cosecha (06 de Mayo). Estos riegos están expresados como devolución porcentual del agua consumida por el cultivo con un manejo del riego apropiado. Se entiende por apropiado la devolución al suelo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c).

Tratamiento	Porcentaje ET _c deseada	Porcentaje ET _c realmente usados
T0	100%	53,9%
T1	75%	40,4%
T2	50%	26,9%
T3	25%	13,5%

Cuadro 1. Tratamientos del ensayo, con porcentajes de las ET_c deseadas y porcentajes de ET_c realmente usados en el ensayo.

Para poder lograr los diferentes porcentajes de ET_c, se usaron goteros con distintos caudales para cada tratamiento.

Como se muestra en el Cuadro 1, no se alcanzaron las ET_c deseadas, ya que el fundo donde se realizó el ensayo no poseía la cantidad apropiada de agua para regar de buena forma. Así los porcentajes usados para el ensayo fueron los de ET_c realmente usados del Cuadro 1.

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) fue estimada in-situ a partir de los valores de evapotranspiración de referencia (ET_o). La ET_o fue calculada a través de la ecuación de Penman-Monteith y sus variables fueron obtenidas con una estación meteorológica (Campbell Sci; Utah, U.S.A.), ubicada a 1 kilómetro del lugar del ensayo.

La ET_o se utilizó en el cálculo de la ET_c del período del ensayo, con la siguiente ecuación: $ET_c = ET_o * kc$ (Doorembos y Pruitt, 1977); donde kc corresponde al coeficiente de cultivo, para el cual se consideró un valor de 0,7 según lo descrito en la FAO 56 (Allen *et al.*, 2006). El valor obtenido de ET_c fue corregido por el cubrimiento real (árboles de tres años), a través del coeficiente de cobertura de los árboles (kr), con el uso del siguiente modelo: $ET_c(\text{real}) = ET_o * kc * kr$ (Doorembos y Pruitt, 1977).

Para la obtención del valor de kr , se usó un sensor SS1 Delta-T series y se midió la interceptación de los árboles a tres horas del día. Estas mediciones abarcaron toda la superficie asignada a cada árbol, obteniendo un promedio de 20% de interceptación para todos los árboles.

Para efectos de esta determinación, el kr se mantuvo hasta el fin de la temporada para facilitar los manejos de riego.

Diseño experimental

Se realizaron dos diseños experimentales para poder responder de buena manera a la demanda de las mediciones propuestas, dado que para efectuar las mediciones de interceptación de radiación (Diseño experimental 2) se requiere que los árboles no estén sometidos a efectos destructivos, ya que esto generaría una disminución del área foliar de los árboles y con ello posibles errores en las mediciones. Estos efectos destructivos son generados por mediciones efectuadas por otros ensayos dentro del Diseño experimental 1 que involucran la utilización de material vegetal de los árboles.

Diseño experimental 1: consistió en un diseño en bloque completamente aleatorizado (DBCA), donde los 4 tratamientos se distribuyeron en 3 bloques, cada bloque lo conformo una hilera de plantación y estos distanciados a 6 metros.

La unidad experimental la conformaron tres árboles completos, en los cuales se realizaron todas las mediciones.

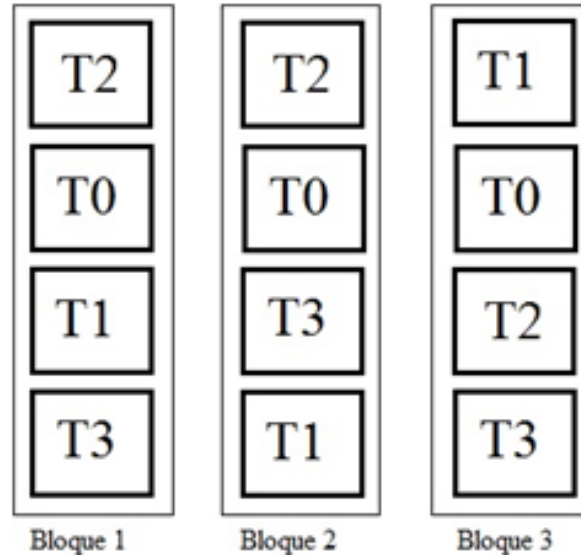


Figura 1. Distribución de los tratamientos establecidos en el predio bajo diferentes RDC. Cada cuadrado representa tres árboles en una hilera sometidos a un tratamiento.

Las mediciones llevadas a cabo en este diseño experimental fueron carga frutal, rendimiento, calibre de los frutos, porcentaje de aceite y porcentaje de humedad de los frutos en cosecha, las cuales serán detalladas posteriormente.

Diseño experimental 2: Se seleccionaron 12 árboles de similar tamaño y de área sección transversal de tronco (ASTT) a un metro de altura, dentro del huerto. A estos árboles se les asignó un tratamiento aleatoriamente, quedando 3 árboles por tratamiento.

A estos árboles se le hicieron mediciones de interceptación solar, carga frutal, rendimiento, porcentaje de aceite y porcentaje de humedad de los frutos. Las 4 últimas mediciones nombradas fueron comparadas con la interceptación de radiación de cada árbol.

La unidad experimental la conformó un árbol completo, en el cual se realizaron todas las mediciones nombradas.

Procedimiento

Caracterización del suelo:

Caracterización física: se caracterizó el sitio del ensayo a través de:

Dos calicatas en cada sobre hilera (SH), dentro del Diseño experimental 1.

La clase textural se determinó a través de la metodología del densímetro (Bouyoucos, 1951), la densidad aparente por el método del terrón, los contenidos de agua a capacidad de campo y punto de marchitez permanente en ollas de presión. Las propiedades de suelo mencionadas se obtuvieron con 3 repeticiones por horizonte, de 0-40 cm y 40-80 cm.

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de suelos pertenecientes al Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Contenido de agua del suelo:

Para describir el impacto de los riegos realizados, se monitoreó el contenido de agua del suelo constantemente a intervalos de 6 horas a 20, 40 y 60 cm con una sonda tipo TDR (CS_616, Campbell Scientific). Estos sensores fueron instalados en una de las repeticiones de cada tratamiento, a 50 cm del eje de la planta (bajo la proyección del gotero).

Adicionalmente, una vez por semana, se realizaron mediciones puntuales del volumen de agua en el suelo, en 15 tubos de acceso (uno en cada unidad experimental) colocados a 50 cm del tronco, con una sonda FDR (Diviner 2000, Sentek), durante 6 semanas y posteriormente de manera mensual.

Radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada:

La radiación PAR interceptada fue calculada mediante la medición de la radiación no interceptada por los árboles (PAR_{ni}) junto con la radiación incidente sobre el huerto (PAR_o). Ésta se realizó con un sensor SS1 Delta-T series, que consiste en una barra de 1 metro con 64 sensores de luz. Las mediciones de PAR_{ni} se hicieron bajo la última hoja del árbol, midiendo idealmente 3 veces al día: a mediodía solar (MDS), 2 y 4 horas antes o después del MDS, esto dado que se asume simetría en la proyección de la sombra de los árboles.

Se realizaron cuatro mediciones de interceptación en lo que duró el ensayo, tratando de que estas fueran con una frecuencia mensual. En la primera medición, el 09 de Enero, se logró hacer las tres mediciones mencionadas anteriormente, de igual forma esto se logró el 19 de Febrero. Por otra parte en la medición del 29 de Marzo solo se lograron realizar dos mediciones (MDS y 2 horas antes), y para la última medición del 06 de Mayo solo la del MDS. En estos dos últimos casos lo que afectó el número de mediciones fue la nubosidad intermitente que había esos días, lo que no permitió medir de forma correcta.

Que se tengan una menor cantidad de mediciones que lo ideal no es un tema preocupante para el ensayo, ya que se demostró posteriormente que la medición del mediodía solar representa de buena manera lo que ocurre en todo el día en los árboles dentro de este ensayo, en otras palabras la medición del MDS representa el promedio lineal de las tres mediciones que se pueden llegar a hacer durante del día (Apéndice I).

Las mediciones se hicieron de tal forma de que las evaluaciones cubrieran toda la superficie asignada al árbol (6 x 3 m). La primera posición se hizo al medio del árbol, después estas posiciones se iban moviendo 0,5 m hacia el Este del árbol hasta llegar al final de su entre hilera, finalmente se hacían lo mismo desde la mitad del árbol hacia al Oeste. En cada

“posición” de medición se tenían 3 posturas del ceptómetro (sentido Norte-Sur), ya que éste mide 1 metro y la sobre hilera es de 3 metros. Todo lo anteriormente descrito se muestra en la figura 2.

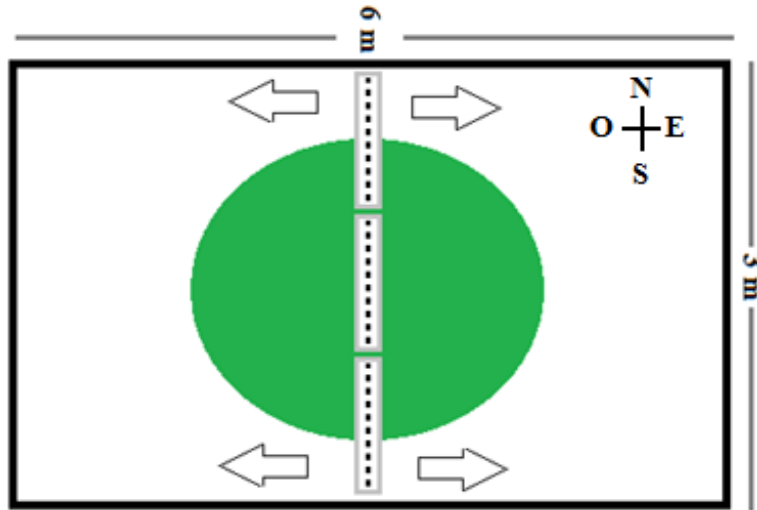


Figura 2. Diagrama de medición de la radiación solar que intercepta el huerto, en el espacio asignado al árbol.

La fracción de radiación interceptada se estimó como:

$$f = (\text{PARo} - \text{PARni}) / \text{PARo}$$

Dónde:

f = fracción de la radiación interceptada.

PARo = radiación incidente sobre el huerto.

PARni = radiación que llega al suelo sin ser interceptada por el árbol.

El PARo se midió sobre el nivel del huerto al inicio y termino de cada medición en cada uno de los tres momentos del día.

El PARni se obtuvo por el promedio de todas las mediciones hechas por el ceptómetro a cada árbol a la hora específica de su medición.

