



TRABAJO DE FIN DE GRADO

ESTUDIO DE LA MEJORA DE LA FLORACIÓN EN OLIVAR POR EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



ALUMNO: ALBERTO GONZÁLEZ ZAFRA.

TUTOR: ALFONSO MORIANA ELVIRA.

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA.

CURSO ACADÉMICO: 2016/2017.

SEVILLA.



**ESTUDIO DE LA MEJORA DE LA FLORACIÓN EN
OLIVAR POR EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO**



TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

Presentado por:

Alberto González Zafra.

Dirigido por:

D. Alfonso Moriana Elvira.

Firma del director:

Firma del alumno:

Sevilla, a 24 de Agosto 2017.



ESTUDIO DE LA MEJORA DE LA FLORACIÓN EN OLIVAR POR EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO



Agradecimientos:

En este apartado quiero agradecer la valiosa ayuda prestada por las siguientes personas:

- Al Doctor Alfonso Moriana Elvira por brindarme la oportunidad de trabajar con él y trasmitirme los conocimientos necesarios para el estudio de los parámetros que rodea a este mundo del olivo.
 - A las profesoras Mireia Corell González y M^a José Martín Palomo, que formaron parte del equipo y me ayudaron a conseguir el objetivo del proyecto, aprendiendo así de ellas, su trabajo y entusiasmo en la investigación.
 - Al profesor David Pérez López de la Universidad Politécnica de Madrid, por facilitarnos el material necesario para montar el sistema de enfriamiento utilizado durante la investigación.
 - A mi familia, por darme la oportunidad de realizar mis estudios y mostrarme el esfuerzo que ello conlleva, así como agradecerles su apoyo durante esta etapa que dará lugar a nuevas metas.
 - A todos mis compañeros de la carrera, especialmente a Antonio Llamas Suárez, Pablo Esteban Lima y Ricardo Barón Burguete, por estar ahí a mi lado y por el apoyo mutuo que nos hemos dado durante estos años.
-

Índice general

1. Resumen.	1
2. Introducción.	2
2.1. Distribución geográfica del olivo.	2
2.2. Ciclo vegetativo y reproductivo.	3
2.3. Temperatura.	5
2.4. Características de la variedad 'Arbequina'.	7
3. Objetivos.	9
4. Material y métodos.	10
5. Resultados y discusión.	17
6. Conclusiones.	33
7. Bibliografía.	34

Índice de figuras:

Figura 1. Superficie de olivo en el Mundo.	3
Figura 2. Ciclo bienal del olivo.	5
Figura 3. Evolución de la temperatura máxima y mínima a lo largo del experimento.	17
Figura 4. Evolución de la temperatura de la cámara a lo largo del tratamiento.	18
Figura 5. Cantidad de agua aplicada a los árboles a lo largo del tratamiento.	19
Figura 6. Evolución del potencial hídrico a lo largo del tratamiento.	20
Figura 7. Evolución de la conductancia estomática a lo largo del tratamiento.	21
Figura 8. Crecimiento de ramos a lo largo del tratamiento.	23
Figura 9. Número de hojas (a) y área foliar (b) de los 4 ramos seleccionados de cada árbol.	24
Figura 10. Número de inflorescencias por árbol a lo largo del tratamiento.	26
Figura 11. Integral térmica en el total del experimento, hasta el día 8 de febrero y hasta el 13 de marzo.	28
Figura 12. Temperatura mínima absoluta hasta el día 8 de febrero, temperatura media horaria hasta el día 8 de febrero y temperatura media horaria hasta el día 13 de marzo.	29
Figura 13. Relación entre la temperatura media hasta el 13 de marzo (a), el potencial mínima hasta el 13 de marzo (b) y el potencial medio hasta el 8 de febrero (c) frente al número de inflorescencias.	32

Índice de imágenes:

Imágenes 1. Inflorescencias de los árboles del ensayo en cámara.	5
Imágenes 2. Aplicación de agua en el ensayo realizado.	7
Imágenes 3. Olivos del ensayo antes de ser introducidos en cámara.	8
Imágenes 4. Olivos de 4 años en macetas de 10 litros, se encuentran en campo antes de su traslado a la cámara de cultivo.	10
Imágenes 5. Esquema representativo del montaje del sistema de enfriamiento y tuberías.	12
Imágenes 6. Sistema de tuberías empleado para el transporte del anticongelante.	13
Imágenes 7. Arduino.	13
Imágenes 8. Detalle del sistema empleado para enfriar el suelo.	14
Imágenes 9. Estructura creada en la base de los olivos para mantener la temperatura baja en el suelo de la maceta.	14
Imágenes 10. Cámara de Scholander.	15
Imágenes 11. Etiquetas y ramos marcados.	16
Imágenes 12. Inflorescencias cerradas de tratamiento control.	25
Imágenes 13. Inflorescencias abiertas de tratamiento control.	25

Índice de tablas:

Tabla 1. Esquema de los cambios de la cámara a lo largo del ensayo.

12

1. Resumen:

El olivo (*Olea europaea* L.) es una especie muy adaptada a las condiciones del clima Mediterráneo, el cual se caracteriza por tener inviernos suaves y veranos muy cálidos y secos. A partir de los 90 aumenta la superficie olivarera en nuestro país, principalmente en la cuenca del Mediterráneo, y en zonas no tradicionales como el sur de EEUU o el norte de Chile y sur de Perú, donde los inviernos son extremadamente cálidos y las lluvias muy escasas. En estas zonas fuera de España es habitual detectar explotaciones con problemas de floración durante la primavera, que tradicionalmente se ha ligado a la falta de horas frío durante el invierno. Este problema, muy local actualmente, podría convertirse en una cuestión más general si se cumplen las estimaciones de incremento de temperatura por efecto del cambio climático. Algunos modelos estiman que a medio plazo, antes de finalizar el siglo, zonas tradicionales de olivar en Andalucía tendrán problemas de floración en primavera. Las temperaturas por debajo de 10°C producen una deshidratación del olivo incluso en condiciones de elevada humedad del suelo. Este rango de temperaturas es el que se considera adecuado para completar las necesidades de frío de los árboles. La temperatura del suelo podría ser un factor que también tuviese un efecto relevante en este proceso. El presente proyecto se plantea como hipótesis de partida que la falta de frío invernal podría estar compensada por periodos de estrés hídrico y que la refrigeración del suelo podría mejorar esta respuesta. El ensayo se desarrolló en una cámara de cultivo en el que los árboles estuvieron en condiciones que no favorecen la floración. Se realizaron 3 tratamientos: Control frío, árboles bien regados en los que se refrigeró el suelo; Estrés frío, árboles con estrés hídrico y el suelo refrigerado; y Estrés, árboles con el suelo a temperatura ambiente que estuvieron sometidos a condiciones de estrés. Los árboles control con frío presentaron valores más elevados de inflorescencias en las distintas fechas tomadas, destacó sobre todo la segunda, donde la diferencia de estos olivos con respecto a los otros fueron muy elevadas. No hubo una respuesta a los tratamientos empleados según la hipótesis propuesta ya que esta floración tuvo lugar antes de eliminar los tratamientos de sequía y refrigeración del suelo.

