



CONSEJO SUPERIOR  
DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

**MANEJO DEL RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVAR DE  
MESA BASADO EN MEDIDAS DE POTENCIAL HÍDRICO DURANTE LA  
FASE DE ENDURECIMIENTO DEL HUESO**



**ESPECIALIDAD EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS –  
HORTOFRUTICULTURA Y JARDINERÍA**

**Directores:**

- Alfonso Moriana Elvira
- María José Martín-Palomo García

**Alumno:**

**Javier Cambón Gandarias**

**Fecha: Enero de 2017**

**MANEJO DEL RIEGO  
DEFICITARIO CONTROLADO EN  
OLIVAR DE MESA BASADO EN  
MEDIDAS DE POTENCIAL  
HÍDRICO DURANTE LA FASE DE  
ENDURECIMIENTO DEL HUESO**

**ESPECIALIDAD EN EXPLOTACIONES  
AGROPECUARIAS – HORTOFRUTICULTURA Y  
JARDINERÍA**

**Directores:**

- Alfonso Moriana Elvira
- María José Martín-Palomo García

**Alumno:**

**Javier Cambón Gandarias**

**Fecha: Enero de 2017**

---

## **ÍNDICE GENERAL**

<b>1. RESUMEN</b> .....	4
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
2.1. Producción y superficie del cultivo del olivo.....	5
2.2. Resistencia de los olivos a la sequía .....	7
2.3. Efecto del estrés hídrico en el olivo .....	8
2.4. Riego deficitario.....	10
2.5. Programación del riego en el olivo empleando medidas de estrés hídrico ....	11
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	13
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	14
4.1. Descripción de la finca.....	14
4.1.1. Situación .....	14
4.1.2. Clima.....	14
4.1.3. Suelo .....	15
4.1.4. Medidas meteorológicas .....	15
4.1.5. Análisis climatológicos.....	15
4.2. Descripción de la parcela y diseño experimental.....	17
4.2.1. Descripción de la parcela.....	17
4.2.2. Tratamientos de riego .....	17
4.3. Medidas realizadas .....	19
4.3.1. Crecimiento de ramos, número de inflorescencias y números de frutos .....	19
4.3.2. Crecimiento del fruto .....	19
4.3.3. Potencial hídrico .....	20
4.3.4. Conductancia estomática .....	21
4.3.5. Cosecha .....	21
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	24
5.1. Relaciones hídricas.....	24
5.2. Crecimiento vegetativo y de frutos .....	29
5.3. Cantidad y calidad en la cosecha .....	33

---

<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	36
------------------------------	----

<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	37
------------------------------	----

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Producción mundial aceite de oliva .....	5
---	---

<b>Figura 2.</b> Producción mundial aceituna de mesa .....	6
--	---

<b>Figura 3.</b> Distribución de superficie de olivar de secano y regadío en España .....	7
---	---

<b>Figura 4.</b> Distribución de la superficie dedicada a la producción de aceitunas para aceite en España .....	7
--	---

<b>Figura 5.</b> . Evolución de la ETo ( $\text{mm día}^{-1}$ ) y de la precipitación (mm) durante el periodo experimental .....	16
--	----

<b>Figura 6.</b> Evolución del potencial hídrico a lo largo del experimento .....	25
---	----

<b>Figura 7.</b> Evolución del agua aplicada (mm) durante el ensayo.....	26
--	----

<b>Figura 8.</b> Integral de estrés en la fase de endurecimiento de hueso .....	27
---	----

<b>Figura 9.</b> Evolución de la conductancia foliar durante el ensayo.....	28
---	----

<b>Figura 10.</b> Evolución de la expansión del brote a lo largo del experimento .....	30
--	----

<b>Figura 11.</b> Evolución de número de inflorescencias de cada uno de los tratamientos ...	31
--	----

<b>Figura 12.</b> Evolución del número de frutos de cada uno de los tratamientos.....	32
---	----

<b>Figura 13.</b> Evolución volumen de fruto.....	33
---	----

### **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Efecto del déficit hídrico en los diferentes estados fenológicos.....	9
---	---

<b>Tabla 2.</b> Descripción de las clases de aceitunas en función de su estado de madurez ...	22
---	----

---

<b>Tabla 3.</b> Calidad y cantidad de cosecha durante el ensayo.....	34
--	----

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Foto 1.</b> Vista aerea de la finca de Doña Ana, señalizando la parcela experimental (rojo) .....	14
<b>Foto 2. Izquierda:</b> Ramos marcados en el árbol. <b>Derecha:</b> medida del crecimiento del ramo mediante el uso de una regla milimetrada.....	19
<b>Foto 3.</b> Medición tamaño de fruto mediante calibre digital.....	20
<b>Foto 4; Izquierda:</b> Hojas envueltas en papel de aluminio antes de la medición. <b>Derecha:</b> medida del potencial hídrico con la cámara de presión.....	20
<b>Foto 5; Izquierda:</b> Porómetro y útiles para mediar la conductancia estomática. <b>Derecha:</b> medida de la conductancia estomática mediante la pinza del porómetro.....	21
<b>Foto 6; Izquierda:</b> Recolección de las aceitunas por medio de los trabajadores. <b>Derecha:</b> deshuesado de las aceitunas.....	22
<b>Foto 7 ;</b> Las seis primeras fases del desarrollo del color de la piel de la aceituna (Índice de madurez).....	23

---

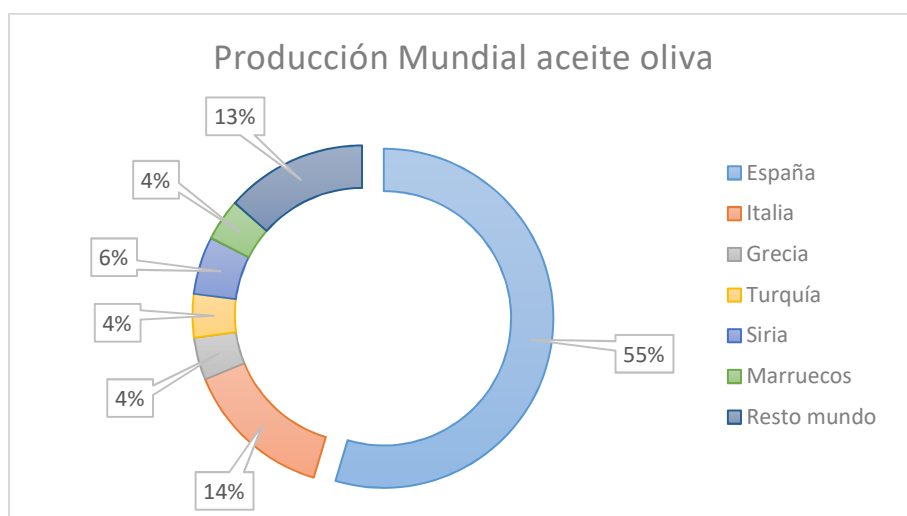
## 1. RESUMEN

El ensayo se realizó en la finca de Doña Ana situada en la localidad sevillana de Dos hermanas caracterizado por un clima mediterráneo con influencia continental, con precipitaciones variables, veranos secos y muy cálidos e inviernos suaves sin nevadas. El ensayo se realizó en una parcela de olivar (*Olea europaea* L cv Manzanillo) con una edad de 30 años y un marco de plantación de 7\*4m. El objetivo principal del proyecto es conocer la respuesta del olivar a diferentes niveles de estrés y ver como se ve afectada su producción y la calidad de su cosecha. Para ello se dividió la parcela en 4 bloques en los que se encuentran repartidos los cuatro tratamientos (dos árboles por tratamiento en cada bloque). Los tratamientos (Control, T2, T3 y T4) se realizaron con un riego diferencial durante la fase de endurecimiento masivo del hueso. La programación del riego en todos los casos se lleva acabo con medidas de potencial hídrico. Todos ellos comienzan con los mismos umbrales de potencial hídrico, -1.2MPa, hasta el día del año (DDA) 161 coincidiendo con el endurecimiento de hueso, donde el control pasaría a tener un umbral de -1.4MPa, el T.2 de -2MPa y un valor de -4MPa para el T.3 y T.4. La rehidratación de todos los tratamientos comenzarían el día 237, excepto el T.3 que se rehidrataría el día 209. La evaluación de los tratamientos se llevó a cabo con medidas de la fisiología de la planta y con evaluación de la cosecha y sus componentes. Se pudo apreciar una clara tendencia en el número de inflorescencias y numero de frutos, en el que T2 y T4 presentan valores mayores respecto al Control y T1 coincidiendo con que fueron los dos primeros citados los que más estrés sufrieron durante el ensayo lo que sugiere que no está relacionado con el riego. En los demás parámetros fisiológicos el T4 fue el que tuvo un menor volumen de fruto y una menor expansión de brote. Observando la tabla de cosecha volvemos a observar el patrón que puntualizamos antes, donde T2 y T4 presentan valores muy similares en IM y textura (1 y 4,5 respectivamente) mientras que el Control y T1 presentan valores algo diferentes pero similares entre ellos (1,2 y 4). El T4 fue el que menor agua recibió suponiendo un ahorro del 65% respecto al tratamiento Control y sin embargo triplicando su eficiencia de uso. Los resultados en cosecha no se pueden considerar definitivos ya que la influencia en cosecha es interanual por lo que es necesario seguir con el experimento durante varios años.