El promedio de interceptación de cada árbol se calculó como un promedio lineal entre los datos obtenidos durante el día, dado que no se vieron diferencias con el cálculo normal de interceptación, quedando de la siguiente forma:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{Lectura MDS} + \text{Lectura 2 horas} + \text{Lectura 4 horas}}{3}$$

Producción:

Para los parámetros de producción se esperó hasta el final de la temporada, y se procedió a cosechar los árboles de cada tratamiento (al mismo tiempo que eran cosechados los árboles del predio donde se realizó el ensayo). Al tener los frutos cosechados se procedió a medir:

1. Producción total: se pesaron todos los frutos frescos de los árboles tratados.
2. Peso promedio de frutos: se seleccionaron 100 frutos frescos aleatoriamente de cada árbol, se pesaron y se dividieron por 100, obteniéndose el peso promedio de frutos frescos por tratamiento.
3. Con los dos resultados anteriores se estimó la cantidad de frutos promedio de cada árbol, realizando una división entre el peso total de todos los frutos de cada árbol con el peso promedio de cada fruto, quedando de la siguiente forma:

$$\text{Frutos promedio} = \frac{\text{Producción árbol (gr)}}{\text{Peso promedio un gruto (gr)}}$$

4. A los 100 frutos de cada árbol también se les midió su calibre (diámetro polar y ecuatorial).
5. Porcentaje de aceite con el método de Soxhlet que consiste en el uso de pulpa seca y éter de petróleo como solvente (AOAC, 1998). La pulpa seca se determinó por desecación en estufa a presión atmosférica a 70°C, hasta llegar a peso constante. El resultado se expresó en porcentaje de aceite en base a materia seca.
6. Peso seco de los frutos, se obtuvo secando los frutos en una estufa con temperatura constante de 70 ° C por más de ocho horas.
7. Contenido de agua en frutos, expresada en porcentaje se obtuvo por la diferencia entre el peso fresco de los frutos con el peso seco de ellos dividiendo ese resultado por el peso fresco de los frutos, todo esto descontando en cada caso el peso de la semilla.

Eficiencia en el uso de la radiación (EUR):

La EUR se evaluó con respecto a tres variables, peso seco de los frutos (gMS m⁻²), producción de aceite (g m⁻²), cantidad de agua en frutos (gAgua m⁻²).

Para poder obtener los valores de EUR se utilizó el valor final de los frutos cosechados de cada una de las variables anteriormente mencionadas, y este valor fue dividido por la radiación PAR interceptada acumulada durante toda la temporada, quedando de la siguiente manera:

$$\text{EUR} = \frac{\text{Peso seco frutos; Porcentaje aceite frutos; Porcentaje humedad frutos}}{\text{PAR interceptada acumulada en la temporada (RIA)}}$$

Para poder obtener la PAR interceptada acumulada se necesita conocer 2 valores durante todo el tiempo de medición, uno es la fracción interceptada de los arboles (anteriormente se explicó cómo fue medida), y la otra es la radiación visible que llega al huerto. Esta última se obtuvo por las mediciones realizadas por la estación meteorológica ubicada en el huerto, y que es la suma de toda la radiación visible que llega en un día determinado. Lo mencionado anteriormente se resume en la siguiente fórmula:

$$RIA = \sum (f \times Rv)$$

Dónde:

RIA: Radiación PAR interceptada acumulada.

f: fracción de radiación interceptada. Para obtener los valores en los periodos donde no hubo mediciones, se realizó una interpolación de los “f” intermedios con los datos medidos, así se pudo estimar la interceptación en cada día en que duró el ensayo.

Rv: radiación visible (0,5 x Rad.global), la cual se obtuvo por las mediciones de una estación meteorológica ubicada a 1 kilómetro del lugar del ensayo.

Σ : sumatoria desde segunda de semana de diciembre hasta el final de la temporada.

Área de sección transversal del tronco (ASTT)

Éste parámetro se estimó al principio como al final del ensayo (27 Noviembre 2012 y 06 de Mayo 2013), calculando el perímetro del tronco a un metro de altura de los árboles. Con este valor se obtuvo el radio del tronco y una vez estimado éste, se procedió a calcular el ASTT utilizando la fórmula de área de una circunferencia ($\pi \cdot r^2$)

Análisis estadístico

Para el primer diseño experimental, el diseño estadístico correspondió a bloques completamente aleatorizado con 4 tratamientos distribuidos en 3 bloques. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de la varianza (ANDEVA) y cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, a un nivel de 5% de significancia.

Por otra parte, para el segundo diseño experimental, el diseño estadístico consistió en un diseño completamente aleatorizado, donde los 4 tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente en el huerto con 3 repeticiones cada uno. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de la varianza (ANDEVA) y cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, a un nivel de 5% de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del Suelo

En la zona de estudio, el suelo presentó porcentajes sobre el 50% de arcillas en todo el perfil. En el cuadro 2 se aprecia que las proporciones de arcilla, limo y arena en ambas profundidades fueron similares, lo que se debe a la confección de camellones y la homogenización en profundidad del perfil (Krause *et al.*, 2009). La densidad aparente presentó valores mayores a $1,7 \text{ Mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, valor alto considerando la textura de este tipo de suelo, sin embargo por la metodología ocupada para determinar este parámetro, sobrestima el valor al no considerar los espacios entre los agregados, por lo que se esperaría que los resultados fueran alrededor de un 11% menores (Matus *et al.*, 2002), sin embargo sigue siendo un valor alto.

Con respecto a la retención de agua, se apreció una retención cercana al 33% a capacidad de campo (-33 Kpa) y cercana a 22% en el punto de marchitez permanente (-1500 Kpa), mostrando una leve diferencia en las dos profundidades.

Cuadro 2. Características físicas del suelo. Porcentaje de arena (a), limo (L) y arcilla (A), clase textural, densidad aparente determinada por el método del terrón (Da) y retención de agua a capacidad de campo (-33 kPa) y punto de marchitez permanente (-1500 kPa).

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

Evapotranspiración de Referencia y Variables Climáticas

La temperatura medida por la estación meteorológica, reveló una amplitud térmica marcada durante el periodo de estudio, con una media de 18°C de diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas de cada día, para el periodo comprendido entre diciembre de 2012 y mayo de 2013. A partir del mes de marzo de 2013, hubo un descenso en las temperaturas (Figura 3).

La evapotranspiración de referencia (Figura 4), tuvo sus valores máximos durante diciembre de 2012 y enero de 2013, y fue disminuyendo paulatinamente a partir de mediados de febrero.

El déficit de presión de vapor (DPV), al igual que los parámetros anteriores, mostró mayores valores al principio del ensayo para después tender a la baja. El DPV obtuvo un valor promedio de $1,02 \pm 0,3$ kPa (Figura 5).

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

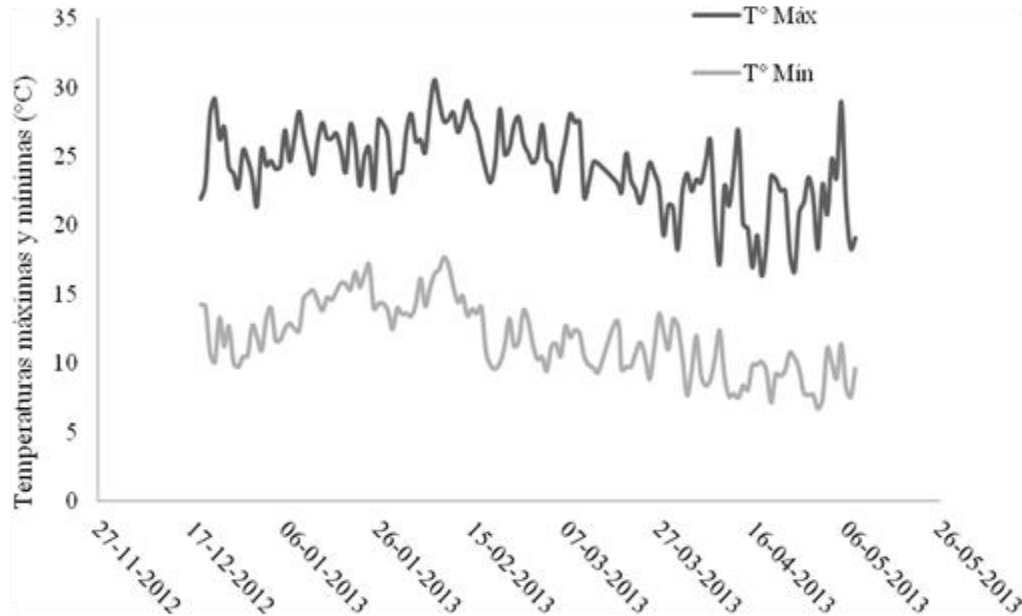


Figura 3. Temperaturas máximas y mínimas registradas durante el periodo de estudio.

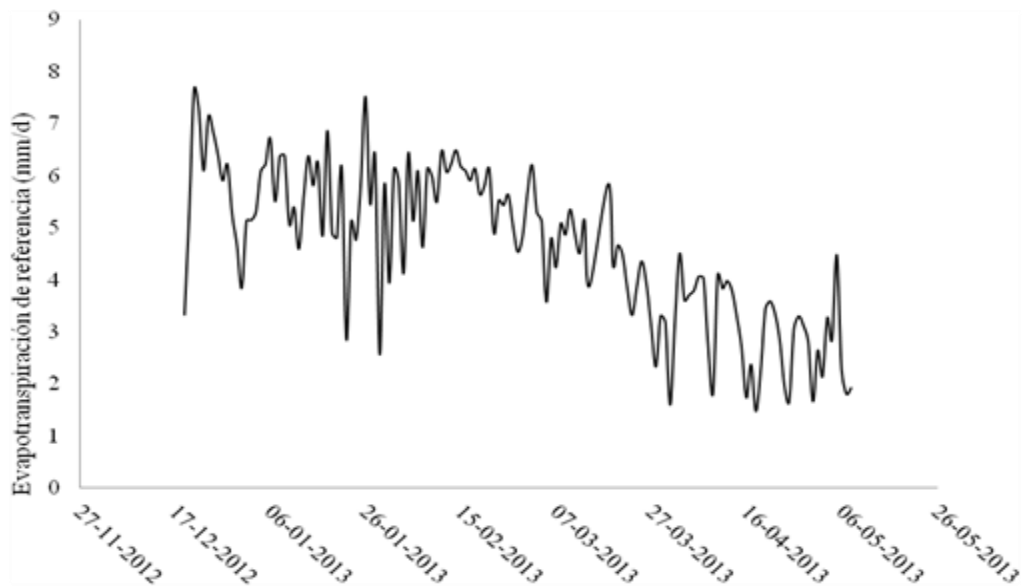


Figura 4. Evapotranspiración de referencia (ET₀) registrado durante el periodo de estudio.

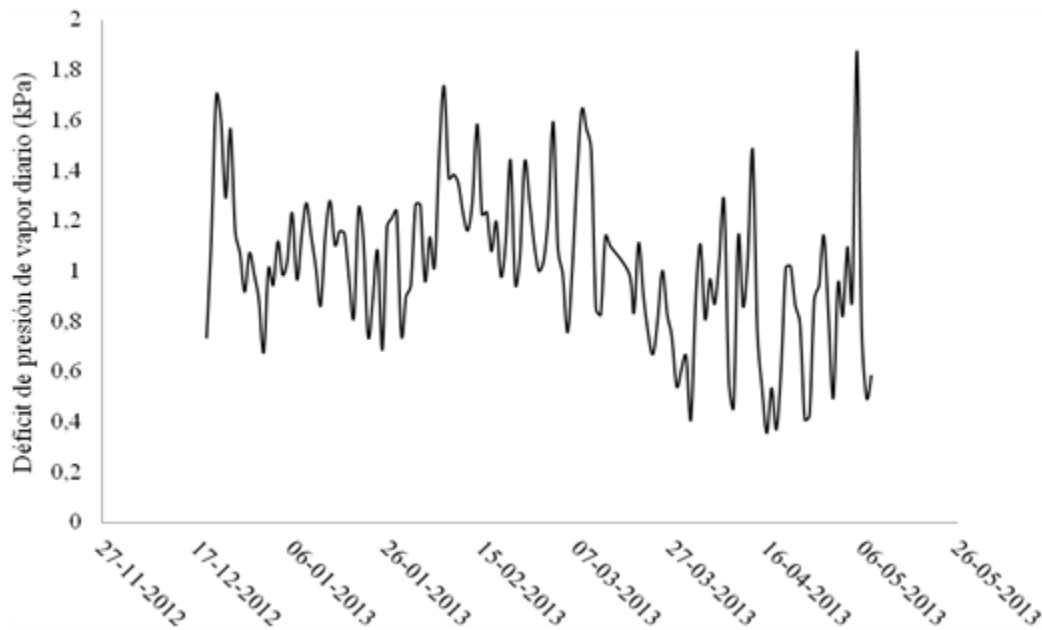


Figura 5. Déficit de presión de vapor (DPV) registrado durante el periodo de estudio.