2. Introducción:

El olivo (*Olea europea L.*), nace a partir de la domesticación del *Olea europea var. Sylvestris* (Acebuche), que tiene su origen en la cordillera del Cáucaso, siendo más exactos en las zonas de Palestina, Irán y Siria. Su expansión comienza con los fenicios, por las zonas de Europa Oriental y se expande posteriormente por el norte de África, Sicilia, sur de Italia y la Península Ibérica, a través del comercio marítimo. En la época romana, el cultivo sufre su mayor expansión en el imperio romano, donde destacó el comercio de aceite de la Bética. En Hispania, fueron los árabes los que impulsaron su cultivo.

En el Área Mediterránea, el olivar ha sido y es el sistema agrícola productor de aceite por excelencia. Su antigüedad y tradición han configurado una tecnología esencialmente empírica en la que la adaptación de la planta a la sequía estival, la longevidad de la especie, la ocupación progresiva de suelos marginales y frágiles, la fuerte concentración de la demanda laboral durante la recolección, la irregularidad de la cosecha anual, la baja productividad y la obtención de un producto apreciado se cuentan entre sus características distintivas. Por tanto, actualmente, la investigación y la experimentación son pilares fundamentales en el progreso tecnológico del olivar, pudiendo ser mayor que en otros sistemas agrícolas.

2.1. Distribución geográfica del olivo:

El olivo se concentra en regiones climáticas de tipo Mediterráneo, ubicadas entre los 30° y 40° de latitud en ambos hemisferios. Está presente en más de 40 países y ocupaba, en 2014, 10,3 millones de hectáreas en todo el mundo (FAO, 2016). Cerca del 98% de la superficie de olivar, se encuentra en países de la Cuenca Mediterránea, el resto están repartidos entre América, Asia y Oceanía. En la Figura 1 se muestra el porcentaje de la superficie cultivada por países en la cuenca mediterránea. Los países con mayor superficie son España y Túnez, seguidos por Italia. El “resto” está formado por países como Albania, Chipre, Croacia, Egipto, Eslovenia, Francia, Israel, Líbano y Malta.

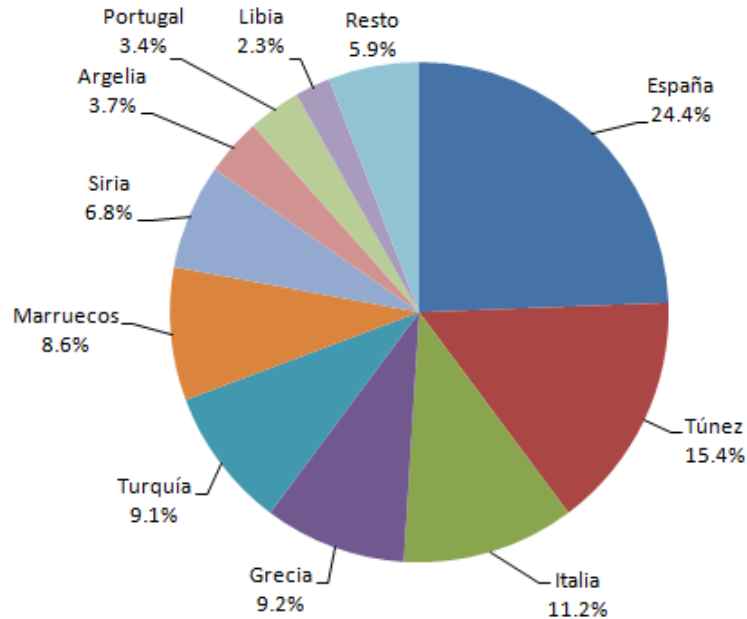


Figura 1. Superficie de olivar en el Mundo. Principales países productores. Fuente: FAOSTAT, 2016.

Destaca sobre todo el cultivo en secano del olivo, aunque también se realiza la aplicación de riego en este tipo de cultivos. La producción media anual del olivar alcanza los 16 millones de toneladas de aceitunas, repartidas, un 90% para aceite y un 10% para aceituna de mesa (FAO; 2016). España es el principal país con mayor superficie del mundo dedicada al olivo, donde existen alrededor de 2,5 millones de hectáreas repartidas por todo el territorio. Dentro de nuestro país destacan las comunidades autónomas de Andalucía, con el 62% de la superficie olivarera española, Castilla La-Mancha y Extremadura.

2.2. Ciclo vegetativo y reproductivo:

El olivo es un cultivo que muestra un ciclo bienal el desarrollo fructífero se produce en dos ciclos anuales, las yemas que darán lugar a los frutos de este año se desarrollan en los brotes del año anterior (Figura 2). El inicio de la brotación como el crecimiento de los mismos depende de las temperaturas y la disponibilidad de agua.