## 2. INTRODUCCIÓN

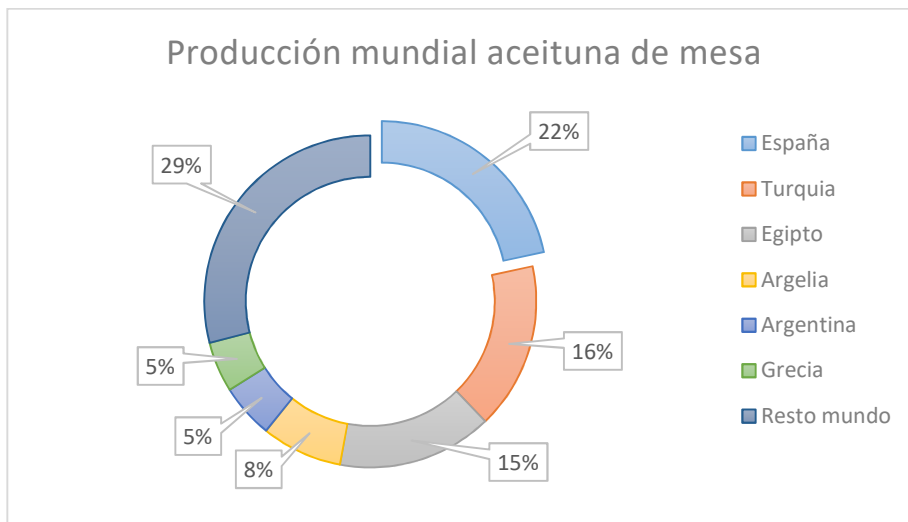
### 2.1. Producción y superficie del cultivo del olivo

El olivar es el cultivo frutal más cultivado del mundo, estando el 95% de su producción total repartida entre los diferentes países del mediterráneo. La superficie total mundial que se dedica al cultivo del olivo asciende hasta las 10.305.183 hectáreas (FAOSAT 2014), de las cuales 2.515.800 hectáreas se cultivan en España, lo que supone un 24,4 % del total de la superficie mundial destinada a este cultivo. En términos de producción tenemos que distinguir entre las aceitunas destinadas a la elaboración de aceite y las aceitunas de mesa. La producción mundial de aceite es de 3.262.000 toneladas (COI 2015) siendo 1.781.500 toneladas de esa cantidad producidas en España. Como se muestra en la Figura 1, España sería la primera potencia mundial en cuanto a producción de aceite se refiere, con un 55% de la producción total, seguida por Italia, Siria, Grecia, Marruecos y Grecia.



**Figura 1.** Producción mundial de aceite de oliva. Elaboración propia. Fuente: COI, 2015

La producción mundial de aceitunas de mesa es de 2.650.500 toneladas (COI 2015), siendo 572.200 toneladas las producidas en España. Según se observa en la Figura 2, España sería líder mundial con un 22% de la producción total, seguida de Turquía, Egipto, Argelia, Argentina y Grecia.

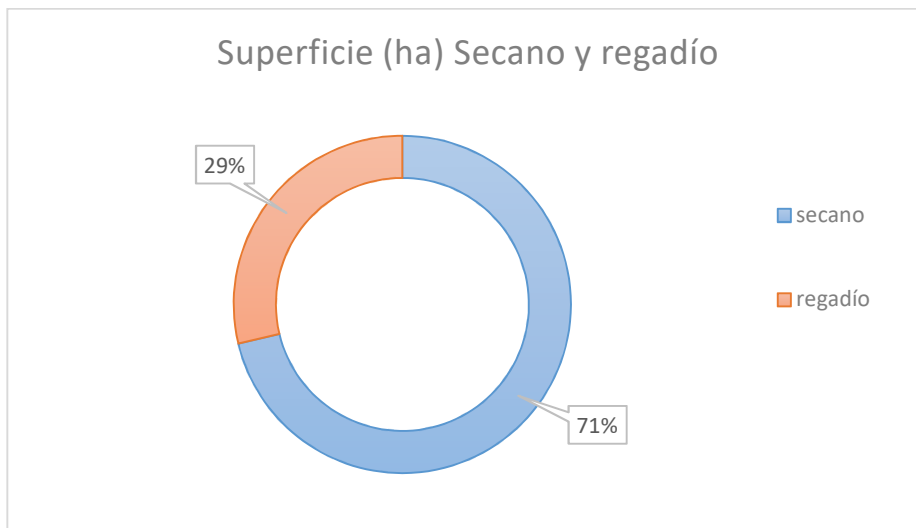


**Figura 2.** Producción mundial de aceituna de mesa. Elaboración propia. Fuente: COI, 2015

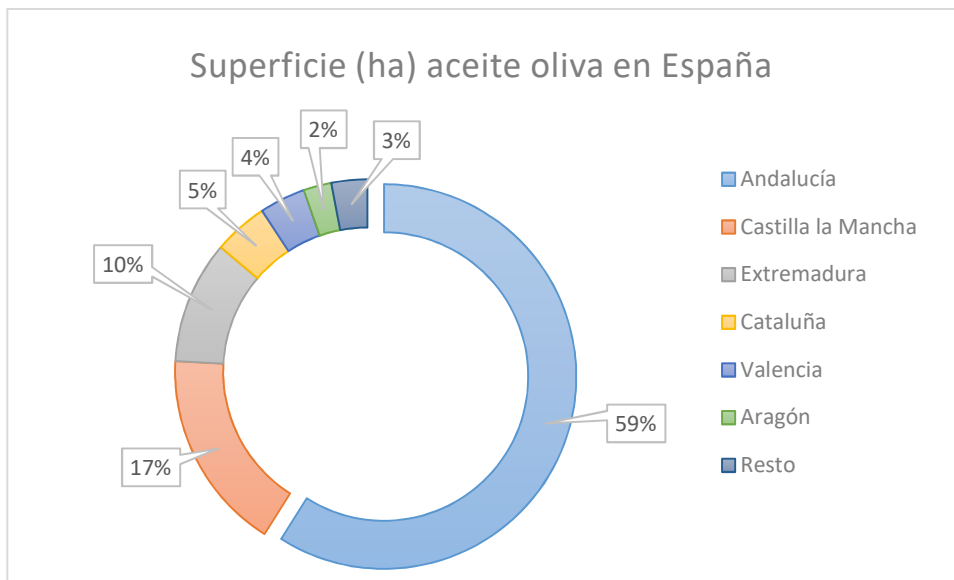
Por lo tanto España es líder mundial tanto en superficie como en producción, ya estén las aceitunas destinadas a la elaboración de aceite como a consumo de mesa. Aunque la mayoría de la superficie de olivar se cultiva en secano, la producción en regadío se ha ido incrementando paulatinamente desde hace dos décadas hasta ahora, llegando a representar aproximadamente un tercio del total de la superficie del olivar total de España, teniendo una extensión de 748.708 hectáreas de regadío frente a 1.856.544 hectáreas de secano (MAGRAMA 2015).

Respecto a la distribución dentro de las comunidades autónomas de España, la aceituna de mesa representa un 3% de la superficie de olivar y está muy concentrada geográficamente en las comunidades autónomas de Andalucía y Extremadura, siendo Sevilla, Córdoba, Málaga, Cáceres y Badajoz las ciudades con mayor producción. En cuanto a la superficie destinada a la producción de aceite supone un 97% del total y como puede observarse en la Figura 4, Andalucía es la comunidad con mayor superficie de cultivo seguida de Castilla la Mancha y Extremadura.





**Figura 3.** Distribución de superficie de olivar de secano y regadío en España. Elaboración propia. Fuente: MAGRAMA, 2015



**Figura 4.** Distribución de la superficie dedicada a la producción de aceitunas para aceite en España. Elaboración propia. Fuente: MAGRAMA, 2015

## **2.2. Resistencia del olivo a condiciones de sequía**

El olivar se ha cultivado tradicionalmente en condiciones de secano, por ser un cultivo muy bien adaptado al clima Mediterráneo. Es capaz de sobrevivir a periodos de sequía intensa gracias a su morfología y fisiología (Orgaz y Fereres, 2008). Los aspectos fisiológicos que hacen del olivar un cultivo tan bien adaptado a la sequía son:

- Posee un sistema radicular extenso, de longitud variable dependiendo del tipo de terreno en el que se encuentre (llegando a superar los 10 metros en suelos arenosos) y un

---

desarrollo horizontal de 2 o 3 veces el radio de la copa. En árboles jóvenes las raíces presentan un color blanquecino que torna a marrón a medida que va envejeciendo.

- Las hojas del olivo son persistentes, con una longitud de limbo comprendida entre 3 y 9 cm y un nervio central muy marcado. Son de tipo coriáceo, ya que presentan un limbo duro y espeso y su estructura anatómica le permite adaptarse a ambientes de alta transpiración. Los estomas se sitúan en ligeras depresiones del envés de la hoja, donde se crea un microclima húmedo, provocando una disminución de la transpiración.

- Una de las principales características que hacen del olivar un cultivo bastante resistente a la sequía es su capacidad de regulación estomática, siendo la conductancia estomática máxima en las primeras horas de la mañana y reduciéndose en las horas centrales del día.

### **2.3. Respuesta del olivo al estrés hídrico**

Se entiende por estrés hídrico de una planta al hecho de que la demanda de agua sea mayor que la cantidad de agua disponible en el suelo. Esa demanda viene determinada por la transpiración, la humedad relativa y la temperatura, por lo tanto, el estado de estrés hídrico puede deberse a dos razones:

- Que no exista disponibilidad suficiente de agua en el suelo.

- Que exista una alta demanda evaporativa, debido a altas temperaturas y una baja humedad relativa.

Todos los cultivos se ven afectados por la falta de agua, pero el olivar es capaz de soportar unos niveles de déficit hídricos bastante altos, por lo que se adapta a condiciones de sequía bastante severas. El efecto del estrés hídrico sobre las plantas no solo depende del tiempo que esté sometido el cultivo a ese estrés, sino también a su estado fenológico, como se detalla en la Tabla 1 (Orgaz y Fereres, 1999):

**Tabla 1.** Efecto del déficit hídrico en los diferentes estados fenológicos. Elaboración propia. Fuente: Orgaz y Fereres, 1999.

Proceso	Periodo	Efecto del Déficit Hídrico	Sensibilidad al Déficit Hídrico
Crecimiento vegetativo	Todo el año	Reducción del crecimiento. Reducción del número de flores al año siguiente. Efecto sobre la cosecha del año siguiente	Muy alta
Desarrollo de yemas florales	Febrero - Abril	Reducción del número de flores. Aborto ovárico. Efecto sobre la cosecha del año	Muy alta
Floración	Mayo	Reduce la fecundación. Efecto sobre la cosecha del año	Muy alta
Cuajado de frutos	Mayo - Junio	Aumenta la alternancia. Disminuye la cosecha actual	Muy alta
Crecimiento inicial del fruto	Junio - Julio	Disminuye el tamaño del fruto (menor número de células por fruto). Efecto sobre la cosecha del año	Moderada
Crecimiento posterior del fruto	Agosto - Cosecha	Disminuye el tamaño del fruto (menor tamaño de las células del fruto). Efecto sobre la cosecha del año	Moderada
Acumulación de aceite	Julio - Noviembre	Disminuye el contenido de aceite por fruto	Moderada

Los periodos que presentan mayor sensibilidad al estrés son: crecimiento vegetativo, desarrollo de yemas florales y floración. Estos dos últimos tienen un efecto directo sobre la cosecha de ese mismo año (aunque suele ser complicado que aparezcan mermas por déficit ya que en el clima mediterráneo las lluvias de otoño-primavera suelen cubrir las necesidades hídricas), pero las consecuencias en el crecimiento vegetativo se verán reflejadas en la cosecha del año siguiente. Esto se debe a que el árbol tendrá un menor tamaño al haberse reducido su crecimiento y por tanto su índice de carga será menor. Sin embargo el desarrollo del fruto es un proceso más resistente que el crecimiento vegetativo (Dell'Amico et al, 2012; Girón et al., 2015), lo que permitiría estrategias de riego en las que el consumo pueda verse reducido sin afectar a la cosecha. En la fase de acumulación de aceite algunos autores sugieren que un nivel de estrés moderado permite un incremento en la acumulación (Moriana et al, 2003; Lavee et al., 2007). En el caso de la aceituna de

---

mesa y concretamente la destinada a verdeo este proceso no tiene lugar ya que la cosecha es muy temprana, al inicio de este proceso de acumulación.