Los parámetros anteriormente nombrados sugieren que para los primeros meses del ensayo se necesitó un mayor volumen de agua de riego para que los árboles estuvieran dentro de condiciones ideales de agua para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Esto se refleja de mejor manera en la columna de agua necesaria (mm) del Cuadro 3.

Riego

En el Cuadro 3 se presentan las fechas de riego, con sus respectivos tiempos de aplicación, contrastados con el agua necesaria en ese momento por las plantas. Este valor representa el volumen de agua necesario para el tratamiento T100 durante el periodo de estudio.

Es necesario recordar que el déficit hídrico, producido durante el periodo, se debió principalmente a la falta de agua para riego con que contaban en el lugar del ensayo, lo que significó que los olivos no recibieran el volumen de agua adecuado a las exigencias climáticas, con esto los objetivos principales del estudio no se cumplieron de buena forma.

Cuadro 3. Régimen hídrico del campo durante el periodo de estudio. Tiempo de riego (TR).

Fecha	TR	Agua necesaria	Agua aplicada			
			T0	T1	T2	T3
	hr	mm			mm	
27-12-2012	4	11,38	5,33	4,00	2,67	1,33
04-01-2013	4	10,10	5,33	4,00	2,67	1,33
11-01-2013	4	10,32	5,33	4,00	2,67	1,33
18-01-2013	4	9,47	5,33	4,00	2,67	1,33
25-01-2013	4	7,97	5,33	4,00	2,67	1,33
04-02-2013	4	13,06	5,33	4,00	2,67	1,33
14-02-2013	5	14,29	6,67	5,00	3,33	1,67
18-02-2013	3	6,01	4,00	3,00	2,00	1,00
22-02-2013	3	5,78	4,00	3,00	2,00	1,00
01-03-2013	5	8,74	6,67	5,00	3,33	1,67
04-03-2013	3	4,18	4,00	3,00	2,00	1,00
08-03-2013	1	4,32	1,33	1,00	0,67	0,33
28-03-2013	5	20,52	6,67	5,00	3,33	1,67
16-04-2013	3	14,69	4,00	3,00	2,00	1,00
25-04-2013	3	6,21	4,00	3,00	2,00	1,00
10-05-2013	2	7,07	2,67	2,00	1,33	0,67

Contenido de Agua en el suelo

TDR

Al considerar la sumatoria del contenido volumétrico de agua de los tres sensores del TDR (agua de todo el perfil), T2 fue el tratamiento que obtuvo los mayores valores dentro del primer mes y medio del periodo de estudio, por otra parte, T0 y T1 mostraba menores valores de contenido de agua volumétrico comparado con los otros tratamientos en el mismo periodo. Pasada esta fecha T3 tuvo el mayor contenido hídrico hasta el final del periodo del ensayo (Figura 6). Las alzas que se muestran en la figura 6 corresponden a los riegos realizados, sin embargo como algunos riegos no fueron suficientes, no es posible apreciar de buena manera estas alzas.

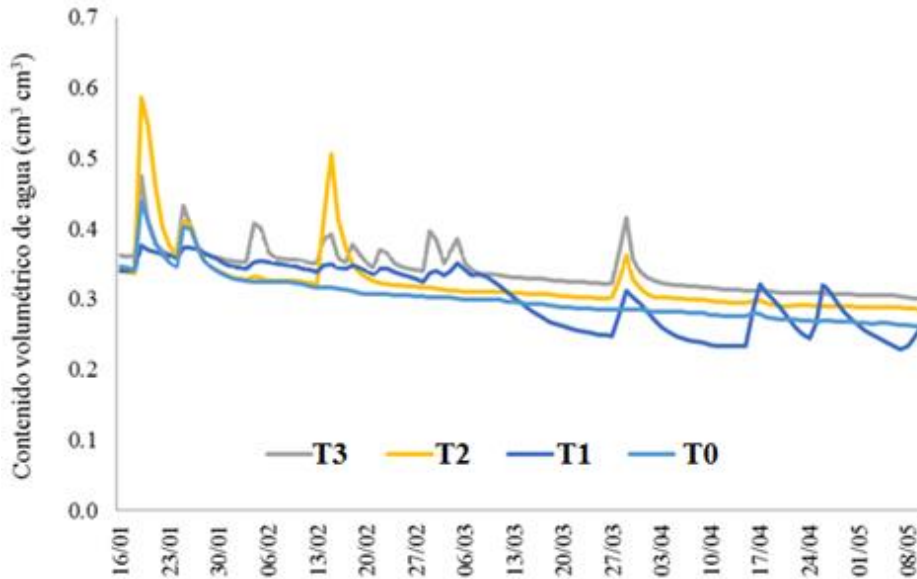


Figura 6. Sumatoria del contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013), hasta los 60 cm.

En tratamientos mejor regados, como T0, se esperaría que tuvieran un mayor contenido volumétrico de agua en el suelo, sin embargo en la figura anterior se aprecia que tanto T0 como T1 presentaron un menor contenido de agua que T2 y T3, por lo cual esta figura no representa de buena manera los riegos a los cuales estuvieron sometidos los árboles. Por lo anterior y para encontrar una buena imagen de lo que sucedía en el suelo, se generó un gráfico que solo muestra el contenido volumétrico de agua del suelo en los primeros 20 cm de este (Figura 7), en donde sí se encuentra una relación más esperable entre los distintos tratamientos, en donde T0 y T1 presentaron mayores volúmenes de agua en comparación con T2 y T3.

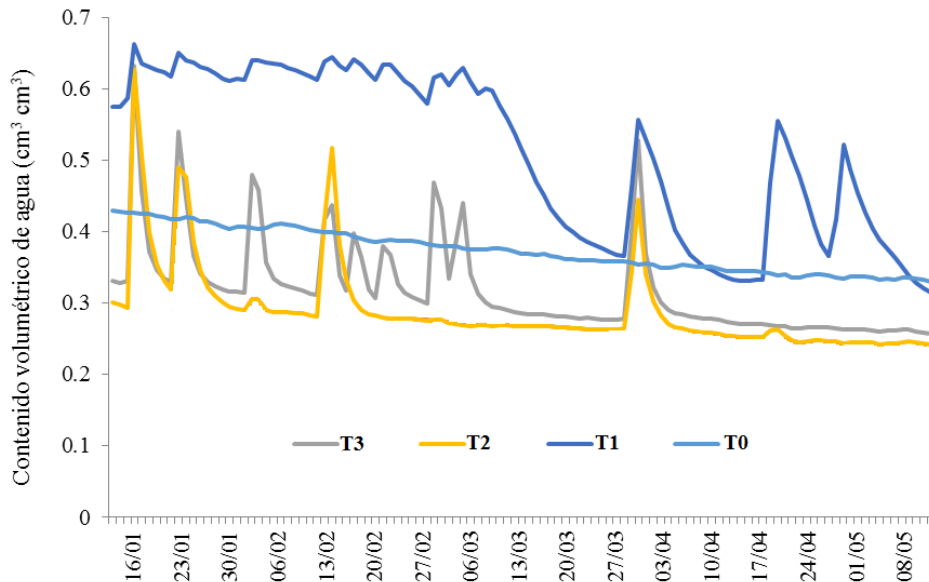


Figura 7. Contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo a los 20 centímetros de profundidad durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013).

Considerando los valores de retención de agua en el punto de marchitez permanente (-1500 Kpa), que corresponde a este suelo a un 22% aproximadamente, se aprecia que los valores volumétricos observados por el sensor TDR, nunca bajaron de este contenido (Figura 6 y Figura 7). Sin embargo, dado el déficit de agua que se realizó con el riego y el comportamiento de los olivos durante el periodo de estudio, no es posible que haya existido un contenido de agua tan elevado en el suelo y que este no haya podido ser ocupado por los árboles. Por lo cual se deja ver que exista algún posible problema de calibración de los sensores o algún otro.

Diviner

Como era de esperar T0 y T1 fueron los tratamientos con los mayores contenidos de agua durante todo el ensayo, mientras que T3 resultó ser el con un menor contenido de agua a lo largo del ensayo. Durante el primer mes T2 mostró valores menores a los de T3, sin embargo al irse prologando el ensayo, existió una disminución constante de T3, llegando a $0,1 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ al final del periodo, mientras que T2 se mantuvo constante con valores cercanos a $0,17 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ (Figura 8).

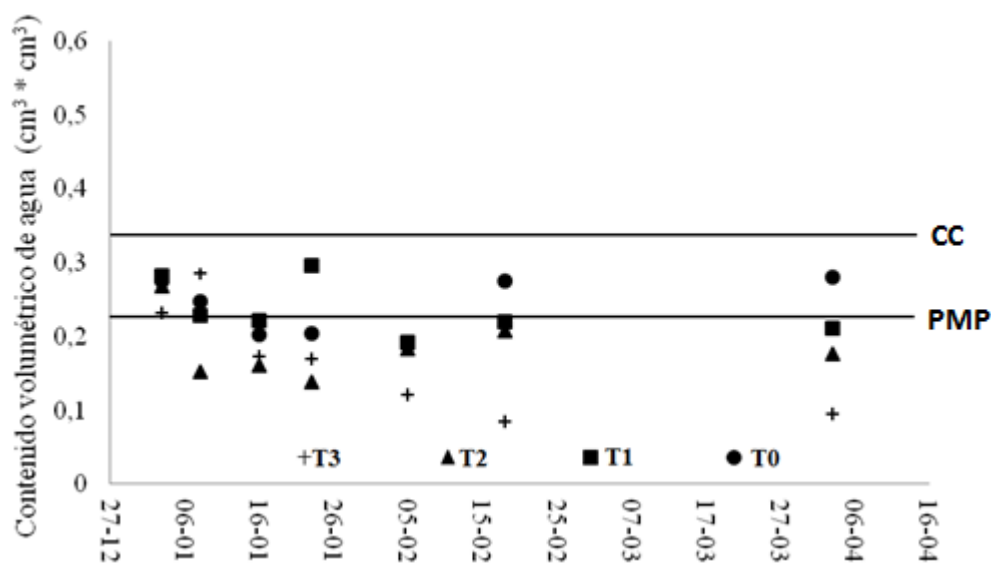


Figura 8. Contenido de agua en el suelo en los primeros 20 centímetros para cada tratamiento durante el periodo de estudio (diciembre 2012 a mayo 2013). Las líneas horizontales representan el contenido de agua a capacidad de campo (-33 kPa) y a punto de marchitez permanente (-1500 kPa).

Al comienzo del estudio, todos los tratamientos se encontraban en el rango de humedad aprovechable, sin embargo, considerando el déficit hídrico al cual fueron sometidos los árboles del ensayo por falta de agua para el riego, se puede observar que a partir de la tercera fecha de medición, los tratamientos se encontraron por debajo del punto de marchitez permanente. Desde el 18 de febrero hasta la cosecha, T0 fue el único tratamiento

que permaneció en un rango óptimo de agua (humedad aprovechable), mientras que T1 permaneció al límite de este rango con $0,22 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.