El crecimiento vegetativo comienza al principio de primavera, y dura hasta mediados de verano, aunque los brotes se siguen desarrollando hasta final de año, pero de forma continua sin tener picos de desarrollo. Puede darse el caso de que exista un segundo ciclo entre septiembre y mitad de octubre del mismo año, que recibe el nombre de crecimiento post-estival. Este segundo ciclo está condicionado sobretodo en secano por

las lluvias a principio de otoño, y tanto en secano como regadío porque el árbol se puede encontrar en carga o descarga de la producción. En el caso de los cultivos en regadío, además de que existe un mayor crecimiento de los brotes, se produce un mayor número de los mismos, obteniendo árboles más grandes y frondosos, por lo que adquieren una mayor capacidad productiva al producir más inflorescencias y mayor número de frutos.

Tras el crecimiento de los brotes durante el año “n” principalmente en primavera, comienza una época de reposo aproximadamente desde noviembre hasta marzo. Es en el crecimiento del año “n+1” donde saldrán las inflorescencias del año “n” (Imagen 1). En esta época es donde se completa la inducción floral y comienza la acumulación de frío necesaria para el desarrollo de las inflorescencias. El crecimiento y desarrollo de inflorescencias comienza aproximadamente a final del invierno. El régimen de temperaturas afecta al momento y la rapidez en la floración. El régimen de temperaturas es un factor determinante de la fecha floración, ya que las temperaturas elevadas de marzo y abril adelantan la floración, en cambio, si la temperatura son bajas se prolongará este proceso. El desarrollo floral tiene lugar en los 20 días que preceden a la floración. Tras la fecundación de uno de los óvulos, de los cuatro que existen en el ovario de la flor, comienza el crecimiento del fruto, al comenzar este proceso se incrementa la demanda de asimilados, que origina una competencia entre los frutos, traduciéndose en una caída de los frutos más jóvenes y ovarios no fecundados, este periodo de caída comienza tan pronto como inician el crecimiento los primeros frutos, y se prolonga 6-7 semanas después de la floración, en nuestras condiciones habitualmente a principio del verano. Unos 40 días después de plena floración, se establece la población definitiva de frutos, que siguen creciendo hasta la maduración (Pastor Muñoz-Cobo, 2005).

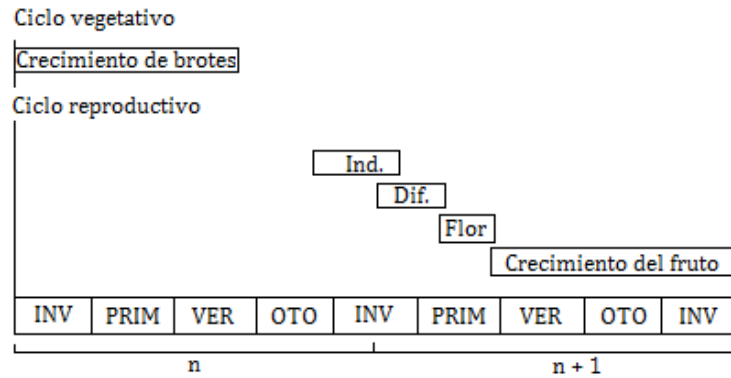


Figura 2. Ciclo bienal del olivar. Las fechas son aproximadas. Dif: diferenciación floral. Flor: floración. Fuente: Rallo L. 2017. El cultivo del olivo. Fructificación y producción, pp: 154.



Imagen 1. Inflorescencias de los árboles del ensayo en cámara.

2.3. Temperatura:

El olivo es capaz de resistir temperaturas de hasta -10°C cuando está en estado de reposo invernal. Según Hartman (1953), la floración y la fructificación guardan relación con el número de horas frío que pasa el olivo. El número de horas frío requerido para una floración máxima varía con la variedad (Hartmann y Porlingis, 1957). De acuerdo con Larcher (2000), la temperatura que causa el 50% de daños de los olivos es de -12°C para las hojas y yemas, -16°C para el cambium de ramos y xilema y -6°C para las raíces.

El nivel de daños ocasionados por las heladas depende de muchos factores, como son:

- Tamaño del árbol y exposición de los órganos.
- Aclimatación.
- Duración de la exposición.

Sin embargo, también las temperaturas de “chilling” (entre 0° a 10°C) tienen efecto en la fisiología de la planta. Aproximadamente por debajo de 10°C se produce una deshidratación de los árboles (Pavel y Fereres, 1998) aunque este proceso varía en su umbral según los cultivares considerados (Pérez-López et al., 2010).

La exposición a temperaturas frías durante el reposo invernal es muy importante para la brotación de las inflorescencias, sin que sean éstas excesivas. La temperatura requerida se encuentra entre 0 y 15 °C con el máximo en 7°C (Villalobos, 2017.). Aparentemente no hay acumulación de horas-frío cuando existen temperaturas mínimas de 12°C, por tanto, el intervalo propuesto antes debería ser menor (Villalobos, 2017.). La máxima acumulación de horas frío en olivo se ha descrito que ocurre cuando se alcanza una temperatura mínima de 4°C, aunque el rango es de 100-500 horas (Villalobos, 2017.). Cuando nos encontramos con temperatura entre 8 y 12 °C la acumulación de frío puede ser nula o considerable dependiendo de la temperatura máxima.

Por tanto, en zonas de climas tropicales los olivos no florecen y en zonas subtropicales la floración es irregular debido a sus inviernos templados. Sin embargo, existen indicios de que el déficit hídrico puede sustituir, al menos en parte, el requerimiento de frío (Castillo-Llanque et al 2014). Este efecto del déficit hídrico podría estar asociado al efecto de deshidratación producido por las temperaturas de “chilling”.



Imagen 2. Aplicación de agua en el ensayo realizado.

2.4. Características de la variedad ‘Arbequina’:

La variedad empleada en este ensayo es ‘Arbequina’ (Imagen 3), ya que proviene de la localidad de Arbeca (Lérida) y, constituye la masa de olivar en las provincias de Lérida y gran parte de Tarragona, extendiéndose también en Zaragoza y Huesca. En la actualidad es una de las variedades más cultivadas a nivel nacional ya que es de las pocas que puede emplearse en sistemas superintensivos. La hoja es acanalada y algo ensanchada por el ápice con el haz de color verde ocre y el envés gris amarillo-verdoso. Tiene un fruto muy pequeño, ovalado y corto, de color verde oscuro, y una vez maduro, negro con mucha pruina. Su vigor reducido permite su utilización en plantaciones intensivas y superintensivas, aunque el pequeño tamaño de sus frutos dificulta su recolección mecanizada por vibración.