#### **2.4. Riego deficitario**

En muchas ocasiones el agua de riego disponible no es suficiente para cubrir las necesidades de las plantas, debido generalmente a la ausencia de precipitaciones y a los años secos que se suelen dar en las regiones de Andalucía. Por lo tanto es necesario evaluar las estrategias de riego deficitario controlado (RDC) que pueden permitir la reducción apreciable de las cantidades de riego afectando muy poco al rendimiento del cultivo (Chalmers et al., 1981). Estas técnicas o estrategias se basan en concentrar el déficit de riego en periodos en los que la sensibilidad del árbol al déficit hídrico es reducida.

Los autores de diferentes trabajos en RDC en olivar en distintos lugares del mundo sugieren (Goldhamer, 1999; Moriana et al 2003; Iniesta et al., 2009):

- Debe asegurarse el riego en inviernos secos y suelos con poca capacidad de retención de agua
- Las fases en las que el cultivo es más sensible al déficit hídrico son: desarrollo de las yemas de flor y la floración
- Es preferible restringir el riego en los meses de verano a una pequeña fracción de la ETC y repartir el agua de riego en una mayor superficie
- No realizar un recorte total del riego en verano, ya que los daños pueden ser demasiado severos
- Cualquier estrategia de riego deficitario en olivares jóvenes provoca una reducción del crecimiento y por tanto una menor capacidad productiva

Aunque se han realizado diferentes proyectos para profundizar más en este tema, siguen existiendo un alto desconocimiento en cuanto al riego del olivar se refiere. Este ensayo está destinado a completar en la medida de lo posible las lagunas de información que existen para este cultivo, en cuanto a riego deficitario se refiere.

---

## **2.5. Programación del riego en olivo**

Aunque el olivo se ha cultivado tradicionalmente en secano en la mayoría de las regiones de la cuenca mediterránea, obteniéndose en estas condiciones producciones aceptables, responde muy favorablemente a las aportaciones de agua de riego, en especial cuando estas se hacen en momentos críticos o en años de muy baja pluviometría. Por lo tanto sería importante crear un programa de riego (proceso que utiliza un conjunto de técnicas para predecir la fecha y la aplicación del riego) para evitar que el cultivo supere el umbral hídrico estipulado.

La programación del riego en olivo se suele realizar mediante el modelo de Orgaz et al (2006) que mejora considerablemente las estimaciones de las necesidades de agua. Este modelo se ajusta a condiciones donde no tenemos estrés hídrico. El problema radica en que cada vez son más frecuentes las restricciones de agua para el riego, especialmente para cultivos como el olivar, que debido a su capacidad de resistencia suele tener las menores dotaciones disponibles. Esto ha supuesto que Los agricultores y técnicos que tienen que realizar la programación del riego en condiciones muy limitantes no empleen este modelo ya que habitualmente las necesidades de agua son muy superiores a la cantidad de la que disponen.

La técnica de riego propuesta en este ensayo se basa en la programación del riego basado en indicadores de estrés hídrico. La idea parte de conocer los estados fenológicos del cultivo y cuáles de ellos son más sensibles o más resistentes al estrés, establecer unos umbrales de estrés e ir controlando el estado de las plantas para no sobrepasar el umbral. El método más común para comprobar el estado hídrico del árbol ha sido el potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ) (Hsiao, 1990; Améglio et al., 1999) pero tiene el inconveniente de estar muy influenciado por las condiciones climáticas. La técnica utilizada en este ensayo es la medida del potencial hídrico en hoja cubierta (potencial hídrico del xilema o tallo,  $\Psi_{\text{tallo}}$ ), que proporciona una medida más precisa y estable al estar menos influenciada por las condiciones climáticas.

En estudios recientes llevados a cabo sobre el cultivar Manzanilla de Sevilla se han propuesto umbrales de potencial hídrico del tallo al medio día de -1,2 MPa para la fase de floración-cuajado y de -1,4 MPa para la fase de endurecimiento masivo del hueso en ausencia de estrés hídrico (Moriana et al., 2012). Sin embargo los niveles de estrés hídrico en esta fase pueden ser mucho mayores, llegando a valores de -2MPa sin afectar al desarrollo del fruto (Dell'Amico et al., 2012; Girón et al. 2015), siempre y cuando el

---

periodo de estrés no se alargue en exceso. Los valores en la fase de floración-cuajado son mayores ya que como dijimos anteriormente es en esta fase es cuando el cultivo es más sensible al estrés y existen más probabilidades que la producción se vea afectada.

---

### 3. **OBJETIVOS**

El objetivo de este trabajo es realizar un programa de riego deficitario utilizando como único indicador del nivel hídrico de la plantación el potencial hídrico al mediodía en hoja cubierta. Para abordar este objetivo nos planteamos varios objetivos parciales:

- Descripción de la respuesta fisiológica de la planta a diferentes umbrales de estrés hídrico
- Comparación del crecimiento vegetativo y de fruto a distintos niveles de estrés hídrico durante la fase de endurecimiento de hueso.
- Evaluación de parámetros de calidad y cantidad de cosecha que sirva de inicio a un análisis a más largo plazo que permita predecir el efecto de esta programación en el comportamiento productivo de los árboles

---

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Descripción de la finca

#### 4.1.1. Situación

El experimento se realizó en la finca de Doña Ana, en la localidad de Dos Hermanas perteneciente a la provincia de Sevilla (España), cuyas coordenadas geográficas son 37° 15' 00'' N, 5° 56' 54'' O con una altitud de 42 metros respecto al nivel del mar.



**Foto 1;** Vista aérea de la finca de Doña Ana, señalizando la parcela experimental (rojo)

#### 4.1.2. Clima

Según la clasificación climática de Köppen, corresponde a un clima Csa (Mediterráneo verano cálido). Los datos climáticos se han recogido de la estación meteorológica de la Puebla del Río. Lo que mostramos a continuación es la media de datos de los últimos 10 años:

– Temperatura media	17,5 °C
– Temperatura máxima media	24,5 °C
– Temperatura mínima media	11,5 °C
– Humedad relativa media	72,6 %
– Precipitación media	1,4 mm
– Velocidad del viento media	1,7 m/s
– ETo media	3.6 mm/día



---

Las lluvias se concentran de Octubre a Abril siendo Diciembre el mes más lluvioso y Junio, Julio y Agosto donde se registran los valores más bajos en las precipitaciones.

#### **4.1.3. Suelo**

El suelo de la finca presenta una textura franco- arcillosa, poco salino y muy calizo. Con un pH alcalino y con valores medios de M.O cercanos al 1.94% en los primeros 30 cm y valores de 0.85% desde los 30 hasta los 90 cm. El fósforo y potasio presentan valores altos en los primeros 30 cm de suelo, van disminuyendo a medida que se incrementa la profundidad, teniendo en los últimos 90 cm de suelo valores bajos, cercanos a 2.2 y 52 ppm (fósforo y potasio respectivamente). Los valores de Magnesio disponible se mantienen altos (en torno a 120 ppm) en los diferentes estratos. Los valores de contenido volumétrico de agua en suelo ( $\theta$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) son de  $0.31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  a capacidad de campo (CC) y de  $0.14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para el punto de marchitamiento permanente (PMP). La densidad aparente en los primeros 30 cm de suelo es de  $1.4 \text{ g cm}^{-3}$  y de 1.35 entre los 30 y 90 cm.

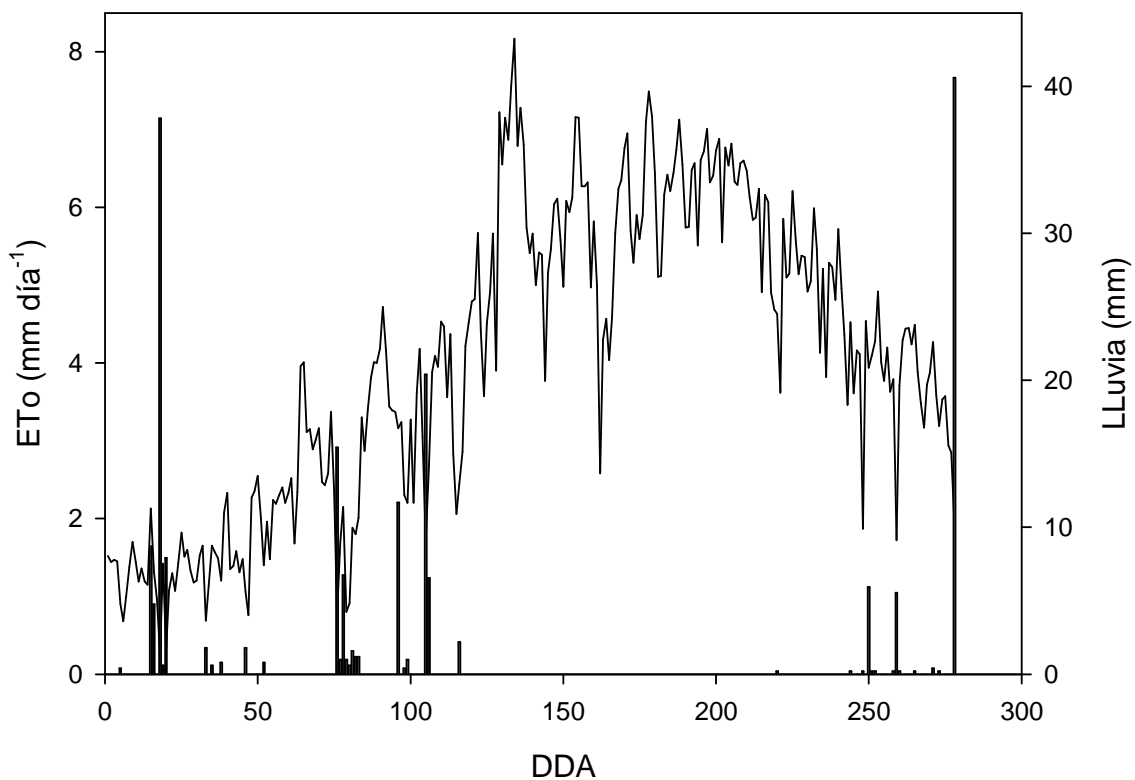
#### **4.1.4. Mediadas meteorológicas**

Los registros de los parámetros los recoge una estación meteorológica situada a 10 km de la finca en la que se realiza el experimento. Estos datos son tomados cada 30 minutos a una altura de 2 metros de la superficie del suelo, y son los siguientes: temperatura ( $T$ , °C), radiación solar global ( $R_{sg}$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ), humedad relativa del aire ( $HR$ , %) y velocidad del viento ( $u$ ,  $\text{m s}^{-1}$ ).