Gracias a las mediciones realizadas con el Diviner, se puede tener total certeza que las mediciones del TDR fueron erróneas, ya que estas muestran que el contenido volumétrico de agua del suelo de todos los tratamientos se mantenían sobre el punto de marchitez permanente en todo momento, incluso sobre capacidad de campo (Figura 6), pero la realidad mostrada en la Figura 8, es que solo T0 logro mantenerse sobre el punto de marchitez permanente, lo que hace que estos valores sean más reales dadas las condiciones de agua de riego que se tenían en el lugar del ensayo.

Para muchas especies el punto de marchitez permanente corresponde a un potencial hídrico de -1500 Kpa, sin embargo, para el olivo este valor fluctúa entre -2500 y -3500 Kpa, ya que está adaptado a climas áridos (Fernández, 2014), por lo cual aunque los árboles se encontraran bajo el punto de marchitez permanente mostrado, seguirían absorbiendo agua desde el suelo.

Interceptación

La variación de la radiación global que llegaba sobre el huerto durante toda la temporada de medición se muestra en la figura 9.

Se observa que hay mucha variación de radiación entre los días del ensayo, esto se debe a la nubosidad o neblina que presentaron algunos días como también al cambio de temperaturas y humedad propias de la zona. Los mayores valores se presentaron en el mes de enero de 2013, los cuales fueron disminuyendo paulatinamente hasta mayo de 2013.

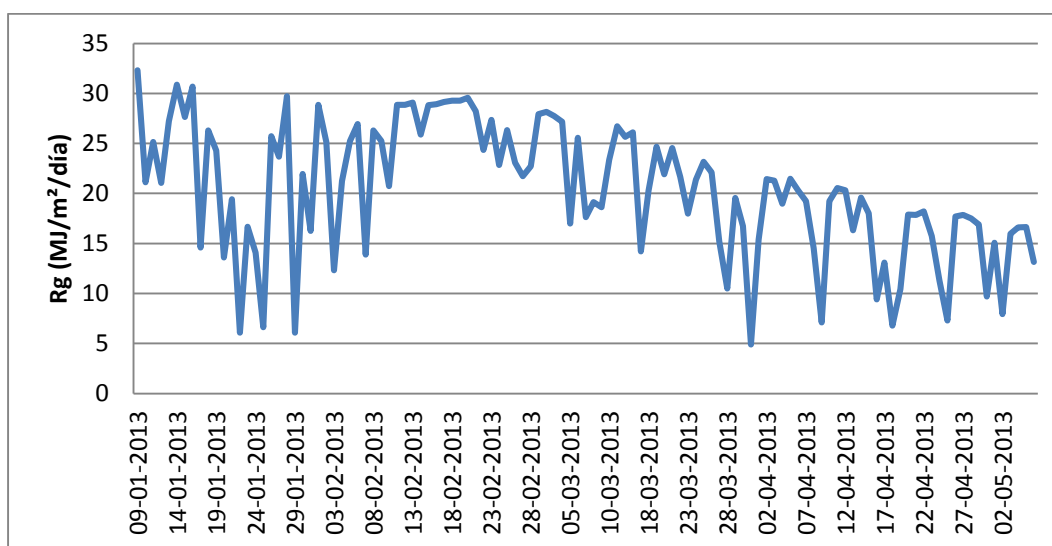
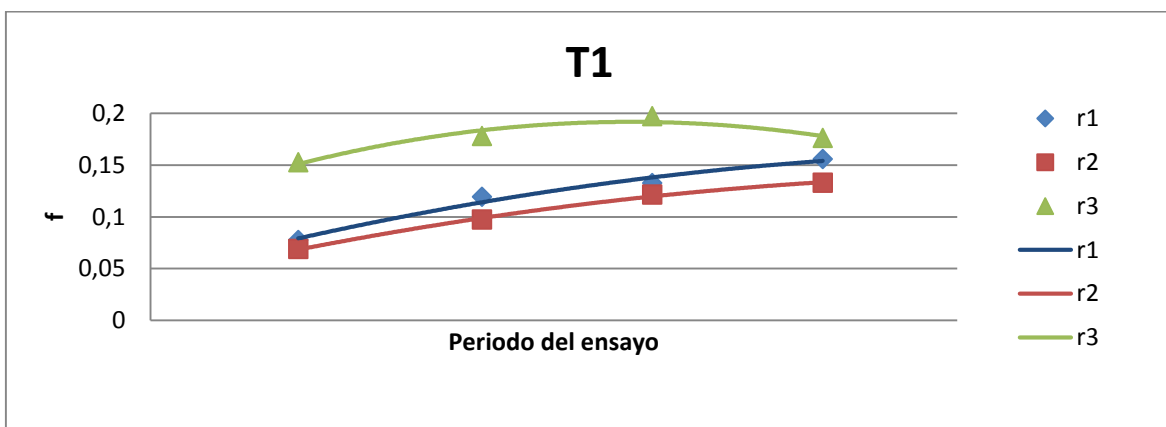
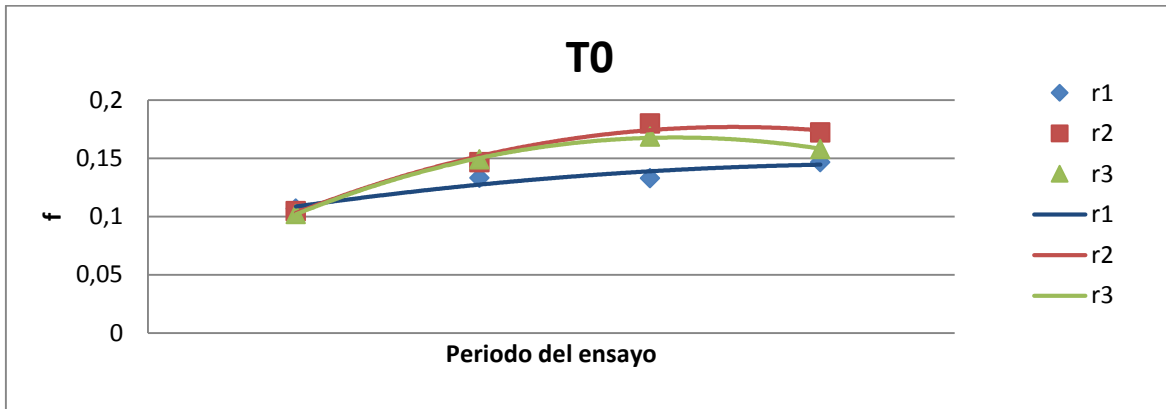


Figura 9. Variación de la radiación global que llega sobre el huerto desde el 09 de enero al 06 de mayo del 2013, expresada en $\text{MJ/m}^2/\text{día}$.

La radiación solar acumulada para el periodo del ensayo fue de 2348 MJ m^{-2} , este valor se obtuvo por la sumatoria de la radiación solar incidente en el huerto durante cada día desde que comenzaron las mediciones de interceptación de radiación de los árboles (09 de enero hasta el 06 de mayo del 2013)

Evolución en la fracción interceptada

Los valores de fracción interceptada (f), en la mayoría de los casos se presentó un comportamiento esperado de los datos, dado que los árboles comenzaron con una fracción interceptada menor para ir aumentando en el tiempo, sin embargo en la mayoría de los árboles esto sucedió hasta la penúltima medición (Figura 10). En la última medición, la fracción interceptada disminuyó en gran parte de los árboles, lo cual se podría atribuir a la disposición de las hojas en forma vertical y/o a la defoliación que provocó la falta de agua (Fernández *et al.*, 1997), disminuyendo estos valores.



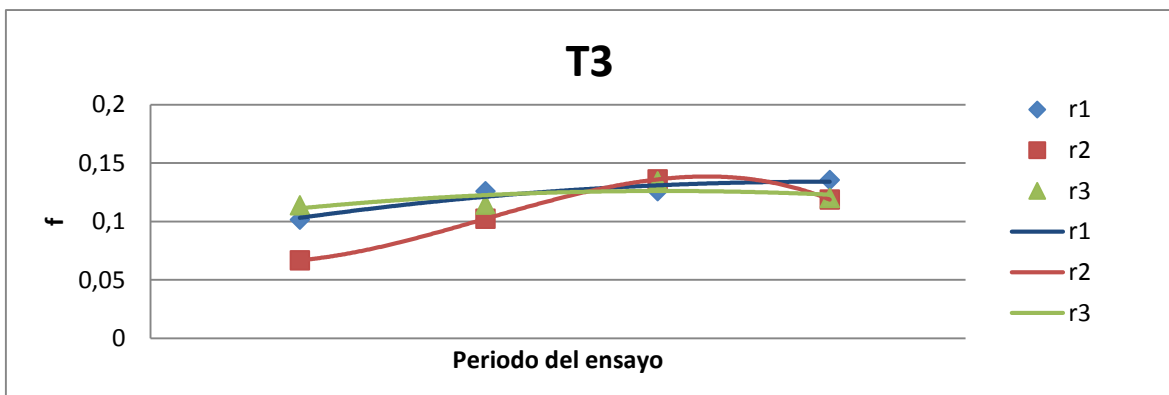
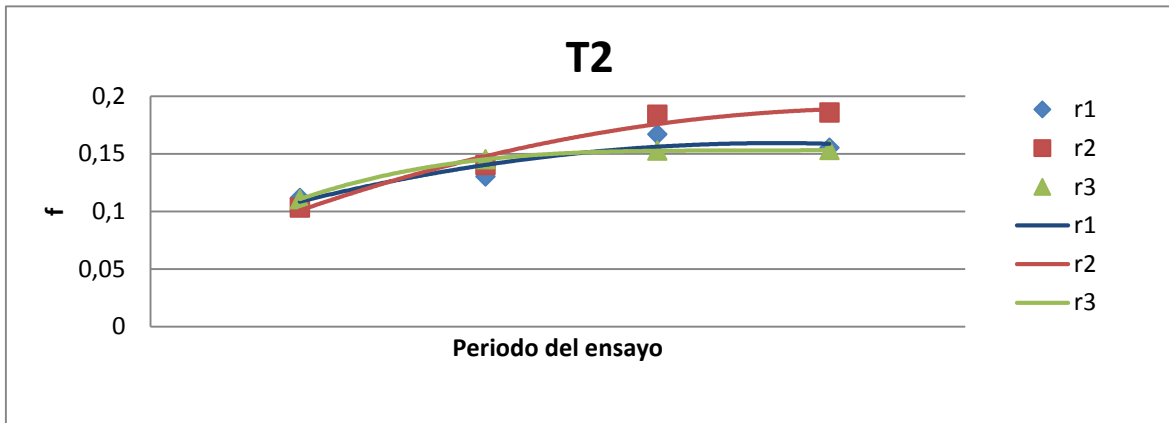


Figura 10. Evolución de la fracción interceptada por cada árbol de cada tratamiento durante el tiempo que duro el ensayo, 09 de enero hasta el 06 de mayo 2013. Colores muestran los diferentes árboles por tratamiento.

Los tratamientos T0, T1 y T2 mostraron crecimientos similares, aumentando aproximadamente entre un 5% a un 8% su fracción interceptada en la mayoría de sus repeticiones. Este valor se estimó por la diferencia entre el último valor medido de “f” con el primero.