En las condiciones adecuadas es una variedad muy productiva, con una capacidad de enraizamiento elevada y que se desarrolla bien en terrenos pobres. Es muy apreciada por su precoz entrada en producción, elevada productividad, buen rendimiento graso y excelente calidad de aceite y gran cantidad del mismo. Aunque su aceite presenta una baja estabilidad es la variedad empleada en aceites de renombre como los de Borjas Blancas y, en general, los de la zona de la ‘Arbequina’.

En Andalucía, desde hace unos años, se están haciendo numerosas plantaciones de ‘Arbequina’, mostrando que la variedad tiene un buen comportamiento con

producciones y rendimientos similares a las variedades de la región, por lo que, se podría mejorar la calidad de los aceites, usando el de esta variedad en mezclas.

Es una variedad considerada resistente al frío y susceptible a la clorosis férrica en terrenos muy calizos. Aunque, por el contrario, se le atribuye cierta tolerancia a ‘repilo’ y ‘tuberculosis’, y es sensible a la ‘mosca’ y medianamente sensible a ‘verticilosis’.



Imagen 3. Olivos del ensayo antes de introducirlos en cámara. Variedad: Arbequina.

3. Objetivos:

La hipótesis que se plantea en este ensayo es que tanto el enfriamiento del suelo como el estrés hídrico pueden dar lugar a floración en condiciones donde esta no se produce.

Los objetivos que se plantean en el trabajo teniendo en cuenta esta hipótesis son:

- Observar cómo afectan las condiciones de estrés hídrico a la floración del olivo en condiciones en los que la planta no florece.
- Comprobar cómo afecta la aplicación de frío en el suelo a la floración de los olivos en condiciones en los que la planta no florece.
- Estudiar la respuesta fisiológica de la planta a temperaturas de suelo bajas.
- Comprobar si existe un efecto combinado del estrés y la refrigeración del suelo en el proceso de floración.

4. Material y método:

El trabajo se realizó en una cámara de cultivo en la ETSIA de la Universidad de Sevilla con 18 árboles de olivo (*Olea europea* L) del cv Arbequina de 5 años de edad que se encontraban en macetas de 10 L. La variedad “Arbequina”, considerada resistente al frío y susceptible a la clorosis férrica. Es muy apreciada por su precoz entrada en producción, elevada productividad, buen rendimiento graso y excelente calidad de aceite, aunque presente baja estabilidad (Barrancos et al, 2017). Estos árboles estaban en condiciones de exterior hasta el día 10 de octubre que se introdujeron en la cámara. Antes de su introducción en la cámara los árboles fueron podados y trasplantados de macetas de 5 L a las de 10 L donde se realizaría el experimento. Aprovechando el trasplante se realizó un montaje para realizar el enfriamiento del suelo, se introdujeron una tubería de polietileno que rodeaba el cepellón a lo largo de toda la profundidad de la maceta sacando a la superficie los dos terminales (Imagen 4).



Imagen 4. Olivos de 4 años en macetas de 10 litro, se encuentran en campo antes de su traslado a la cámara de cultivo.

Descripción de los tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental fue totalmente aleatorizado con 3 tratamientos cada uno con 6 repeticiones. Los tratamientos empleados fueron:

- Tratamiento control frío (CF). Árboles que estuvieron en condiciones adecuadas de riego sin estrés hídrico pero a los que se enfrió el suelo. Inicialmente el

objetivo era que el suelo estuviese a 5°C y a partir de ese momento comenzar con el tratamiento de estrés hídrico. Como se describe más abajo el sistema de enfriamiento no fue capaz de llegar a esos niveles por lo que el tratamiento de estrés se inició con los niveles obtenidos, alrededor de 15°C de temperatura media. El suelo fue enfriado del 23 de noviembre al 17 de abril.

- Tratamiento estrés frío (EF). Árboles sometidos a las mismas temperaturas de suelo que el anterior pero a los que se sometieron a condiciones de estrés hídrico. Antes del comienzo del experimento se realizó una pesada de las macetas a saturación para estimar el consumo medio en la cámara que resultó ser de unos 0.4 L/día. Los árboles control se regaron con 4 L/maceta dos veces en semana. El nivel de estrés hídrico se intentó mantener mediante riego diferencial alrededor de los -3 MPa de potencial hídrico. El estrés hídrico se llevó a cabo desde el día 9 de enero hasta el 17 de abril.
- Tratamiento estrés (E). La maceta está en condiciones ambiente de la cámara pero sometidas a estrés hídrico en el mismo periodo que el tratamiento anterior.

Las condiciones ambientales a las que estuvieron sometidos los árboles dentro de la cámara fueron variando según el momento del experimento (Tabla 1). Al comienzo del ensayo, 10 de Octubre de 2016, cuando trasladamos los árboles a la cámara se les aplicaba día largo con fotoperiodo de 13 horas y una temperatura de 25°C/20°C día/noche. La iluminación en la cámara se realizaba mediante tubos fluorescentes que estaban a una altura aproximada de 1.80 metros. La altura de los árboles, desde la base de la maceta a la copa, cuando fueron introducidos en la cámara, era aproximadamente de 1.50 metros.

El día 24 de octubre de 2016 se cambian las condiciones de la cámara a día corto, donde se aplicaban fotoperiodos de 10 horas con las mismas temperaturas de 25°C/20°C día/noche. El montaje de enfriamiento del suelo que se describe más abajo se realiza el día 22 de noviembre y a partir del 23 de noviembre comenzamos con el tratamiento de frío, donde mantuvimos el mismo fotoperiodo de 10 horas pero se cambio las temperatura a 21°C/18°C día/noche. Esta disminución de temperatura se llevó a cabo para facilitar el enfriamiento del suelo, en ningún caso se llegó a temperaturas en la

cámara que, teóricamente, permiten la acumulación de horas frío. Estas condiciones se cambiaron el día 17 de abril de 2017, donde realizamos la rehidratación de los árboles, se eliminó el sistema de refrigeración y cambiamos a día largo, con un fotoperiodo de 13 hora y la temperatura de la cámara a 27°C/20°C día/noche. El 3 de mayo de 2017 se volvió a cambiar la temperatura de la cámara a 25°C/20°C día/noche. Finalmente, el 19 de mayo de 2017 se sacaron los árboles de la cámara.