La evapotranspiración de referencia se ha calculado utilizando la ecuación de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). EL déficit de presión de vapor (VPD) se ha calculado a partir del de la presión de vapor media diaria y la humedad relativa

#### **4.1.5. Análisis climatológico**

En la figura 5 se muestran los valores diarios de la precipitación (mm) y la ETo del año 2015, desde Enero hasta primeros del mes de Octubre.



**Figura 5.** Evolución de la ETo ( $\text{mm día}^{-1}$ ) y de la precipitación (mm) durante el periodo comprendido entre Enero y Septiembre de 2015, en la finca “Doña Ana” (Dos Hermanas, Sevilla).

Como se puede observar los valores máximos de la ETo coinciden con los valores más bajos de la precipitación. A medida que nos acercamos a los meses de verano la ETo también aumenta debido a las elevadas temperaturas, la disminución de la humedad relativa y a lo ya mencionado anteriormente respecto a las precipitaciones. La ETo registrada a lo largo de este periodo tomó valores comprendidos entre  $0,45$  y  $8,93$   $\text{mm día}^{-1}$ . El valor mínimo se registró el DDA 18 (18 de Enero) y el máximo corresponde al DDA 136 (16 de Mayo).

Las precipitaciones recogidas en este periodo son de  $191,1$  mm. Concentrándose la gran mayoría en el mes de Enero y en la primavera, siendo en este periodo el valor máximo registrado de  $29$  mm el DDA 18 (18 de Enero), coincidiendo con el día en el que la ETo fue mínima en todo el periodo. Como es habitual, en esta zona las precipitaciones desde el mes de Mayo hasta finales de Septiembre son prácticamente nulas. A primeros de Septiembre comienzan algunos eventos de lluvias con uno máximo en el último dato registrado el día 5 de Octubre de  $41$ mm.

---

## **4.2. Descripción de la parcela y diseño experimental**

### **4.2.1. Descripción de la parcela**

En la finca, los árboles adultos a los cuales se les ha realizado el estudio se encuentran en una parcela que cuenta con una superficie aproximada de 8400 m<sup>2</sup> y pertenecen a la variedad “Manzanilla de Sevilla”, de unos 30 años de edad aproximadamente. El marco de plantación de la parcela es de 7\*4 metros. Las prácticas de control de plagas, podas y fertilización fueron las utilizadas comúnmente por los agricultores y las malezas fueron eliminadas químicamente dentro de la parcela. El método de riego fue por goteo, que se aplicó durante la noche, usando dos tubos laterales por cada fila de árboles y 26 emisores por planta, divididos entre las dos filas, proporcionando un caudal de 2L h<sup>-1</sup> cada uno.

### **4.2.2. Tratamientos de riego**

El diseño experimental fue en bloques completamente al azar con 4 bloques (repeticiones) y 3 tratamientos de riego. Cada bloque estaba formado por tres filas de árboles y cada tratamiento se encontraba representado por dos árboles en la fila central del bloque. Las dos filas adyacentes actuaban como filas de guardia. El experimento se realizó desde la Primavera, día del año (DDA) 60, hasta la cosecha DDA 249 (final del Verano). Los tres tratamientos realizados fueron los siguientes:

- Control: Árboles completamente irrigados. La programación de riego se realizó utilizando la técnica de cámara de presión. El riego se aplicó para mantener el potencial de agua del tallo a mediodía alrededor de -1,2 MPa antes del período de endurecimiento de hueso y a -1,4 MPa después del período de endurecimiento de hueso (Morianana et al., 2012). Se consideró el inicio del endurecimiento de hueso cuando disminuyó la tasa de crecimiento longitudinal de los frutos (Rapoport et al., 2013). Según Moriana et al (2012), la cantidad de agua aplicada se calculó de acuerdo con la distancia entre el potencial hídrico del tallo a mediodía y el umbral considerado.
- Tratamiento 2 (T2). El riego aplicado fue el mismo que en el Control, con la salvedad de que durante el endurecimiento de hueso (DDA 161 a 237) el umbral

---

se modificó a -2MPa. Posteriormente se rehidrató hasta los niveles del tratamiento Control.

- Tratamiento 3 (T3). El riego aplicado fue el mismo que en el Control, con la salvedad de que durante el endurecimiento de hueso (DDA 161 a 237) se modificó a -4MPa durante la primera mitad del periodo siendo en la segunda mitad un umbral igual al Control (-1.4 MPa).
- Tratamiento 4 (T4). Igual que el tratamiento 3 pero la rehidratación no tuvo lugar hasta el final del endurecimiento de hueso (DDA 161 a 237)

El riego diario no fue mayor que la estimación de la máxima evapotranspiración diaria en este cultivo ( $4 \text{ mm día}^{-1}$ ) siguiendo el siguiente esquema:

- El riego se aplicó solo cuando la medición del potencial hídrico del tallo a mediodía era inferior al umbral
- Si la diferencia entre el resultado de la medición y el umbral era inferior al 10%, se aplicó un riego de  $1 \text{ mm day}^{-1}$
- Si la diferencia entre el resultado de la medición y el umbral estaba entre el 10% y el 20%, se aplicó un incremento de riego de  $1 \text{ mm day}^{-1}$
- Si la diferencia entre el resultado de la medición y el umbral estaba entre el 20% y el 30%, se aplicó un incremento de riego de  $2 \text{ mm day}^{-1}$
- Si la diferencia entre el resultado de la medición y el umbral era mayor que el 30%, se aplicó un riego de  $4 \text{ mm day}^{-1}$

---

### 4.3. Medidas realizadas

#### 4.3.1. Crecimiento ramos, número de inflorescencias y número de frutos

Todas las mediciones se hicieron en un árbol por repetición. Al comienzo de la temporada, se seleccionaron aleatoriamente diez brotes por árbol, con una orientación sur-este y se midió periódicamente la longitud a lo largo del experimento (cada 15 días aproximadamente) con una regla milimetrada. Cada rama se marcó con una cinta rosa enumerada para que se pudieran identificar de manera fácil. Los datos de crecimiento se obtuvieron midiendo desde el lugar de inicio del crecimiento en el año del estudio (indicado con una marca de referencia), hasta el ápice del ramo.



**Foto 2;** *Izquierda:* Ramos marcados en el árbol. *Derecha:* medida del crecimiento del ramo mediante el uso de una regla milimetrada

En estos mismos ramos se realizó un conteo de forma periódica del número de inflorescencias. Nunca se contaron las inflorescencias pertenecientes a ramificaciones del mismo brote, contando únicamente las que pertenecían al ramo, y se realizó un conteo de frutos aproximadamente a partir de final de Junio (cuando comienza la fase de endurecimiento de hueso y se estabiliza el número de inflorescencias).

#### 4.3.2. Crecimiento de frutos

Se escogieron 10 frutos al azar por cada tratamiento y bloque en uno de los árboles control, donde se midió el diámetro transversal y longitudinal de cada fruto mediante un calibre digital. El volumen se calculó tomando el fruto como un elipsoide.



**Foto 3;** Medición tamaño de fruto mediante calibre digital

### 4.3.3. Potencial hídrico

El potencial de agua se midió a mediodía en una hoja por árbol, usando la técnica de cámara de presión (Scholander et al., 1965) cada 7-10 días (Modelo 1000, PMS, USA). Estos valores se compararon con los valores del potencial de agua de riego a medio día estimado con la ecuación de Corell et al (2016). Las hojas cerca del tronco principal fueron cubiertas con papel de aluminio por lo menos una hora antes de que las medidas fueran tomadas (se cubrieron dos hojas por árbol, por si se producía algún fallo con la primera tener otra hoja para realizar la medida). Se cubrieron las hojas cercanas al tronco debido a que estas no reciben la incidencia directa de la radiación. Al cubrir las hojas se evita la transpiración, consiguiendo que durante el tiempo que estén cubiertas su potencial hídrico se iguale con el del tronco. Una vez cortada la hoja, ésta es introducida en la tapa de la cámara de presión, herméticamente cerrada, donde se le va incrementando la presión progresivamente. Una vez se humedezca y aparezca la primera gota de agua en el corte se dejará de incrementar la presión, se habrá alcanzado el equilibrio. La presión de la cámara será la presión a la que se encuentra el agua retenida en la hoja.



**Foto 4;** *Izquierda:* Hojas envueltas en papel de aluminio antes de la medición. *Derecha:* medida del potencial hídrico con la cámara de presión

#### 4.3.4. Conductancia estomática

La conductancia foliar se midió con un porómetro de régimen permanente (SC-1, Decagon, UK) en dos hojas por árbol, que estuvieran orientadas al sol, a una altura del hombro de la persona que realizaba el muestreo y que se encontraran sanas, libres de enfermedades o plagas. Las mediciones se realizaron semanalmente si el clima lo permitía. El proceso de medición dura unos 30 segundos y consiste en situar el envés de la hoja seleccionada en la parte de la pinza donde se encuentra el sensor el cual nos dará el valor de la conductancia estomática ( $g_s$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). El ciclo diurno de la conductancia foliar en el olivo presenta un máximo durante la mañana y un mínimo durante el mediodía (Xiloyannis et al., 1988). Se ha comprobado que la conductancia foliar máxima era más sensible al estrés hídrico que los valores mínimos (Moriana et al, 2002) por lo que las medidas se realizaron para intentar estimar este máximo diario. Trabajos previos indican que este valor tiene lugar en verano aproximadamente a las 10-11 hora oficial.