Para el caso de T3, el aumento de fracción interceptada no fue importante en todas sus repeticiones, manteniéndose con un nivel más o menos constante. Esto puede ser explicado por el agua aplicada que recibieron, la cual solo la derivaban a sus frutos y no a otros órganos de la planta, como hojas o ramillas, que podrían generar un mayor crecimiento de su canopia (Fernandes-Silva *et al.*, 2009).

Tamaño árbol

Al relacionar las variables de ASTT (cm²) con la fracción de radiación interceptada durante la temporada por los olivos, se puede establecer que no existe una relación lineal entre estas variables, con un valor de $R^2 = 0,045$ como lo muestra la Figura 11. Lo anterior es poco común, dado que Reginato (2002) señala que el tamaño del árbol es reflejo de su área de

sección transversal del tronco, y que esta variable está relacionada linealmente con la canopia del árbol (área foliar); sin embargo esta relación es mucho más estrecha en árboles y huertos más jóvenes, cuando estos no han sido podados reiteradamente. Con respecto a lo anterior Autio et al. (1996), relacionó tamaño de árbol (ASTT, cm²) con el área de suelo ocupada por estos (m²), bajo condiciones de poda y no poda, llegando a la conclusión que los árboles no podados presentaron mejor relación que los podados; así árboles ya intervenidos con podas reflejarían un cambio en la relación entre el ASTT y el área de suelo ocupada por ellos.

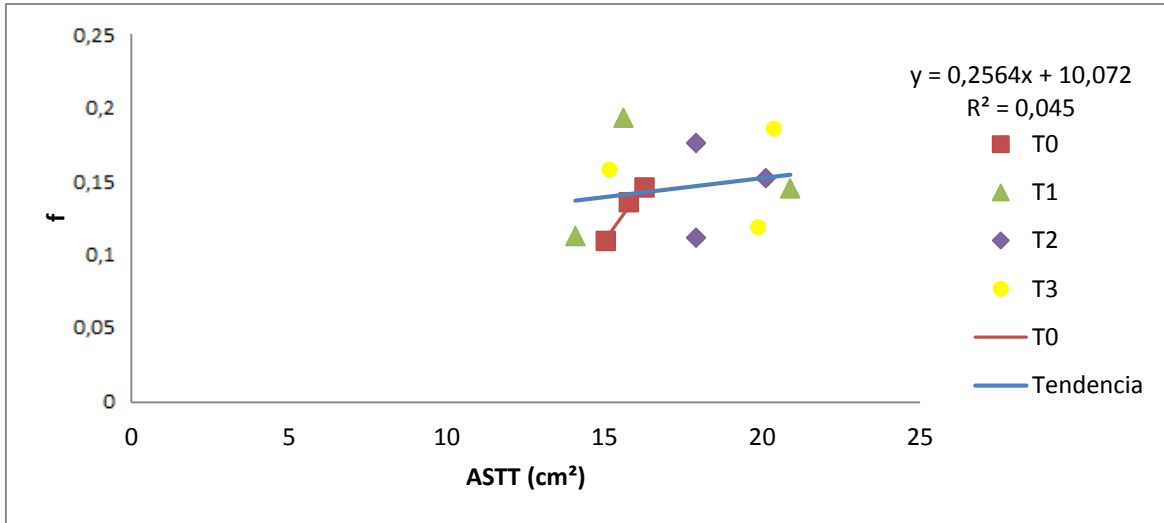


Figura 11. Relación entre dos expresiones de tamaño de árbol de olivos, expresados como ASTT (cm²) y fracción de radiación solar interceptada como valor de la última fecha.

Como se observa en la figura, T0 fue el único tratamiento que presentó una relación lineal con un $R^2 = 0,98$, esto podría ser atribuido a la mayor cantidad de agua que recibieron durante la temporada, lo que generaría un mayor aumento de follaje en comparación a los otros tratamientos, ya que el olivo como una forma de evitar en parte el estrés hídrico, dispone sus hojas en forma vertical disminuyendo así su interceptación de radiación, sobre todo en los árboles con un mayor nivel de estrés (Liakoura *et al.*, 1997).

Sin embargo, estas diferencias se podrían atribuir a otras variables como por ejemplo a los manejos de poda a los que han sido sometidos los árboles, que aunque siendo un huerto joven se han realizado reiteradamente para poder formarlos en eje. También otros factores que podrían estar influenciado esta relación podría ser a las diferentes formas de copa que tienen los árboles dado las diferencias naturales que poseen como a las que producen las fuertes corrientes de viento Oeste-Este sobre estos.

Eficiencia en el uso de la radiación

EUR de los frutos: Como se observa en la Figura 12, no hay una clara relación lineal del rendimiento con la PAR interceptada en la temporada, con un $R^2 = 0,2966$. La eficiencia en

el uso de la radiación de los frutos (EURf) es de $0,08 \text{ g (MJ PAR)}^{-1}$ como promedio de todos los árboles y de $0,1257 \text{ g (MJ PAR)}^{-1}$ para T1 que fue el tratamiento que obtuvo la mayor EUR y en donde se pudo observar una relación lineal de los datos.

Ambos valores son bajos comparados con otros estudios, por ejemplo Fernandes-Silva *et al.* (2009) midió por tres años la EUR de los frutos tanto en arboles bien regados como en árboles regados al 30% de la ET_c , dándole valores promedios de 0,358 y de 0,31 en g (MJ PAR)^{-1} respectivamente.

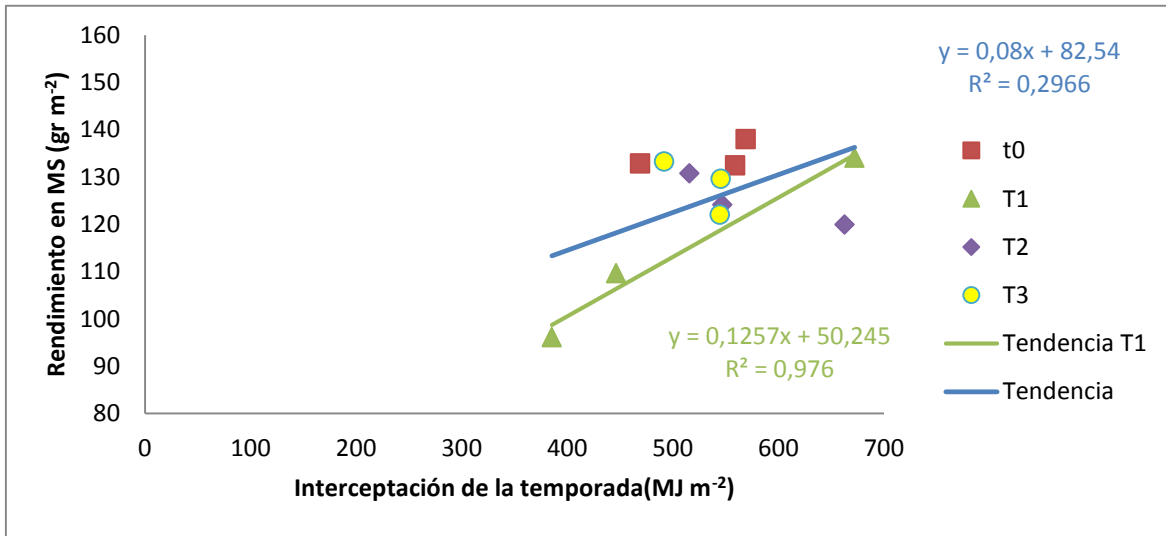


Figura 12. Rendimiento en (gr m^{-2}) versus la interceptación total de la temporada (MJ m^{-2}) de los olivos según tratamiento y relación de todos los árboles.

El valor de EURf del T1 fue el que más se acercó a la literatura, algo que es poco lógico teniendo en cuenta que fue regado a un 75% de T0, con lo cual debería haber tenido un menor rendimiento por cantidad de radiación interceptada y esto generar una menor EURf.

EUR del aceite: Como se muestra en la Figura 13, no hay una relación lineal entre el contenido de aceite con la interceptación de la temporada, con un $R^2 = 0,2286$. La eficiencia en el uso de la radiación del aceite (EURa) como promedio para todos los árboles fue de $0,0621 \text{ g (MJ PAR)}^{-1}$ y de $0,1053 \text{ g (MJ PAR)}^{-1}$ para T1 que fue el tratamiento que obtuvo la mayor EURa, y que igual al caso anterior se observa una relación lineal en este.

Estos valores son bajos según otros estudios, ya que Villalobos *et al.*, (2006) y Fernandes-Silva *et al.*, (2009) llegaron a valores cercanos a $0,14 \text{ gr (MJ PAR)}^{-1}$ de EURa en la variedad Arbequina, esto bajo condiciones sin limitaciones de agua y nutrientes. Sin embargo T1, al igual que para la EURf, obtuvo el mayor valor siendo el más cercano al valor obtenido por los autores.

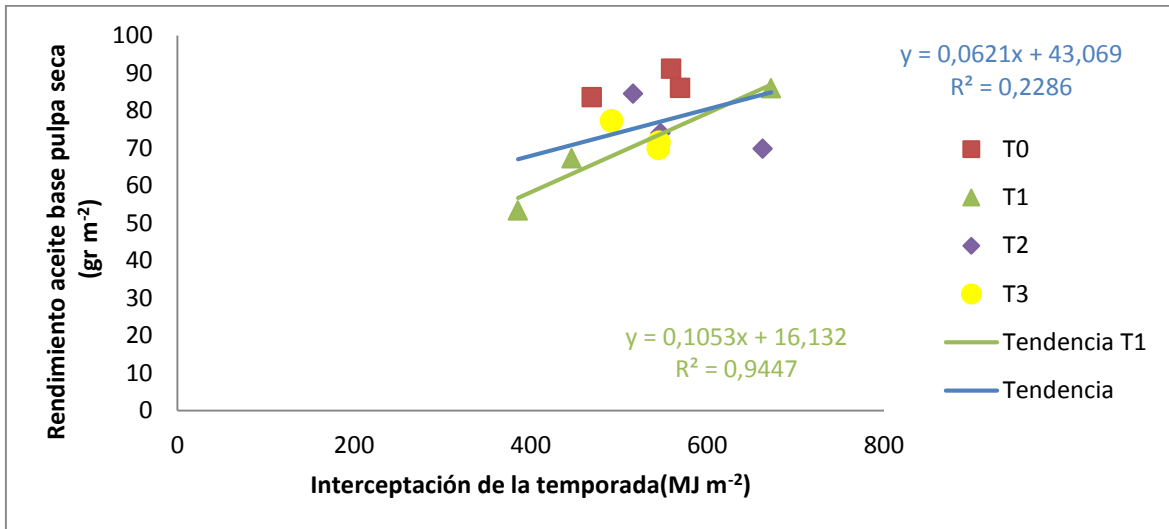


Figura 13. Rendimiento de aceite base pulpa seca (% aceite m⁻²) versus la interceptación total de la temporada (MJ m⁻²) de los olivos según tratamiento y relación de todos los árboles.

Los mayores valores de EURf y EURa que genero T1 con respecto a T0, podrían deberse a factores de los árboles en si, como por ejemplo que los árboles de T0 al final de la temporada eran de mayor tamaño, por cual obtuvieron una mayor interceptación de radiación en la temporada (en dos de tres árboles como muestra las figuras 12 y 13), pero las cargas frutales de ambos tratamientos fueron muy similares, incluso cabe mencionar que T1 obtuvo un 6% más de carga frutal en promedio que T0, lo cual generaría que T1 tuviera mayores valores de EUR, dado que estos árboles interceptaron una menor cantidad de radiación a lo largo de la temporada, y además generaron una mayor carga frutal que T0.