Tabla 1. Esquema de los cambios de la cámara a lo largo del ensayo.

Fecha	Cambios	Fotoperiodo	Temperatura
10 Octubre 2016	Entrada en cámara	Día largo (13 h/11 h)	20-25°C
24 Octubre 2016	Cambio fotoperiodo	Día corto (10 h/14 h)	20-25°C
23 Noviembre 2016	Inicio tratamiento frío	Día corto (10 h/14 h)	18-21°C
9 Enero 2017	Inicio tratamiento estrés	Día corto (10 h/14 h)	18-21°C
17 Abril 2017	Rehidratación	Día largo (13 h/11 h)	20-27°C
3 Mayo 2017	Cambio temperatura	Día largo (13 h/11 h)	20-25°C
19 Mayo 2017	Salida al exterior	Día largo	Ambiente

Sistema de enfriamiento del suelo

El sistema de enfriamiento de suelo (Imagen 5) consiste en un baño de líquido anticongelante que se hacía circular a través de las tuberías de polietileno. Todos los árboles de los tratamientos control frío y estrés frío fueron conectados mediante tuberías de polietileno con el baño de anticongelante (imagen 6). El líquido anticongelante era bombeado por dos bombas de acuario cada una hacia un grupo macetas, el líquido atravesaba el sistema y volvía al baño para ser enfriado.

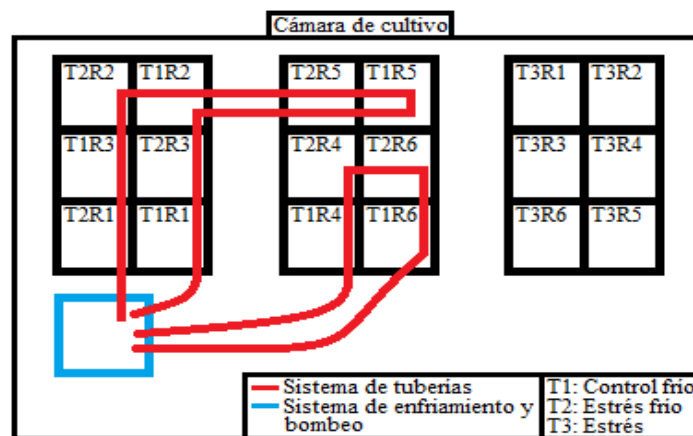


Imagen 5. Esquema representativo del montaje del sistema de enfriamiento y tuberías.



Imagen 6. Sistema de tubería empleado para el transporte del anticongelante.

Todo el sistema estaba controlado por un dispositivo electrónico diseñado y programado mediante Arduino por el Profesor Pérez-López de la Universidad Politécnica de Madrid (Imagen 7). Este dispositivo registraba la temperatura de 3 macetas y en función de ello controlaba la temperatura del baño, mediante la activación de dos enfriadores, y se realizaba la circulación del líquido anticongelante (Imagen 8). Como la temperatura de suelo no llegó a los 5°C la circulación fue continua en todo momento.

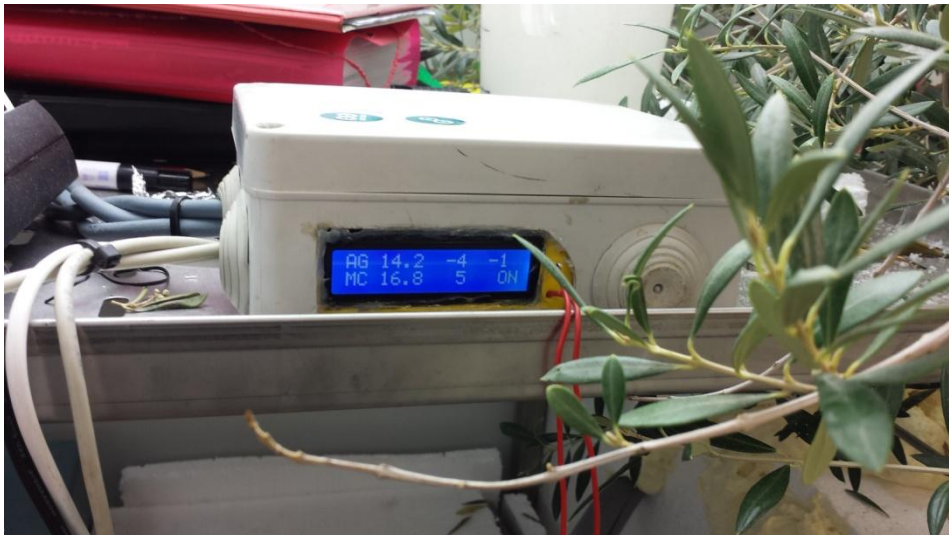


Imagen 7. Arduino.



Imagen 8. Detalle del sistema empleado para enfriar el suelo. Bañera con el líquido anticongelante y dos enfriadores.

Al comprobar que la temperatura del suelo no disminuía se rodearon las macetas de poliespán para asegurar un mayor aislamiento (Imagen 9), se regaba con agua a 5°C y se introducían bloques de riego a -80°C, 2 veces en semana. Esta estructura impedía comprobar cómo estaba el suelo por lo que al final del periodo de frío se comprobó que los árboles control estaban muy encharcados y se decidió dejar unos días sin riego.



Imagen 9. Estructura creada en la base de los olivos para mantener la temperatura baja en el suelo de la maceta.

Medidas realizadas

La temperatura de suelo se registró con termistores (107, Campbell Sci) que se pusieron en vertical en la superficie del cultivo por lo que cada termistor integraba la temperatura de los primeros 20 cm aproximadamente de suelo. La temperatura fue medida solo en 3

macetas por tratamiento con medidas cada minuto y medias horarias que eran almacenadas en un adquiridor de datos (CR 1000, Campbell Sci). Estos termistores no eran los empleados para el control del baño de refrigeración.