**Foto 5;** *Izquierda:* Porómetro y útiles para medir la conductancia estomática. *Derecha:* medida de la conductancia estomática mediante la pinza del porómetro

#### 4.3.5. Cosecha

La cosecha se realizó el día 8 de septiembre y se hizo a mano. En ella se pesó individualmente la cosecha de cada árbol y se obtuvo una muestra de aproximadamente 1 Kg de frutos.



**Foto 6:** *Izquierda:* Recolección de las aceitunas por medio de los trabajadores. *Derecha:* deshuesado de las aceitunas.

Con esta muestra se determinó el Índice de Madurez según Hermoso et al (1995, Tabla 2), el escandallo (número de frutos por Kg) y la relación pulpa-hueso. El índice de madurez es la media ponderada de los valores de la Tabla 2 que caracteriza la coloración del fruto. La relación pulpa/hueso se ha determinado deshuesando diez frutos de cada muestra de forma que se pesa en fresco la pulpa por un lado, y el hueso por otro. Una vez que se han pesado todas las muestras por separado, se colocaron en una estufa para que se seque y obtener el peso seco de la pulpa y del hueso

**Tabla 2.** Descripción de las clases de aceitunas en función de su estado de madurez (Hermoso *et al.*, 1995).

0	Piel verde intensa
1	Piel verde amarillenta
2	Piel verde con manchas rojizas en menos de la mitad del fruto, inicio envero
3	Piel rojiza o morada en más de la mitad del fruto, final del envero
4	Piel negra y pulpa blanca
5	Piel negra y pulpa morada sin llegar a la mitad de la pulpa
6	Piel negra y pulpa morada sin llegar al hueso
7	Piel negra y pulpa morada totalmente hasta el hueso





**Foto 7;** Las seis primeras fases del desarrollo del color de la piel de la aceituna (Índice de madurez).

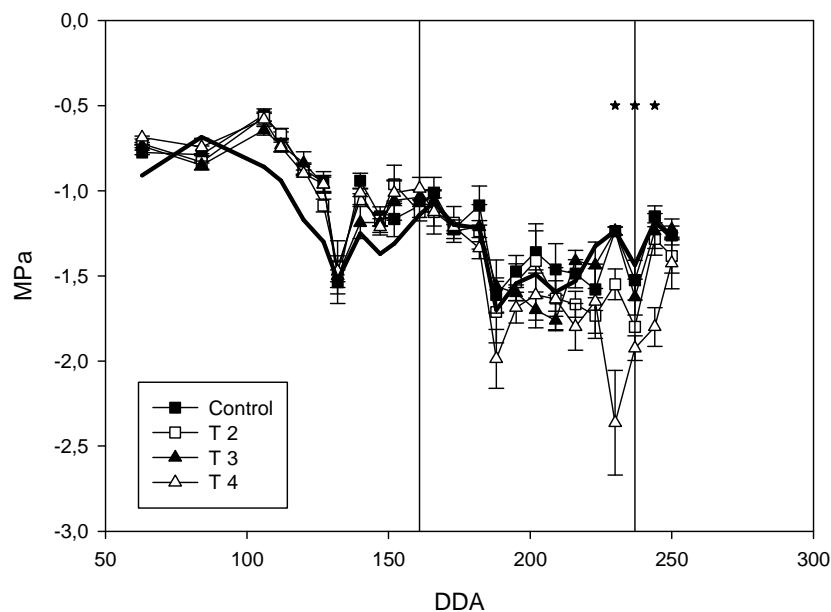
Los análisis de datos se realizaron con ANOVA y la separación media se realizó a través del test de Tukey utilizando el programa Statistix (SX) (8.0). Se consideraron diferencias significativas cuando p-nivel  $<0,05$  en ambos test. Los cálculos del nivel p se realizaron considerando el test F de igualdad de la varianza. Cuando no se obtuvieron condiciones de igualdad de varianza, se redujo el grado de libertad y, por lo tanto, un valor p más restrictivo. El número de muestras medidas se especifica en el texto y las figuras

---

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

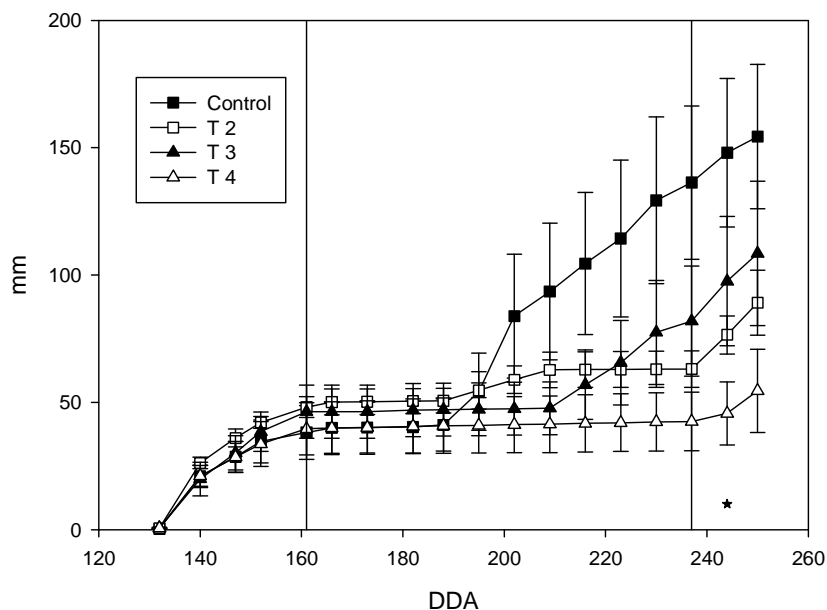
### **5.1. Relaciones hídricas**

En la Figura 6 se presentan los valores de potencial hídrico medido a mediodía durante el ensayo. Se han producido diferencias significativas los últimos días del periodo experimental, cuando los valores medidos en el tratamiento T4 fueron significativamente menores que los de los tratamientos Control y T3, desde el día del año (DDA) 230 al 245. Este tratamiento llegó a registrar un valor mínimo de potencial hídrico cercano a -2.5 MPa. En este periodo final el tratamiento T2 también presentó diferencias significativas con los tratamientos Control y T3 el DDA 237, justo al final del ciclo de estrés. Sin embargo, los valores mínimos en esta fecha estuvieron alrededor de -1.5 MPa, claramente superiores al registrado en el T4. La Figura 1 también presenta los valores esperados en ausencia de estrés hídrico según las ecuaciones propuestas por Corell et al (2016). El tratamiento Control se ajustó muy bien a estos valores, indicando que las oscilaciones encontradas a lo largo del experimento fueron debidas a las variaciones en la demanda evaporativa. Estas variaciones fueron muy importantes entre -0.7 MPa y -1.5 MPa e ilustran la utilidad de tener una herramienta como esta ecuación para poder identificar la influencia de las condiciones meteorológicas. El tratamiento T3 no fue significativamente diferente del Control en ninguna fecha, no obstante hay una tendencia clara a valores menores desde el DDA 188 al 216. En general, los valores medios de potencial hídrico obtenidos durante el periodo experimental son altos y sugieren niveles de estrés moderados y muy puntuales. El periodo de rehidratación, aunque fue breve, fue suficiente para igualar a todos los tratamientos estando el tratamiento T4 más retrasado y ligeramente por debajo en su valor final. Los valores empleados en el ensayo (-1.2 MPa, antes de endurecimiento y -1.4 MPa, después, sugeridos por Moriana et al (2012)) aunque estuvieron cercanos a los valores Control, fueron excesivamente rígidos ya que el potencial hídrico medido varió de forma clara por encima de ambos umbrales. Por otro lado el retraso en la rehidratación del tratamiento 4 estuvo posiblemente relacionado con problemas de bajada de presión en el riego que dio lugar a riegos menores de los esperados. Otra posibilidad podría estar relacionada con un volumen de suelo humedecido bajo (como sugiere Pérez-López et al. (2008)). Sin embargo, el elevado número de goteros por árbol y que no hubo apenas retraso en el tratamiento 2 sugieren que estos datos están relacionados con problemas de riego en algunas parcelas.



**Figura 6.** Evolución del potencial hídrico a lo largo del experimento. Cada símbolo corresponde a la media de 4 valores de cada uno de los tratamientos. La línea continua muestra los valores esperados en ausencia de estrés hídrico según las ecuaciones propuestas por Corell et al (2016). Las barras verticales representan el error estándar. Las líneas verticales representan las fechas de endurecimiento de hueso y rehidratación. Los asteriscos indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos (Test Tukey  $p < 0.05$ ). DDA: día del año.

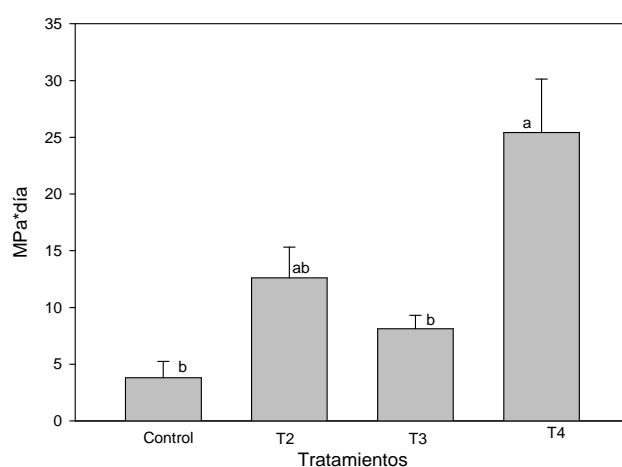
La programación del riego se realizó en función de los valores de potencial hídrico registrados (Figura 6), teniendo en cuenta los umbrales y estados fenológicos del cultivo (ver Materiales y Métodos). La cantidad de agua aplicada durante el ensayo se presenta en la Figura 7. El riego en el experimento comenzó el DDA 140, en el que se midieron valores de potencial hídrico suficientemente bajos para considerar que existían condiciones de estrés. En estos momentos del ensayo no se disponía aún de la línea base de potencial hídrico de Corell et al (2016), por lo que no se pudo identificar como una bajada relacionada con la demanda evaporativa. Los distintos tratamientos de riego se comenzaron a aplicar a partir del comienzo del endurecimiento del hueso (DDA 161). El retraso del comienzo del riego en esta fase está de nuevo relacionado con los valores de potencial hídrico, que en ningún caso, ni en el tratamiento Control, indicaron necesidades de riego. A partir del DDA 200 comienza el riego en el tratamiento Control, continuando hasta el final del ensayo.