EUR de la humedad de los frutos: Como muestra la Figura 14, no existe una relación lineal marcada entre la humedad de los frutos con respecto a la interceptación de la temporada con un $R^2 = 0,1637$. La humedad de los frutos tiene que ver más con la cantidad de agua recibida por los árboles que con la interceptación de radiación que ellos tengan, esto queda claro al ver que el T0 aunque no intercepto más radiación que algunos árboles de T1 y T2, es el tratamiento que posee mayor humedad en sus frutos.

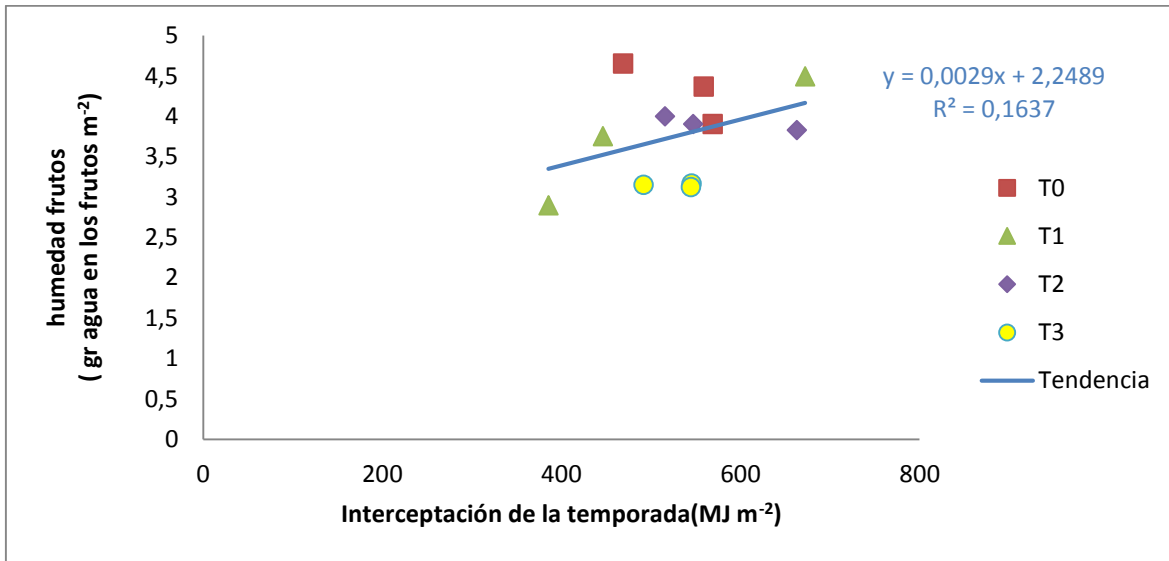


Figura 14. Humedad de los frutos (gr de agua en los frutos m⁻²) versus la interceptación total de la temporada (MJ m⁻²) de los olivos según tratamiento y relación de todos los árboles.

Para los tres casos, la EUR dependerá de varios factores, siendo el más determinante la máxima tasa fotosintética de las hojas (P_m), ya que a pequeñas variaciones de P_m se generaran grandes cambios en la EUR (Mariscal et al. 2000).

En el caso de este ensayo la baja EUR alcanzada se podría deber a la baja disponibilidad de agua con que contaban los árboles en cada riego y el alto déficit de presión de vapor (DVP) al cual estaban sometidos, lo cual generó un cierre estomático parcial y con esto una reducción de la fotosíntesis neta (p_m) (Soto 2014), afectando tanto al rendimiento de los árboles como a la concentración de aceite y humedad de los frutos.

Por ultimo cabe destacar que los árboles usados en este ensayo, son arboles comerciales, por lo cual se plantaron en un marco de plantación grande (3x6m) y estos mismos solo tenían 3-4 años, por lo cual no abarcaban gran parte de su espacio asignado (aproximadamente solo un 20%), por lo cual con las 3 variables que se calculó la EUR disminuían notablemente ya que tenían que ser expresadas con respecto a su marco de plantación; en cambio los ensayos mencionados anteriormente, los cuales se compararon con este ensayo, fueron diseñados para experimentar en ellos (huertos no comerciales) teniendo marcos de plantación acotados como por ejemplo (1x2m).

Balance de interceptación de radiación o crecimiento

En un comienzo del ensayo, todos los árboles por tratamiento tenían un porcentaje de interceptación similar, alrededor del 10% (Figura 15). A medida que fue avanzando la temporada y con ellos las mediciones de interceptación, se observó que no todos los tratamientos crecieron o produjeron la misma cantidad de canopia; sin embargo T0, T1 y T2 crecieron similarmente llegando aproximadamente a un promedio de 16% de

interceptación. Por otra parte T3 no lo hizo de la misma manera llegando alrededor de 13% de interceptación. Por lo cual con la cantidad de agua aplicada a T3 si hay una gran merma en el crecimiento del árbol.

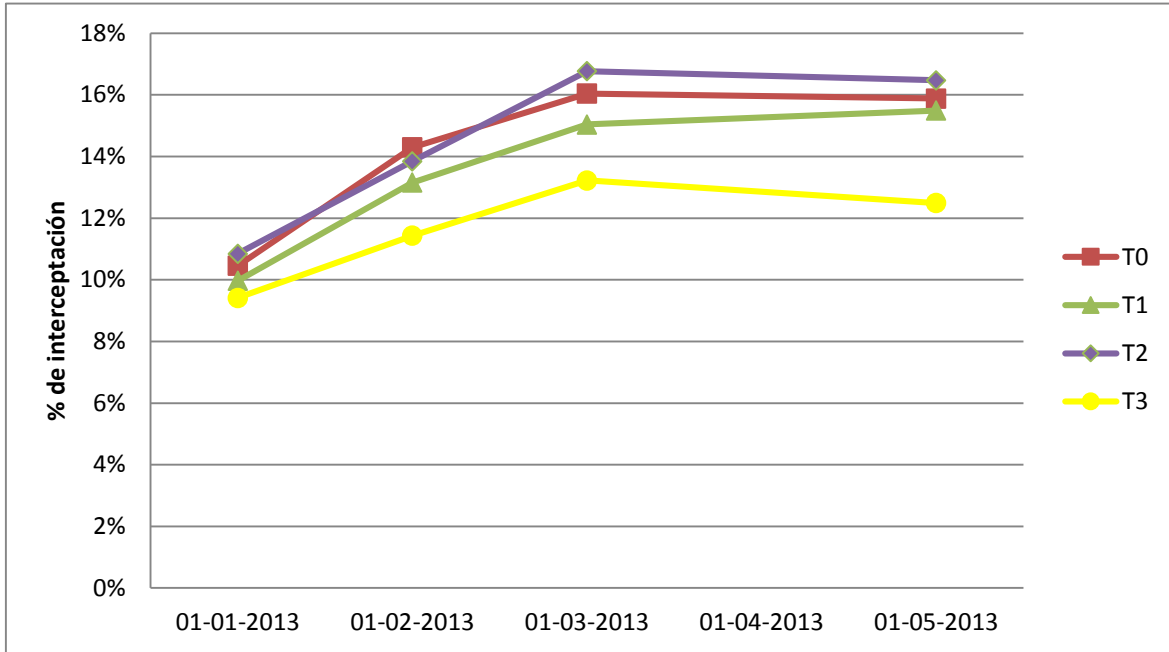


Figura 15. Variación del porcentaje de interceptación de los árboles según tratamiento, desde la primera medición (09 de enero) hasta cosecha (06 de mayo).

Con respecto a lo anteriormente mencionado y como se muestra en el cuadro 4, solo T3 obtuvo diferencias significativas con los otros tratamientos con respecto al aumento de la interceptación o crecimiento durante las fechas de medición, esto debido a la poca cantidad de agua que recibieron durante el periodo del ensayo estos árboles, la cual no les bastó para poder desarrollarse de buena forma.

Cuadro 4. Promedios de interceptación final de los árboles según tratamiento y sus diferencias significativas con prueba de Duncan al 5% de significancia. N° igual al número de repeticiones.

Tratamiento	Media	N°	Diferencias
T0	0,1588	3	A
T1	0,1549	3	A
T2	0,1647	3	A
T3	0,1248	3	B

El que no existan diferencias entre los otros tres tratamientos se puede deber a que las mediciones se comenzaron después del periodo de mayor crecimiento vegetativo de los árboles, por lo cual durante este tiempo los árboles concentraban la mayor cantidad de sus asimilados en hacer crecer y madurar la fruta.

Comparación de rendimiento entre los dos diseños empleados en este ensayo

Con respecto al rendimiento, hubo una diferencia considerable cuando se compararon ambos diseños, siendo los árboles del diseño en bloque los cuales presentaron un mayor rendimiento, diferencia que se ve más clara en T0, que obtuvo casi el doble de kg ha^{-1} que el diseño aleatorio (cuadro 5). Estas diferencias pueden deberse principalmente a la altura, formación e interceptación de los árboles, dado que los árboles del diseño en bloque, en general eran de mayor altura, con copias más frondosas, y que poseían aproximadamente un 20% de interceptación, a diferencias de los árboles del diseño aleatorio, los cuales eran de menor tamaño, con menor copa y poseían una interceptación promedio que varió de 10 a 16%. Los parámetros anteriormente mencionados generaron un mayor número de frutos por árbol.

Por otra parte, con respecto al porcentaje de aceite en base a materia seca, no se vieron grandes diferencias, dado que en teoría los árboles recibieron la misma cantidad de agua, y que estos a su vez son igual de eficientes en la producción de aceite.

Cuadro 5. Comparación de rendimientos (Rend) en Kg ha^{-1} y Kg árbol^{-1} , porcentaje de aceite en base a materia seca (b.m.s) y carga frutal (CF) (N° de frutos m^{-2}) entre los dos ensayos que contempla el estudio.

Tratamiento	Diseño Aleatorio				Diseño Bloque			
	Rend (kg ha^{-1})	Rend (kg árbol^{-1})	% Aceite b.m.s	CF	Rend (kg ha^{-1})	Rend (kg árbol^{-1})	% Aceite b.m.s	CF
T0	2124	3,82	41,04	131	4170	7,5	45,15	240
T1	1802	3,24	38	117	3202	5,76	36,04	211
T2	1957	3,52	38,93	139	2474	4,45	42,89	160
T3	1852	3,33	39,4	135	2386	4,29	45,07	173

Producción

Efecto de la carga frutal sobre la producción

Se observa que existe una relación lineal entre la carga frutal (n° frutos m^{-2}) y el rendimiento (gr m^{-2}) con un $R^2 = 0,869$, como se observa en la Figura 16. El R^2 podría indicar que es posible tener un efecto de los tratamientos sobre las plantas, dado que los mayores calibres se vieron en T0 (Figuras 17 y 18) que fue el tratamiento mejor regado, lo que haría que a igual número de frutos entre árboles hubiera mayor rendimiento (gr m^{-2}) en los árboles de T0.