Las relaciones hídricas de los árboles se llevaron a cabo con medidas de potencial hídrico y conductancia foliar. El potencial hídrico se medía en hoja, cubierta una hora antes con papel de aluminio, con una Cámara de presión tipo Scholander (PMS 100) (imagen 10), dando una medida de la presión hidrostática negativa que se produce en el xilema de una planta intacta debido a la evaporación de agua desde el suelo hasta el tejido. La hora de medida era, aproximadamente, a la mitad del periodo de luz, realizando una medida por maceta.



Imagen 10. Cámara de Scholander usada para medir el potencial.

La medida de conductancia foliar se realizó con un porómetro (Decagón) con medidas en el envés de hojas adultas bien iluminadas. La medida se realizaba de forma simultánea a la de potencial hídrico y también en una hoja por maceta.

Las medidas de desarrollo vegetativo se llevaron a cabo en 4 brotes por maceta en todas las macetas de cada tratamiento que se marcaron al inicio del experimento. Se realizó una marca a unos 2 cm del brote con mastic y periódicamente se llevo a cabo una medida de longitud del brote desde esta marca al ápice. El parámetro que se consideró fue el de expansión, es decir, crecimiento a partir del primer dato de medida. Al final del experimento, antes de sacar las plantas al exterior, los brotes fueron muestreados

midiéndose el área foliar total con una medidor de área foliar (LICOR) y contando el número de hojas.



Imagen 11. Etiquetas y ramos marcados. En cada una de las etiquetas se muestra además la nomenclatura de los olivos.

La hipótesis inicial del experimento suponía la aparición de inflorescencias al final del ensayo una vez realizada la rehidratación y calentamiento del suelo. Sin embargo, el 8 de febrero unos 2 meses y medio después de iniciar el tratamiento de frío se detectaron inflorescencias en la mayor parte de los árboles de todos los tratamientos. Se realizaron conteos el 13 de febrero y el 13 de marzo, sin evaluar la fenología del desarrollo floral. Suponiendo que podrían inhibir la respuesta a los tratamientos, las inflorescencias se eliminaron el día 13 de marzo. Se volvió a realizar un conteo al final del experimento, 19 de mayo, cuando de nuevo se detectaron inflorescencias. Finalmente se realizó un conteo el día 21 de junio, ya en condiciones de exterior.

Todos los datos se recogieron en tablas de Excel, de las cuales se realizaron sus medias y los errores estándar de cada uno de los datos. Y la representación en gráficos de los datos, que se acompañaban de un análisis estadístico realizado con Statistic, con un análisis de la varianza y una separación de medias usando el test de Turkey.

5. Resultados y discusión:

Condiciones de temperatura

Los árboles estaban en exterior antes de realizar el experimento. La Figura 3 muestra la temperatura desde el 1 de julio hasta el 10 de octubre, fecha en la que se introducen en la cámara de cultivo.

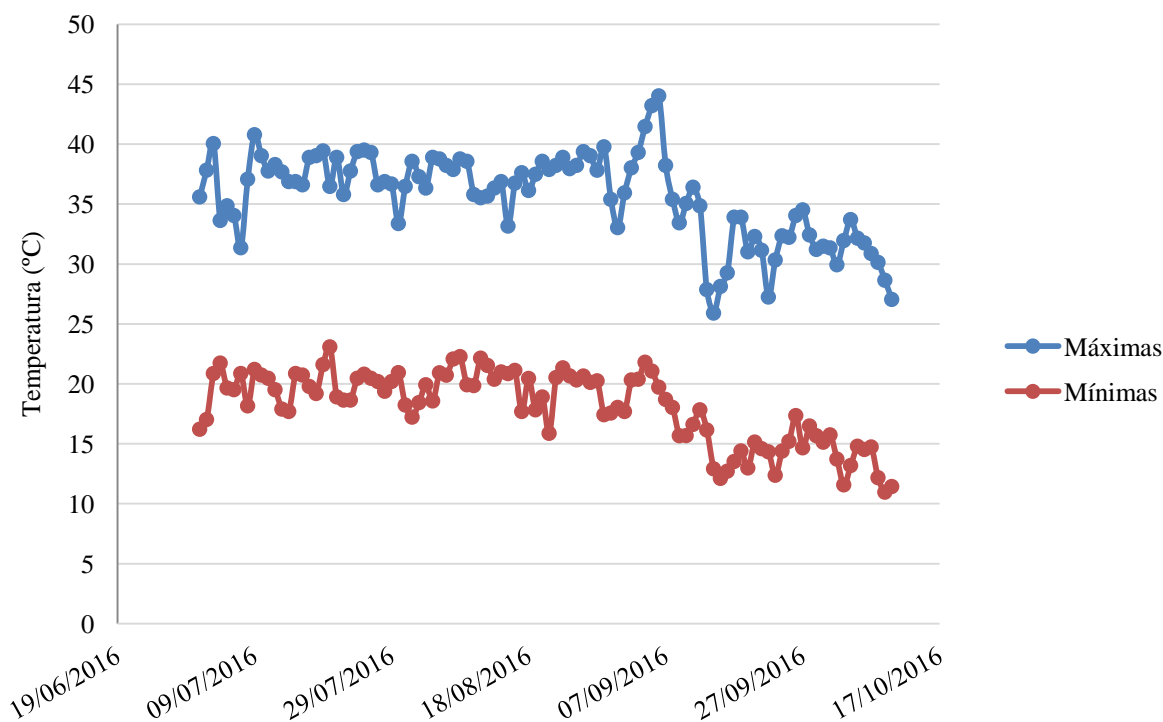


Figura 3. Evolución de la temperatura máxima y mínima a lo largo del experimento. Los datos corresponden a la estación climatológica del IFAPA Las Torres.

Las temperaturas fueron muy similares del 1 de julio hasta mediados de septiembre con máximas habitualmente entre 35 y 40 °C y mínimas en torno a 20°C. A partir de la segunda quincena de septiembre hubo un descenso claro pasando las máximas a ser más variables pero inferiores a los 30°C con algunos días cercanos a los 25°C. Las mínimas también cayeron de forma paralela incluso por debajo de 15°C pero en ningún caso por debajo de 10°C. El periodo en el que las mínimas estuvieron por debajo de 15°C va desde el 15 de septiembre hasta el 10 de octubre.