**Figura 7.** Evolución del agua aplicada (mm) durante el ensayo. Cada símbolo es la media de 4 valores. Las barras verticales representan el error estándar. Las líneas verticales indican las fechas de endurecimiento de hueso y rehidratación. El asterisco indica diferencias significativas entre los valores en la fecha indicada (Test Tukey,  $p < 0.05$ ). DDA: día del año.

El riego se realizó de forma individualizada en cada parcela, según los valores de potencial hídrico obtenidos, lo que supuso una gran variabilidad en el agua aplicada dentro de los tratamientos. El agua final aplicada en el tratamiento Control fue aproximadamente de 154 mm. El tratamiento T2 recibió varios riegos a partir del DDA 200, pero los datos de potencial hídrico obtenidos (umbral de -2 MPa) indicaron que no era preciso realizar riegos posteriores. Una vez finalizado el periodo de estrés hídrico se regó de nuevo hasta aplicar una dosis de 89 mm, lo que supuso un ahorro del 42% de agua respecto al tratamiento Control. El tratamiento T3 tuvo un retraso muy significativo en el comienzo del riego ya que el objetivo a priori era mantenerlo a niveles de estrés hídrico similares al tratamiento T4 pero rehidratándolo antes. Esta rehidratación temprana dio lugar a unas dosis de riego mayores, que fueron prácticamente constantes desde el DDA 216 hasta el final del ensayo. El valor total de riego recibido en los árboles del tratamiento T3 fue de 108 mm, un ahorro del 30% respecto del Control. Finalmente el tratamiento T4 sólo se regó en el periodo de rehidratación con una cantidad final de 54 mm, lo que supuso un ahorro del 65% respecto del Control. Este manejo del riego permitió concentrar en los tratamientos T2 y T4 el riego fuera de la época de mayor demanda.

La Figura 8 muestra la integral de estrés en cada uno de los tratamientos en el periodo de tiempo desde el DDA 161 hasta el DDA 237. Para realizarla se han utilizado los datos de potencial hídrico mostrados en la Figura 6 (ver Materiales y Métodos 4.3.3.). Los resultados de la integral de estrés fueron significativamente diferentes entre el tratamiento T4 y los tratamientos Control y T3. El tratamiento T2 tuvo un valor intermedio. El T4 ha sido el tratamiento que ha sufrido más estrés, ya que su umbral era el más bajo de todos y el que más se ha mantenido en el tiempo. T2 ha sufrido un estrés mayor a al T3, a pesar de que el umbral de este último era mayor (-4.0 MPa frente a -2.0 MPa del T2), esto se debe a que la rehidratación del T3 se realizó el DDA 209, mientras que la del T2 fue el DDA 237, al igual que el resto de tratamientos.

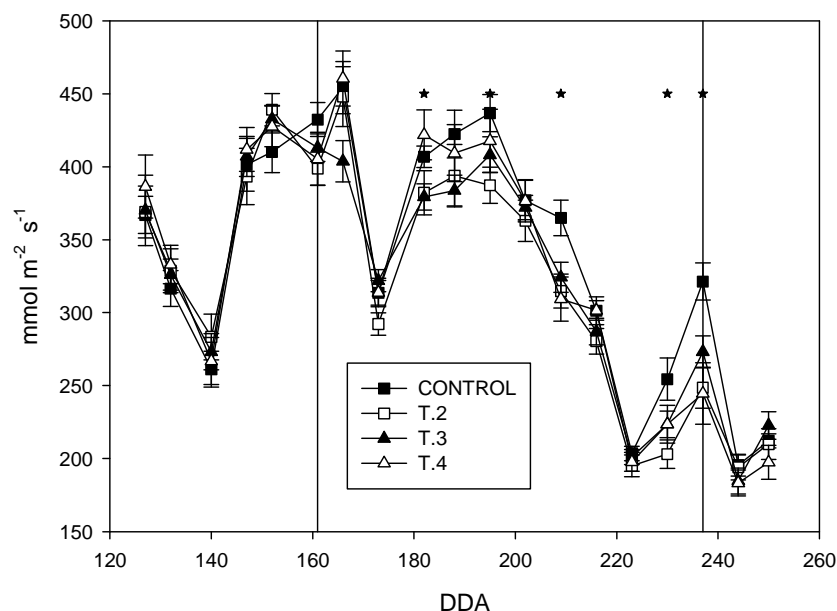


**Figura 8.** Integral de estrés en la fase de endurecimiento de hueso. Cada barra es la media de 4 datos y las líneas verticales representan el error estándar. Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre tratamientos (Test Tukey  $p < 0.05$ ).

La integral de estrés da una información adicional a la del potencial hídrico, al incluir también la duración del periodo de déficit hídrico. Girón et al (2015) sugirió que valores cercanos a 40 MPa·día podrían suponer una disminución en el crecimiento del fruto. Teniendo en cuenta esta referencia el estrés al que fueron sometidas las plantas puede considerarse como pequeño.

La conductancia foliar estima la afección del intercambio gaseoso por efecto del estrés hídrico (Figura 9). El patrón estacional de la conductancia estomática fue algo errático, con caídas pronunciadas en todos los tratamientos en algunas fechas como el DDA 173 y a partir del DDA 224. Esta variabilidad está posiblemente relacionada con la diferente demanda evaporativa en el momento de la medida. Las medidas pretenden estimar el

valor máximo diario de la conductancia foliar, por lo que se realizan a una hora concreta del día. Sin embargo, es probable que en algunos días concretos, caídas en la radiación o temperaturas muy elevadas puedan dar lugar a este tipo de respuesta. No obstante, esta variabilidad no afecta a la comparación entre tratamientos en el mismo día y es una evaluación adecuada del estado hídrico de los árboles.



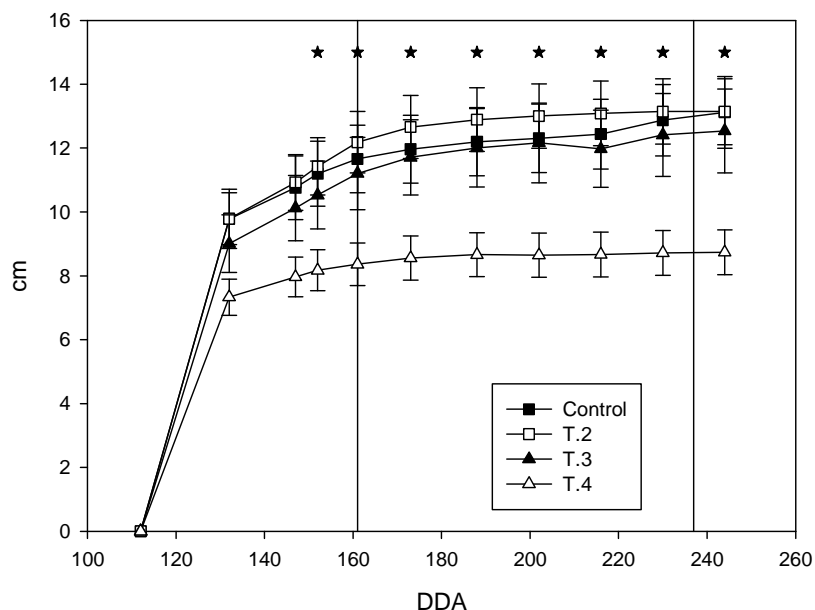
**Figura 9.** Evolución de la conductancia foliar durante el ensayo. Cada punto es el promedio de 8 medidas. Las barras verticales representan el error estándar y las líneas verticales delimitan el periodo de estrés hídrico. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos. DDA: día del año.

Los valores de conductancia foliar obtenidos antes de comenzar el periodo de estrés hídrico son prácticamente iguales en todos los tratamientos, esto se debe a que antes del DDA 161 todos los tratamientos tenían el mismo umbral de estrés, y a todos se le aplicó un riego similar. Las diferencias significativas surgen en el periodo de estrés hídrico. El tratamiento Control tiene unos valores superiores al resto de tratamientos, esto se debe a que el umbral de estrés del tratamiento Control era mucho mayor que el del resto, y por lo tanto los árboles tenían una mayor apertura estomática, sin embargo, estas diferencias no son claras hasta el DDA 188. Las diferencias en conductancia entre tratamientos fueron pequeñas y corroboran los datos obtenidos en potencial hídrico (Figura 6) e integral de estrés hídrico (Figura 8) en cuanto a que el nivel de estrés hídrico implantado fue bajo.

---

## 5.2. Crecimiento vegetativo y de frutos

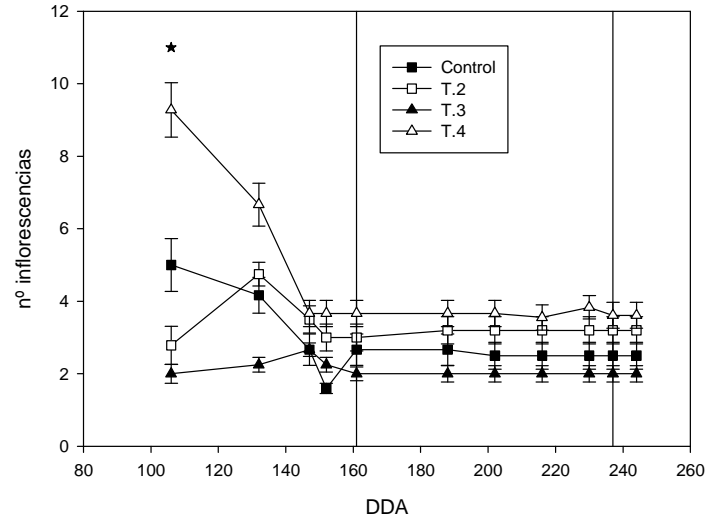
La Figura 10 representa la expansión de los brotes de los diferentes tratamientos, tomando como referencia la longitud del brote del DDA 112. El patrón estacional es muy similar en los 4 tratamientos con un crecimiento muy acentuado antes del comienzo del endurecimiento del hueso, disminuyendo considerablemente a partir de ese momento. Se obtuvieron diferencias significativas entre el T4 y el resto de tratamientos desde el DDA 152 hasta el final del ensayo. A partir del comienzo del endurecimiento masivo, periodo en el que se somete a los árboles a estrés hídrico, la expansión es prácticamente nula en todos los tratamientos, aunque se detectó un crecimiento muy leve en los tratamientos Control, T2 y T3, alrededor de 0.8 cm, que no se registró en el tratamiento T4. Esta reducción estuvo posiblemente relacionada con los tratamientos de riego, aunque su importancia en el efecto sobre una disminución de la cosecha del año próximo se considera inapreciable. La parada de crecimiento vegetativo durante el endurecimiento masivo del hueso es un proceso normal en olivo debido al efecto sumidero que ejerce el fruto en los asimilados de la planta (Rallo y Suárez, 1989). Este efecto sumidero tiene lugar con una carga significativa de fruta y es independiente del estado hídrico. El estrés hídrico detectado en la expansión de brotes no fue identificado en ningún momento por el potencial hídrico y la conductancia estomática (Figs. 3 y 4). El crecimiento vegetativo es uno de los procesos más sensibles a la falta de agua en el suelo (Hsiao, 1990) y se ve reducido incluso en momentos en los que los parámetros de relaciones hídricas no lo son. Trabajos de comparación de diferentes indicadores como la tasa de crecimiento del tronco frente a conductancia o potencial hídrico han llegado a esta misma conclusión en diferentes árboles frutales (olivo, Moriana y Fereres, 2002; melocotón, Goldhamer et al., 1999).