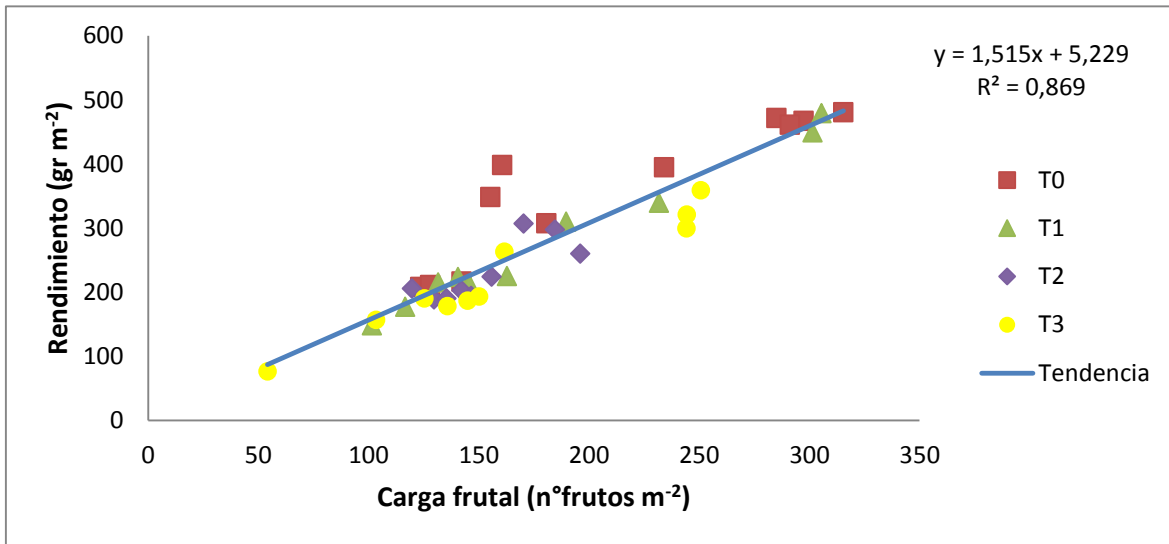


Figura 16. Rendimiento en (gr m^{-2}) versus carga frutal (n° frutos m^{-2}) de los olivos según tratamiento y de la relación con todos los árboles.

Reginato (2002), indica que existe una relación directamente proporcional entre la producción con la carga frutal, existiendo mayor productividad a mayor carga fruta, pero esta relación se da fuertemente cuando a los árboles están sujetos a los mismo manejos. Para las condiciones de este ensayo hubo manejos de riego diferentes en cada tratamiento, y sin embargo esta relación siguió siendo estrecha, por lo cual se observa que la disponibilidad de agua con la que cuentan los frutales no es un factor que hará variar esta relación.

Por otra parte Goldahmer (1999), concluyo que un déficit hídrico en las tres fases de crecimiento del fruto afectara directamente a la carga frutal, lo cual conllevara a que haya una perdida en el valor económico de la producción. Sin embargo déficits hídricos moderados durante las fases II y III del crecimiento del fruto no afectarían el número de frutos por árbol; y un estrés moderado de hasta un 40% de disminución de agua en solo la fase III del crecimiento del fruto, no afectaría el rendimiento en términos de peso y tamaño de los frutos.

Efecto de la carga frutal sobre el tamaño del fruto.

Al analizar la relación entre tamaño de fruto (cm), tanto del diámetro polar y ecuatorial, con la carga frutal mediante regresión, como se observa en las figuras 17 y 18, no es posible establecer una respuesta consistente del diámetro del fruto a la carga frutal. Sin embargo, se observa que a medida que aumenta la carga frutal, hay una disminución leve del diámetro polar (figura 17) y un mínimo aumento del diámetro ecuatorial (figura 16), lo cual rige un principio básico de la fruticultura, que a mayor carga frutal menor será el tamaño de los frutos.

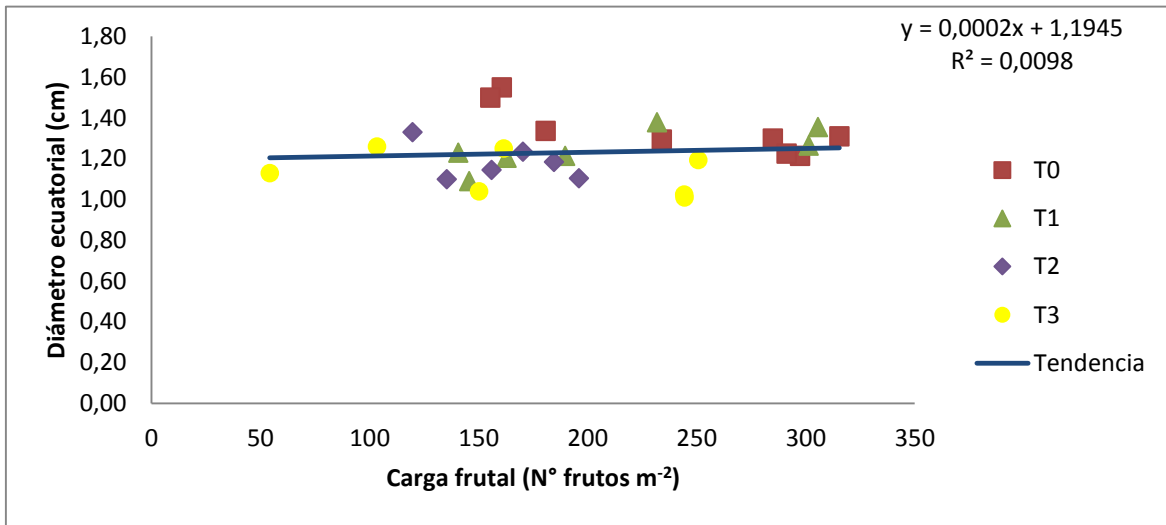


Figura 17. Diámetro ecuatorial de los frutos en función de la carga frutal, expresada como frutos/m² para todos los tratamientos de los árboles de olivos.

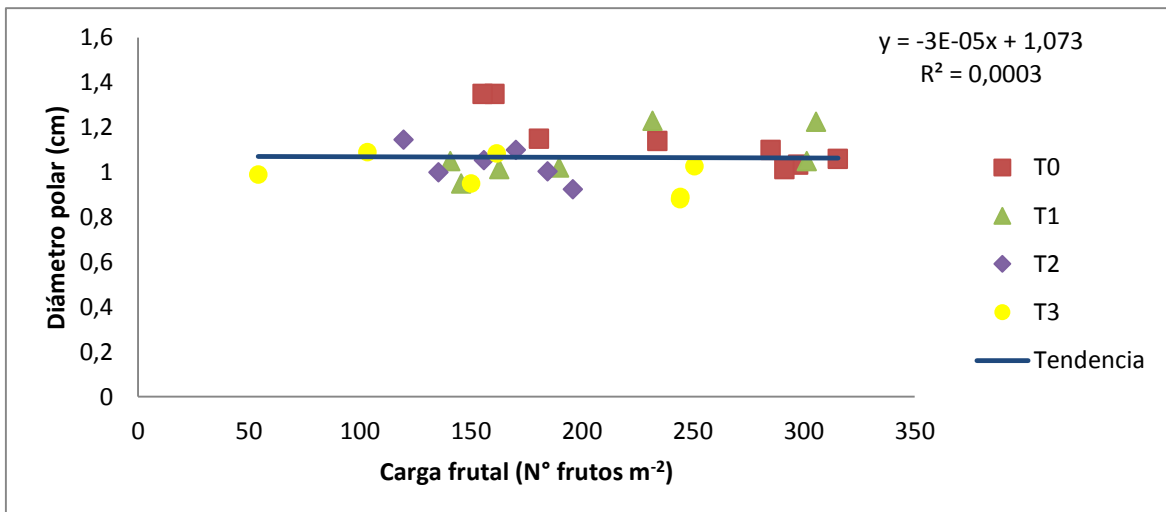


Figura 18. Diámetro polar de los frutos en función de la carga frutal, expresada como número frutos m⁻² para todos los tratamientos de los árboles de olivos.

Elfving y Schechter (1993) indican que la relación entre el tamaño de fruto y el número de frutos por árbol es variable, reflejando diferencias debidas al vigor del árbol y condiciones de crecimiento de éste, que en este caso sería la cantidad de agua que recibieron las plantas, lo cual limitaba el crecimiento de ellas.

Variables de producción

Los resultados de variables de producción a cosecha se presentan en los Cuadros 6, 7 y 8.

Con respecto al rendimiento, se encontraron diferencias significativas solo entre el tratamiento T0 con T2 y T3, por lo cual la cantidad de agua si influyó en el rendimiento final de los árboles. Además, se logra observa una tendencia, que a mayor cantidad de agua mejor rendimiento, como muestra T0 y T1, dado que poseen los mayores valores promedios.

En general son rendimientos bajos respecto a la literatura, dado que árboles de esta misma variedad deberían producir, como mínimo, al tercer año 14,4 kg árbol⁻¹ o 8000 kg ha⁻¹ bajo condiciones ideales de manejos (Tous *et al.*, 2007). T0 logró solo un 52% de lo que se podría esperar de rendimiento en plantas bajo buenas condiciones. Diversos factores afectaron negativamente a los árboles, como por ejemplo el déficit hídrico y el viento que produjo dobladuras de los árboles, haciéndolos generar menos canopia de lo normal, lo que pudo traer consecuencias en el rendimiento final de estos árboles

Para el caso de ASTT no se encontraron diferencias significativas, por lo cual diferencias encontradas entre los tratamientos con respecto a otros parámetros productivos no tendrían la influencia de este.

Con respecto a la eficiencia productiva si se encontraron diferencias significativas, siendo T0 el mejor tratamiento, lo que quiere decir que árboles con mayor cantidad de agua son más eficientes, ya que generaron mayor rendimiento con respecto a su ASTT. En este caso también se genera una tendencia, dado que T1 presenta valores mayores a los otros tratamientos.

Cuadro 6. Efecto del RDC sobre rendimiento, área sección transversal de tronco y eficiencia productiva. Se presentan valore promedios y las desviaciones estándar por tratamiento.

Tratamiento	Rendimiento			ASTT			Eficiencia Productiva		
	(kg árbol ⁻¹)			cm ²			g cm ⁻² de ASTT		
T0	7,5	±1,16	ab	29,2	±5,04	a	233,78	±91,72	a
T1	5,76	±1,98	bc	26,92	±3,66	a	165,91	±107,62	b
T2	4,45	±0,87	c	27,1	±7,27	a	125,27	±108,53	b
T3	4,29	±1,81	c	26,17	±7,34	a	129,91	±84,69	b
p-value	0,0013			N.S			0,056		

Para el caso de la carga frutal no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo se observa una tendencia a que árboles mejor regados tienen mayor carga frutal, la cual va disminuyendo a medida que se disminuye la cantidad de agua aplicadas a los árboles.

Por otra parte, tanto con el peso de los frutos como con el calibre ecuatorial de los mismos, el mejor tratamiento fue T0. Estas dos variables de producción están muy ligadas con lo cual era de esperarse que fueran de esta manera los resultados, dado que generalmente a mayor calibre de un fruto este pesara más con respecto a frutos más pequeños.

Para el caso del peso de un fruto, concuerda con estudios previos (Ramírez 2007), dado que obtuvo frutos que iban desde 1,5 gramos hasta los 2,5 gramos en la misma variedad, estando T0 dentro del rango de estos.

Cuadro 7. Efecto del RDC sobre carga frutal, peso fruto y calibre ecuatorial. Se presentan valores promedios y las desviaciones estándar por tratamiento.