El tratamiento de enfriamiento del suelo comenzó el día 24 de noviembre, anteriormente, como se describe en materiales y métodos, las plantas estuvieron en cámara de cultivo a 25/20° C (día/noche) de temperatura de aire, pasando a partir de esta

fecha a tener una temperatura de 21/18°C de temperatura del aire. La Figura 4 presenta las temperaturas medias horarias de suelo de los tratamientos, desde el 24 de noviembre hasta la salida de los árboles de la cámara el 19 de mayo de 2017.

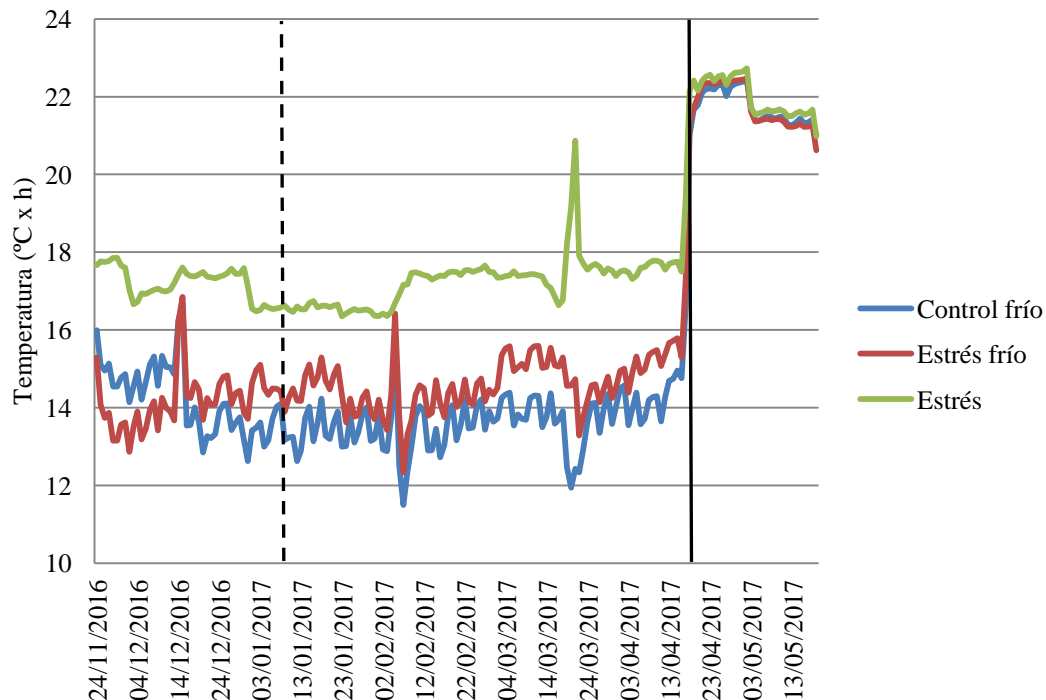


Figura 4. Evolución de la temperatura de suelo media diaria desde el comienzo del tratamiento en frío (23/11/2016) hasta la finalización del experimento (19/05/2017). Cada día es la media de 3 datos. La línea vertical discontinua indica el comienzo del tratamiento de estrés hídrico. La línea sólida de la derecha indica la fecha en la que se realizó la rehidratación. Las diferencias significativas comenzaron el día 15/12/2016 y continuaron hasta el 17/04/2017 ($p < 0.05$, Test de Tukey).

Las temperaturas de suelo oscilan poco entre días en todos los tratamientos. Hay diferencias significativas desde el 15 de diciembre hasta el 17 de abril donde los tratamientos de frío son inferiores al estresado. La temperatura en las macetas enfriadas estuvo alrededor de los 14 °C mientras que las de temperatura ambiente el suelo se mantuvo de 16 a 18°C. Se detectaron mínimas en el tratamiento Control-frío incluso inferiores a 12 °C y aunque no hay diferencias significativas, este tratamiento tendió a menores valores de temperatura de suelo que el tratamiento estresado-frío posiblemente porque era regado con una mayor cantidad de agua a 5°C. Una vez eliminado el sistema de enfriamiento todos los árboles tienden a una misma temperatura de suelo muy rápidamente. La temperatura es superior incluso a la que tenían los árboles no enfriados porque en el proceso de rehidratación la temperatura de la cámara se incrementó hasta 27/20 °C para promover la floración.

Agua aplicada y relaciones hídricas

La Figura 5 muestra la cantidad de agua añadida a cada tratamiento durante el experimento. La pendiente de subida de los árboles del tratamiento Control frío (CF) es constante ya que se regó en todo momento con la dosis estimada antes de comenzar los tratamientos.