**Figura 10.** Evolución de la expansión del brote a lo largo del experimento. Cada punto es el promedio de 40 medidas. Las barras verticales representan el error estándar y las líneas verticales indican el periodo donde se realizó el estrés hídrico. Los asteriscos indican donde se han encontrado diferencias significativas entre los tratamientos (Test de Tukey,  $p < 0.05$ ). DDA: día del año.

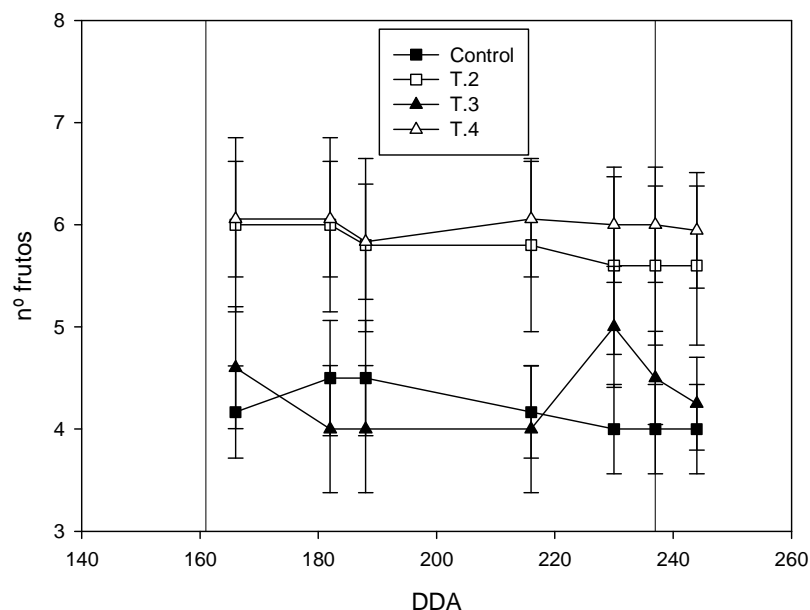
La Figura 11 presenta la evolución del número de inflorescencias en los cuatro tratamientos del ensayo. El número de inflorescencias disminuyó de forma drástica en los 4 tratamientos, debido a la caída de flores, en la que se suele perder hasta un 95% de la totalidad de las mismas (Rapoport, 1997). La caída cesa a partir del DDA 161 que es la fecha de comienzo de endurecimiento del hueso, desde esa fecha hasta el final del ensayo el número de inflorescencias se mantuvo estable. El único momento en el que existen diferencias significativas es al inicio (DDA 100), a partir de esa fecha los tratamientos empiezan a estabilizarse. Aunque no existen diferencias significativas, excepto en la fecha ya mencionada, podemos observar la misma tendencia que en gráficas anteriores, los tratamientos T2 y T4 tienen valores similares, con el mayor número de inflorescencias, aunque son los más estresados, mientras que el tratamiento Control y el T3 son los que menos inflorescencias presentan, aun siendo los que menos estrés han soportado. Las diferencias entre tratamientos no fueron significativas, aunque los valores del T3 fueron aproximadamente la mitad que los del T4. No obstante, estas diferencias, y las encontradas al inicio, no están relacionadas con los tratamientos de riego ya que el año anterior todos los árboles tuvieron un manejo idéntico.





**Figura 11.** Evolución de número de inflorescencias de cada uno de los tratamientos. Cada símbolo es la media de 40 datos, son las inflorescencias encontradas en los 10 brotes marcados en cada árbol. Las barras verticales representan el error estándar. Las líneas verticales representan las fechas de endurecimiento de hueso y rehidratación. El asterisco indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos. DDA: día del año.

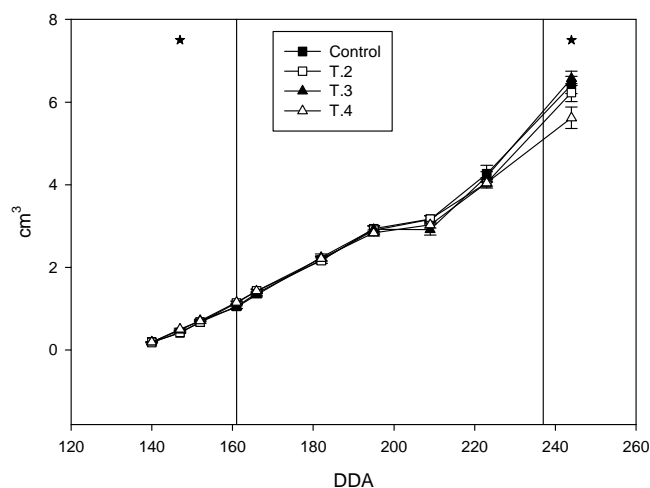
La Figura 12 presenta el número de frutos durante la fase de endurecimiento a lo largo del ensayo. No existen diferencias significativas entre los tratamientos, aunque si podemos distinguir dos grupos, en uno encontramos el tratamiento T4 y el T2, que mantienen una media en torno a 6 frutos por ramo. En otro están los tratamientos Control y T3, que tienen una media de en torno a 4 frutos por ramo. El tratamiento que presenta mayores oscilaciones en el número de frutos es el T3, llegando a tener como máximo una media de 5 frutos por ramo, aunque finalmente disminuye de nuevo a los 4 frutos. El resto de tratamientos presentan una evolución estable durante el ensayo lo que sugiere que la caída de frutos fue prácticamente nula. Girón et al (2015a) sugiere que niveles de potencial hídrico por debajo de -2 MPa podrían reducir el número de frutos por brote. Estos valores fueron obtenidos de forma puntual en algunos tratamientos al final del ciclo de estrés pero no parece que fuesen suficientes para afectar a la cosecha.



**Figura 12.** Evolución del número de frutos de cada uno de los tratamientos. Cada símbolo es la media de 40 datos, son los frutos encontrados en los 10 brotes marcados en cada árbol. Las barras verticales representan el error estándar. Las líneas verticales representan las fechas de endurecimiento de hueso y rehidratación. DDA: día del año.

En la Figura 13 se muestra la evolución estacional del crecimiento del fruto. Aunque existen dos fechas en las que encontramos diferencias significativas, nos vamos a centrar en la última (DDA 244) ya que en la primera fecha (DDA 147) los volúmenes de los frutos eran muy pequeños y posiblemente las diferencias se puedan deber a un error de muestreo. Todos los tratamientos siguen un patrón muy similar durante el ensayo, con un crecimiento prácticamente lineal. La parada en el crecimiento del volumen del fruto alrededor del DDA 220 no parece que estuviese relacionada con el riego ya que se produce en todos los tratamientos. El tratamiento T4 presenta un volumen de fruto final menor al resto de tratamientos, con un valor de  $5.6 \text{ cm}^3$  al final del periodo de estrés, cuando se comienza la rehidratación. El resto de valores han sido  $6.23$ ,  $6.57$  y  $6.41 \text{ cm}^3$  (tratamientos T2, T3 y Control respectivamente), hasta un 20% superiores. También el tratamiento T2 tuvo valores menores que los otros dos, aunque las diferencias no fueron significativas. La ausencia de reducción del volumen de fruto durante la fase de endurecimiento coincide con las conclusiones sugeridas por Girón et al (2015) y Dell'Amico et al (2012) que indican que niveles de estrés similares al nuestro no tienen repercusión en el crecimiento del fruto. Sin embargo, no está claro el motivo de la reducción del volumen del fruto del tratamiento T4 al final del ensayo. Una posible causa

sería que se produjo un retraso en la recuperación de este tratamiento, lo que se mostraría por los valores de potencial hídrico medido (Figura 1). Girón et al (2015b) indica que el crecimiento del fruto se puede ver reducido por efecto del estrés hídrico, pero que con una adecuada rehidratación no debe haber diferencias finales. Los resultados de las Figuras 1 y 8 sugieren que posiblemente hubo una afeción antes de rehidratación en el tratamiento T4 que no se pudo detectar, y que se hizo evidente con una rehidratación del tratamiento incompleta.



**Figura 13.** Evolución volumen de fruto. Cada símbolo es la media del volumen de 40 frutos correspondiente a cada uno de los tratamientos. Las barras verticales representan el error estándar. Las líneas verticales indican las fechas de endurecimiento de hueso y rehidratación. Los asteriscos indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos. DDA: día del año.

### **5.3. Calidad y Cantidad en la cosecha**

En la Tabla 3 se presentan los resultados de cantidad y calidad de la cosecha, así como la eficiencia en el uso del agua (EUA). La cantidad de cosecha no presentó diferencias significativas entre tratamientos, aunque T2 y T3 tendieron a ser inferiores que T1 y T4. Por tanto no hubo ninguna relación entre el riego y la cosecha obtenida. Sin embargo, este resultado es muy variable debido el ciclo vecero de esta especie, por lo que datos de un solo año no se deberían considerar para sacar conclusiones.

**Tabla 3.** Calidad y cantidad de cosecha durante el ensayo. Letras diferentes en la misma línea indican diferencias significativas (Test de Tukey,  $p < 0.05$ ). EUA: eficiencia en el uso del agua.