Tratamiento	Carga Frutal			Peso fruto			Calibre ecuatorial		
	N° frutos m ⁻²			g			cm		
T0	232,82	66,17	a b	1,85	0,36	a	1,37	0,14	a
T1	218,96	70,17	a b c	1,51	0,08	b	1,24	0,09	b
T2	159,88	29,16	c	1,51	0,16	b	1,18	0,07	b c
T3	168,34	77,27	b c	1,39	0,14	b	1,13	0,1	c
p-value	0,0185			0,0001			0,002		

Para el contenido de agua de los frutos o humedad de estos, solo se observaron diferencias entre los tratamientos T0 y T1. Esto es algo no pensado, dado que los frutos de T1 deberían tener mayor cantidad de agua en los frutos que T2 y T3. Sin embargo se puede apreciar que la baja cantidad de agua que recibieron los árboles afecto este parámetro fuertemente, dado que frutos de la variedad arbequina deberían llegar a cosecha con alrededor de 60% de agua (Ramírez 2007)

Para el contenido de aceite en base a materia seca, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, con lo cual se podría concluir que los rangos de agua aplicada a todos los tratamientos no es un parámetro clave, de cierta manera para la producción de aceite. Sin embargo árboles bien regados deberían alcanzar entre 50-70% de aceite en base a materia seca y aproximadamente 20% en base a materia húmeda (Ramírez 2007), por lo cual el déficit hídrico si merma la cantidad de aceite que es producido por los frutos.

Para finalizar, T0 es el tratamiento que mejor rendimiento de aceite por árbol obtuvo, diferenciándose de los otros tratamientos. Esto se debe a que posee el mejor rendimiento de fruta por árbol y que estos frutos tienen el mayor porcentaje promedio de aceite.

Cuadro 8. Efecto del RDC sobre contenido de agua en los frutos, aceite en base a materia seca y rendimiento de aceite por árbol. Se presentan valores promedios y las desviaciones estándar por tratamiento.

Tratamiento	Contenido de agua en el fruto			Aceite (b.m.s)			Rendimiento de aceite		
	%			%			kg árbol ⁻¹		
T0	36,77	±2,81	a	45,15	±3,54	a	2,89	±0,39	a
T1	27,07	±2,81	b	36,04	±3,54	a	1,49	±0,39	b
T2	28,53	±2,81	a b	42,87	±3,54	a	1,24	±0,39	b
T3	32,75	±2,81	a b	45,07	±3,54	a	1,58	±0,39	b
p-value	0,0255			N.S			0,048		

CONCLUSIONES

Luego de evaluar diferentes niveles de restricción hídrica en olivos var. Arbequina, se puede concluir, aunque no de buena forma dado el problema hídrico que se presentó durante el periodo de estudio, que:

El crecimiento de la canopia de los árboles y la interceptación de luz de estos, está influenciada por la cantidad de agua de riego que se aplique a los árboles, aunque haya pasado el periodo de máximo crecimiento vegetativo de estos.

El grado de estrés hídrico aplicado no afecta la acumulación de aceite de los frutos, expresado como porcentaje de aceite en los frutos.

Regar los olivos con un 53,9% de agua con respecto a la ET_c real, como fue en el caso de T0, genera gran pérdida de rendimiento, de aproximadamente un 48% de fruta fresca lo cual se traduce en el mismo porcentaje de pérdida de aceite.

Tanto el peso como el calibre de los frutos, están directamente relacionados con el agua de riego que se le aplica a los árboles.

El ASTT no tendría una relación estrecha con la fracción interceptada de luz de los árboles cuando se generan problemas de estrés hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaíno, E., L. Martínez, L. Rojas, y P. Pereira. 2000. Estrategias del uso del agua de riego en comunidades agrícolas de la región de Coquimbo. Boletín INIA. 32p.

Allen, R., L. Pereira, D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Estudio de Riego y Drenaje N°56.

AOAC. 1998. Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 16th Edition. Washington D.C., USA. 1141p.

Autio, W. R., D. W. Greene and W. J. Lord. 1996. Performance of “McIntosh” apple trees on seven rootstocks and a comparison of methods of productivity assessment. HortScience 31 (7): 1160-1163.

Bouyoucos, G. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal 43: 434-438.

Connor, D.J. and E. Fereres. 2005. The physiology of adaptation and yield expression in olive. Horticultural Reviews 31: 155-252.

Dichio, B., C. Xiloyannis, A. Sofo, and G. Montanaro. 2005. Osmotic regulation in leaves and roots of olive trees during a water deficit and rewatering. Tree Physiology 26: 179-185.

Doorembos, J. y W. Pruitt. 1997. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y drenaje, 24.

Elfving, D. C. and I. Schechter. 1993. Fruit count, fruit weight, and yield relationships in ‘Delicious’ apple trees on nine rootstocks. HortScience 28(8): 793-795.

Fereres, E. and D.A. Goldhamer. 1990. Deciduous fruit and nut trees. American Society of Agronomy Monograph. n° 30: 987-1017.

Fernandes-Silva, A., T. Ferreira, C. Correa, A. Malheiro and F. Villalobos. 2009. Influence of different irrigation regimes on crop yield and water use efficiency of olive. Plant Soil (2010) 333:35-47.

Fernández, J. E., A. Díaz, J. M. Infante, P. Durán, M. J. Palomo, V. Chamorro, I. F. Girón, and L. Villagarcía. 2006. Water relations and gas exchange in olive trees under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. Plant and Soil 284: 273–291.

Fernández, J. E., F. Moreno, I. F. Girón, and O. M. Blázquez. 1997. Stomatal control of water use in olive tree leaves. Plant and soil 190: 179-192.

Ferreyra, R., G. Selles, e I. Selles. 2001. Riego deficitario controlado en olivos. Boletín INIA N°59.

Goldhamer D. 1999. Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Horticulturae* 474: 172-175.

Goldhamer D., J. Dunai, L. Ferguson, S. Lavee, and I. Klein. 1994. Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae* 356: 172-175.

Hochstrat, R., T. Wintgens, T. Melin, and P. Jeffrey. 2006. Assessing the European wastewater reclamation and reuse potential a scenario analysis. *Desalination* 188: 1–8.

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

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

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

Liakoura, V., M. Stefanou, C. Manetas, C. Chovelas and G. Karabourniotis. 1997. Trichome density and its UV-B protective potencial are affected by shading and left position on the canopy. *Enviromental and Experimental Botany* 38: 223-229.

Mariscal, M. J., F. Orgaz, and J. Villalobos. Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea*) orchard. *Tree Physiology* 2000 20: 65-72.

Mesa, K. 2007. Efecto de la interceptación de la radiación solar y carga frutal sobre la productividad y peso de fruto en manzanos var. Royal Gala. Memoria de Título Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago Chile. 32p.

Moriana, A., M. Pastor, and E. Fereres. 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128 (3): 425-431.

Moriana, A., F. J. Villalobos, and E. Fereres. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell and Environment* 25: 395-405.

ODEPA, 2014. Frutales: superficie y producción. Disponible en: <http://www.odepa.cl/frutales-superficie-y-produccion-2>. Citado el: 09 de abril de 2015

Osorio, A. 2006. Manejo del riego en olivos: La experiencia de Chile. III Jornadas de actualización en riego y fertirriego. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 11. 34p.

- Palese, A.M., V. Nuzzo, F. Favati, A. Pietrafesa, G. Celano, and C. Xiloyannis. 2010. Effects of water deficit on the vegetative response, yield and oil quality of olive trees (*Olea europaea* L., cv Coratina) grown under intensive cultivation. *Scientia Horticulturae* 125: 222–229.
- Patumi, M., R. Andria, G. Fontanazza, G. Morelli, P. Giorio, and G. Sorrentino. 1999. Yield and oil quality of intensively trained trees of three cultivars of olive (*Olea Europea* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74 (6): 729-737.
- Pritsa, T. and D. Voyiatzis. 2005. Correlation of ovary and leaf spermidine and spermine content with the alternate bearing habit of olive. *Journal of Plant Physiology* 162: 1284-1291.
- Quero, J. L., R. Villar, T. Marañón, and R. Zamora. 2006. Interactions of drought and shade effects on seedlings of four *Quercus* species: physiological and structural leaf responses. *New Phytologist* 170: 819-834.
- Raffo, M.D. y N. Iglesias. 2004. Efecto de la interceptación y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. Fuji, bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 33 (2): 29-42.
- Ramírez, K. 2007. Estudio exploratorio de la determinación de vigor en olivos de la variedad Arbequina y su influencia en las características de las aceitunas y del aceite. Memoria de Título Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago Chile. 41p.
- Razeto, B. 2006. Para entender la fruticultura. 4ta ed, Bruno Razeto, Edición y Comercialización de Libros. Santiago, Chile. 518p.
- Reginato, G. 2002. Aproximación teórica-cuantitativa a la densidad de plantación y a la evaluación del comportamiento de huerto de manzanos. *Revista Frutícola* 23(3):93-96.
- Rom, C. R. 1991. Light thresholds for apple tree canopy growth and development. *HortScience* 26(8):989–992.
- Selles, G., R. Ferreyra, I. Selles, y G. Lemus. 2006. Efecto de diferentes regímenes de riego sobre la carga frutal, tamaño de fruta y rendimiento del olivo cv. Sevillana. *Agric. Téc* .66: 48-56.
- Smith, M. and D. Kivumbi. 2002. Use of the Fao cropwat model in deficit irrigation studies. In: *Deficit irrigation practices*. Fao Water Reports 22. 15p.
- Soto, L. 2015. Efecto de distintos niveles de déficit hídrico en parámetros fisiológicos del olivo (*Olea Europea* L.) var. Arbequina en la región de Coquimbo. Memoria de Título Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago Chile. 36p.

Tous, J. A. Romero y J. Hermoso. 2007. Sistemas de producción del olivo en seto. Experiencias en Cataluña. Agricultura: Revista agropecuaria 896: 360-367.

Uribe, J.M., R. Cabrera, A. De la Fuente, y M. Paneque. 2012. Atlas Bioclimático de Chile. Agroenergía SA. Santiago. Chile. 224p.

Villalobos, F. J., L. Testi, J. Hidalgo, M. Pastor and F. Orgaz. 2006. Modelling potential growth and yield olive (*Olea europea* L.) canopies. European Journal of Agronomy 24: 296-303.

APÉNDICE I:

Cuadro 9: comparación entre el promedio de interceptación con una medición (MDS) y con tres mediciones a distintas horas del día.

09 de Enero

PROMEDIO DIARIO	MDS	DIFERENCIA
0,1068	0,0997	0,0071
0,1017	0,0967	0,0050
0,0776	0,0752	0,0024
0,1582	0,1620	-0,0039
0,0688	0,0696	-0,0008
0,1117	0,1089	0,0028
0,0750	0,0760	-0,0010
0,1047	0,0923	0,0124
0,1526	0,1521	0,0005
0,1032	0,1081	-0,0050
0,1022	0,0986	0,0036
0,0668	0,0648	0,0021
0,0949	0,0963	-0,0014
0,1038	0,0903	0,0135
0,1106	0,1082	0,0024

19 de Febrero

PROMEDIO DIARIO	MDS	DIFERENCIA
0,1332	0,1287	0,0044
0,1459	0,1429	0,0030
0,1192	0,1078	0,0114
0,1502	0,1527	-0,0025
0,0972	0,0937	0,0036
0,1301	0,1282	0,0019
0,1234	0,1217	0,0017
0,1466	0,1412	0,0054
0,1782	0,1694	0,0088
0,1801	0,1837	-0,0036
0,1492	0,1556	-0,0064
0,1024	0,0948	0,0075
0,1566	0,1440	0,0125
0,1346	0,1357	-0,0011
0,1452	0,1346	0,0106