	<b>Control</b>	<b>T 2</b>	<b>T 3</b>	<b>T 4</b>
<b>Cosecha (<math>T \cdot ha^{-1}</math>)</b>	$3.1 \pm 1.0$	$1.9 \pm 0.5$	$1.9 \pm 0.6$	$3.4 \pm 0.9$
<b>Índice Madurez</b>	$1.2 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.1$	$1.2 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.0$
<b>Escandallo (<math>Fr \text{ Kg}^{-1}</math>)</b>	$192 \pm 8$	$198 \pm 15$	$185 \pm 6$	$210 \pm 20$
<b>Tamaño fruto (<math>cm^3</math>)</b>	$5.4 \pm 0.4$	$5.8 \pm 0.3$	$5.8 \pm 0.3$	$5.0 \pm 0.5$
<b>Índice molestado</b>	$0.14 \pm 0.04$	$0.08 \pm 0.04$	$0.34 \pm 0.23$	$0.23 \pm 0.1$
<b>Textura (<math>Kg \text{ cm}^{-2}</math>)</b>	$4.1 \pm 0.2$	$4.4 \pm 0.1$	$4.0 \pm 0.3$	$4.5 \pm 0.1$
<b>Relación Pulpa/Hueso Fresco</b>	$5.1 \pm 0.4$	$5.3 \pm 0.6$	$5.9 \pm 0.2$	$5.2 \pm 0.2$
<b>Relación Pulpa/Hueso Seco</b>	$2.3 \pm 0.0$	$2.3 \pm 0.2$	$2.5 \pm 0.1$	$2.3 \pm 0.1$
<b>Agua aplicada (mm)</b>	$154 \pm 28$	$89 \pm 13$	$108 \pm 28$	$54 \pm 16$
<b>EUA (<math>kg \text{ m}^{-3}</math>)</b>	$2.5 \pm 1.1 \text{ a}$	$2.5 \pm 0.9 \text{ a}$	$2.4 \pm 1.0 \text{ a}$	$8.9 \pm 3.0 \text{ b}$

El tamaño del fruto es, con diferencia, el parámetro de calidad más apreciado entre los agricultores. En las dos medidas postcosecha realizadas (volumen y escandallo) se obtuvieron valores de menor tamaño en el tratamiento T4 que en el resto de tratamientos, aunque no hubo diferencias significativas, Los calibres obtenidos son muy buenos, especialmente en el caso del tratamiento T3. Los tamaños de frutos individuales obtenidos tienen valores similares a los de la Figura 13. Las tres medidas de tamaño de fruto (escandallo, fruto en cosecha y evolución del crecimiento del fruto) sugieren una pérdida en tamaño en el tratamiento T4 de alrededor del 10%. Esta pérdida de tamaño no puede ser achacada al nivel de carga ya que el tratamiento Control, con un nivel similar presentó mejores calibres.

El índice de madurez (IM) permite estimar la presencia de aceitunas con zonas moradas por el inicio de la maduración. Estas aceitunas están penalizadas en las plantas de aderezo, al estar destinada la producción a la preparación en verde. El IM que se considera óptimo es 1 que coincide con un color verde/amarillento y con ausencia de manchas. A partir de 2 la aceituna presenta al menos un 25% de la superficie manchada. Los valores de índice de madurez obtenidos son valores óptimos, cercanos a 1 y muy similares en todos los tratamientos, sin diferencias significativas, aunque cabe destacar que los tratamientos Control y T3 tienen valores un poco más altos (1.2), mientras que el T2 y T4 tienen

---

valores algo menores (1). La textura está estrechamente relacionada con los valores del índice de madurez. Valores bajos en la textura corresponde a frutas más maduras, por lo tanto, si observamos los datos de los tratamientos Control y T3, vemos que tienen valores muy similares (4.1 y 4 respectivamente) mientras que T2 y T4 tienen valores algo superiores (4.4 y 4.5 respectivamente). Tampoco la textura presentó diferencias significativas. No obstante el índice de madurez y la textura podrían sugerir un cierto adelanto de los tratamientos que estuvieron sometidos a condiciones de estrés hídrico.

La relación pulpa/hueso es un indicador muy valorado por la industria del aderezo, siendo muy apreciados valores altos. En nuestro ensayo no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de riego ni en fresco ni en seco. No obstante los valores obtenidos en el tratamiento T3, especialmente en fresco, tienden a ser mayores, más de un 20%, que en el tratamiento Control. Estas diferencias deberían ser contrastadas en futuros ensayos, pero podrían estar relacionadas con el manejo del riego de este tratamiento.

El tratamiento que ha tenido una mejor eficiencia en el uso del agua ha sido el T4, triplicando la eficiencia del resto de tratamientos, al ser el tratamiento que menor cantidad de agua ha recibido. Cabe destacar que la eficiencia del uso del agua en el resto de los tratamientos ha sido muy similar, aunque el agua aplicada en cada uno de ellos haya variado en gran medida, por ejemplo, el tratamiento T2, con 89 mm de agua aplicada, ha tenido la misma eficiencia que el T1, que recibió 154 mm.

---

## 6. CONCLUSIONES

Los niveles de estrés hídrico a los que han sido sometidos los tratamientos son niveles de estrés moderados y muy puntuales. El tratamiento 4 fue el que presentó valores menores de potencial hídrico llegando a registrar un valor mínimo de -2.5 MPa. El Control se ajustó muy bien a los valores esperados en ausencia de estrés hídrico según las ecuaciones propuestas por Corell et al (2016).

El estrés hídrico no supuso ninguna limitación en el crecimiento vegetativo, en el desarrollo del fruto o en el número de frutos e infrutescencias en ninguno de los tratamientos aunque el T.4 fue el que presentó valores más bajos en cuanto a expansión de ramo y tamaño de fruto se refiere (alrededor de un 10% menos con respecto a los otros tratamientos), todo ello puede deberse a que fue el tratamiento que menos agua recibió, aunque fue el que presentó mayor eficiencia en el uso del agua, llegando a triplicar el del resto de tratamientos.

Los tratamientos T.2 y T.4 presentaron un cierto adelanto en la textura y el índice de madurez respecto al control y al T.1, esto se puede deber a que los dos primeros mencionados sufrieron niveles de estrés mayores.

Los valores más altos de cosecha se registran en los tratamientos control y T.4 aunque este resultado requiere de verificación con datos de años posteriores.

---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998.** Crop evapotranspiration. Guideline for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper n° 56. Roma. FAO.

**Ameglio, T.; Archer, P.; Cohen, M.; Valancogne, C.; Daudet, F.A.; Dayau, S.; Cruiziat, P. (1999).** Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant and soil*, **207**, 155-167.

**Chalmers, D.J.; Mitchell, P.D.; Vanheek, L. (1981).** Control of peach-tree growth and productivity by regulated water-supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **106**, 307-312.

### COI (2015)

<http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures>

**Corell, M., Pérez-López, D., Martín-Palomo, M.J., Centeno, A., Girón, I., Galindo, A., Moreno, M.M., Moreno, C., Memmi, H., Torrecillas, A., Moreno, F., Moriana, A. 2016.** Comparison of the water potential baseline in different locations. Usefulness for irrigation scheduling of olive orchards. *Agricultural Water Management* 177:308-316.

**Dell'Amico, J.; Moriana, A.; Corell, M.; Girón, F.; Morales, D.; Torrecillas, A.; Moreno, F (2012).** Low water stress conditions in table olive trees (*Olea europea L.*)

### FAOSAT (2014)

<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

**Girón, I.F.; Corell, M.; Galindo, A.; Torrecillas, E.; Morales, D.; Dell'Amico, J.; Torrecillas, A.; Moreno, F.; Moriana, A. (2015).** Changes in the physiological response between leaves and fruits during a moderate water stress in table olive trees. *Agricultural Water Management*, **148**, 280-286.

---

**Goldhamer, D.A., 1999.** Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Hort.* 474, 369-372.

**Goldhamer, D.A.; Fereres, E.; Mata, M.; Girona, J.; Cohen, M. (1999).** Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **124**, 437-444.

**Hsiao, T.C. (1990).** Measurements of plant water status Chap. 9. Pp. 243-279 in: *Irrigation of agricultural crops* (B.A. Steward & D.R. Nielsen, editors). Agronomy Monograph, 30. American Society of Agronomy, Madison

**Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F., Villalobos, F.J., 2009.** The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, oil and yield of olive trees. *European Journal of Agriculture* 30, 258-265.

**Lavee, S.; Hanoch, E.; Wodner, M.; Abramowitch, H. (2007).** The effect of predetermined deficit irrigation on the performance of the cv. Muhasan olive (*Olea europaea* L.) in the eastern coastal plain of Israel. *Scientia Horticulturae*, **112**, 156–163

**MAGRAMA (2015)**

<http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasagrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>

**Moriana, A.; Fereres, E. (2002).** Plant indicator for scheduling irrigation of Young olive trees. *Irrigation Science*, **21**, 83-90.

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

**Moriana, A.; Pérez-López, D.; Prieto, M.H.; Ramírez-Santa-Pau, M.; Pérez-Rodríguez, J.M. (2012).** Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. *Agricultural Water Management*, **112**, 43-54.



---

**Moriana, A.; Villalobos, F.J.; Fereres, E. (2002).** Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, cell and environment*, **25**, 395-405.

**Orgaz, F.; Fereres, E. (1997).** Riego. Pp. 251-271 in: *El cultivo del olivo* (D. Barranco, R. Fernández Escobar, L. Rallo, editores). Mundiprensa, Madrid

**Orgaz, F.; Fereres, E. (2008).** Riego. Pp. 337-363 in: *El cultivo del olivo* (D. Barranco, R. Fernández Escobar, L. Rallo, editores). Mundiprensa, Madrid.

**Orgaz, F.; Testi, L.; Villalobos, F.J.; Fereres, E. (2006).** Water requirements of olive orchard-II: determination of crop coefficients for irrigation scheduling. *Irrigation Science*, **24**, 77-84.

**Pérez-López, D., Gijón, MC, Moriana, A. (2008)** Influence of irrigation rate on the rehydration of olive tree plantlets. *Agric. Wat. Management* 95:1161:1166

**Rapoport, H. (1997).** Capítulo 2: Botánica y Morfología. En: *El cultivo del olivo* (D. Barranco, Fernández-Escobar, R., Rallo, L., eds.). MundiPrensa, Madrid, pp 33-58.

**Rapoport, H.F.; Pérez-López, D.; Hammami, S.B.M.; Agüera, J.; Moriana, A. (2013).** Fruit pit hardening: physical measurement during olive fruit growth. *Annals of Applied Biology*, **163** (2), 200-208.

**Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.A.; Hemmingsen, E.A. (1965).** Sap pressure in vascular plant. *Science*, **148**, 339-346.

**Xiloyannis,C; Pezzarossa,B; Jorba,J; Angelini,P (1988):** Effects of soil water content on gas exchange in olive trees. *Adv. Hort. Sci.* 2, 58-63.