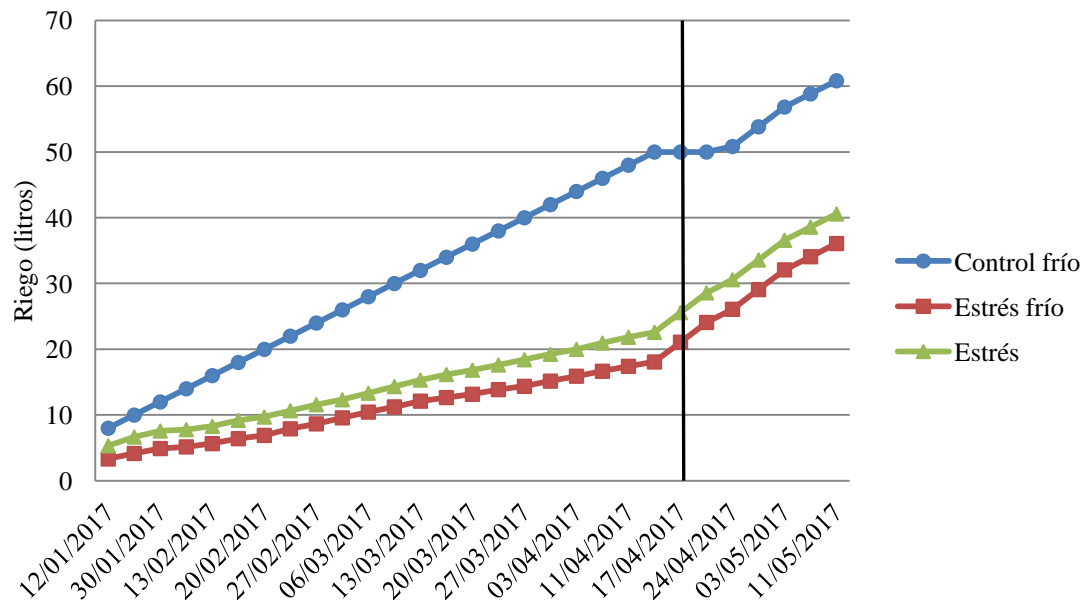


Figura 5. Cantidad de agua aplicada a los árboles a lo largo del tratamiento. Cada símbolo es la media de 6 datos. Se aplicaron dos riegos por semana. La línea vertical indica el momento en que se realizó la rehidratación.

El montaje realizado para enfriar el suelo impidió una estimación durante la fase de enfriamiento. Al finalizar los tratamientos y eliminar el montaje se comprobó que las macetas CF estaban saturadas de agua por lo que se mantuvo un periodo sin regar para evitar condiciones de asfixia radicular. Una vez que se consideró que se había consumido parte del agua se reanuda el riego a la misma tasa. En el caso de los tratamientos estresados la dosis se fue ajustando para intentar mantener unas condiciones de estrés moderadas en torno a unos -3 MPa de potencial hídrico. La cantidad de agua empelada en los dos tratamientos estresados (estrés frío (EF) y estrés (E)), fueron prácticamente idénticas sólo a partir de la segunda mitad del experimento se incrementó ligeramente el riego de los árboles estresados para compensar los mayores niveles de estrés medidos. Una vez finalizado los tratamientos a partir del día 17 de Abril el riego es igual que el de las plantas CF.

Las medidas realizadas del potencial hídrico aparecen representadas en la Figura 6. Los valores del tratamiento control frío (CF) tienden a ser casi constantes con valores ligeramente superiores a -1.0 MPa. A partir del 12 de enero se obtuvieron diferencias significativas entre los árboles CF y los dos tratamientos estresados.

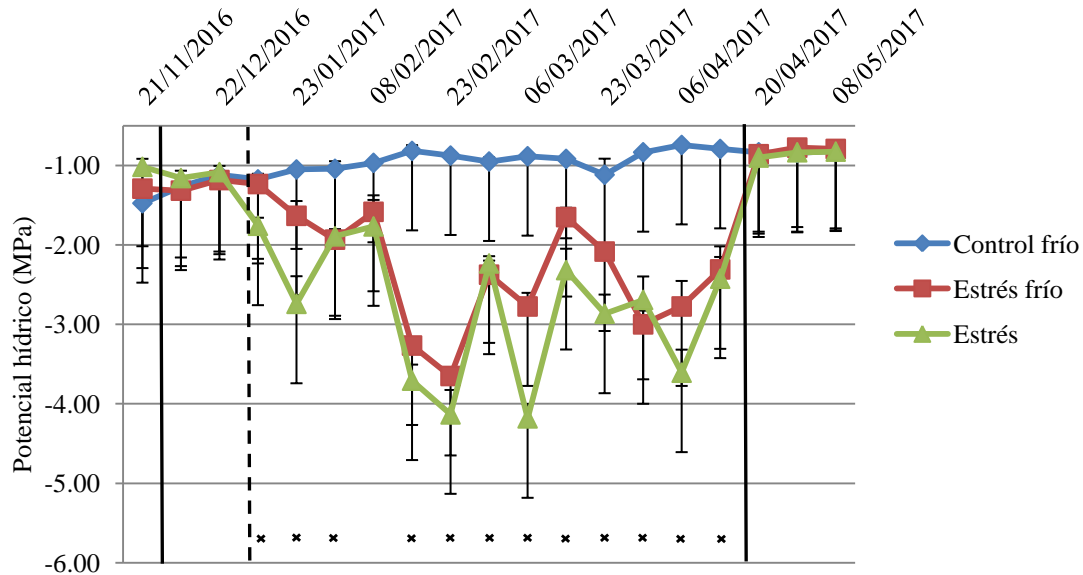


Figura 6. Evolución del potencial hídrico a lo largo del tratamiento. Cada símbolo es la media de 6 datos. La línea vertical sólida de la izquierda representa el comienzo del tratamiento de frío, mientras que la línea discontinua indica el comienzo del tratamiento de estrés hídrico. La línea sólida de la derecha indica la fecha en la que se realizó la rehidratación. Las barras verticales representan el error estándar. Las cruces hacen referencia a las diferencias significativas ($p < 0.05$, Test de Tukey).

Aunque se redujo de forma progresiva el riego en los tratamientos estresados estos llegaron a valores mínimos alrededor de -4 MPa a partir de finales de febrero. La evolución de ambos tratamientos con déficit en el riego fue similar aunque a partir de primeros de marzo el tratamientos estrés (E) tuvo valores de potencial significativamente menores que el tratamiento de estrés y frío (EF). El nivel de estrés obtenido fue superior al planteado a priori (aproximadamente -3 MPa) para evitar la defoliación de los árboles. Niveles de potencial hídrico por debajo de -3 MPa se consideran severos (Girón et al 2016) y dan lugar a defoliación que se ha relacionado con una menor capacidad de floración (López, 2016). A partir del 17 de abril, con el inicio de la rehidratación, hay una subida de potencial hídrico en los dos tratamientos estresados hasta valores similares al tratamiento CF tan solo 3 días después.

Los valores de conductancia, representados en la Figura 7, son valores muy similares a lo largo del experimento. Las diferencias significativas son aisladas y sólo en unas pocas fechas. Los tratamientos estresados tienden en la mayor parte del periodo en el que se aplicó la restricción de riego a valores inferiores al tratamiento CF, aunque sólo a partir de la última mitad del experimento esta tendencia es clara y sostenida.

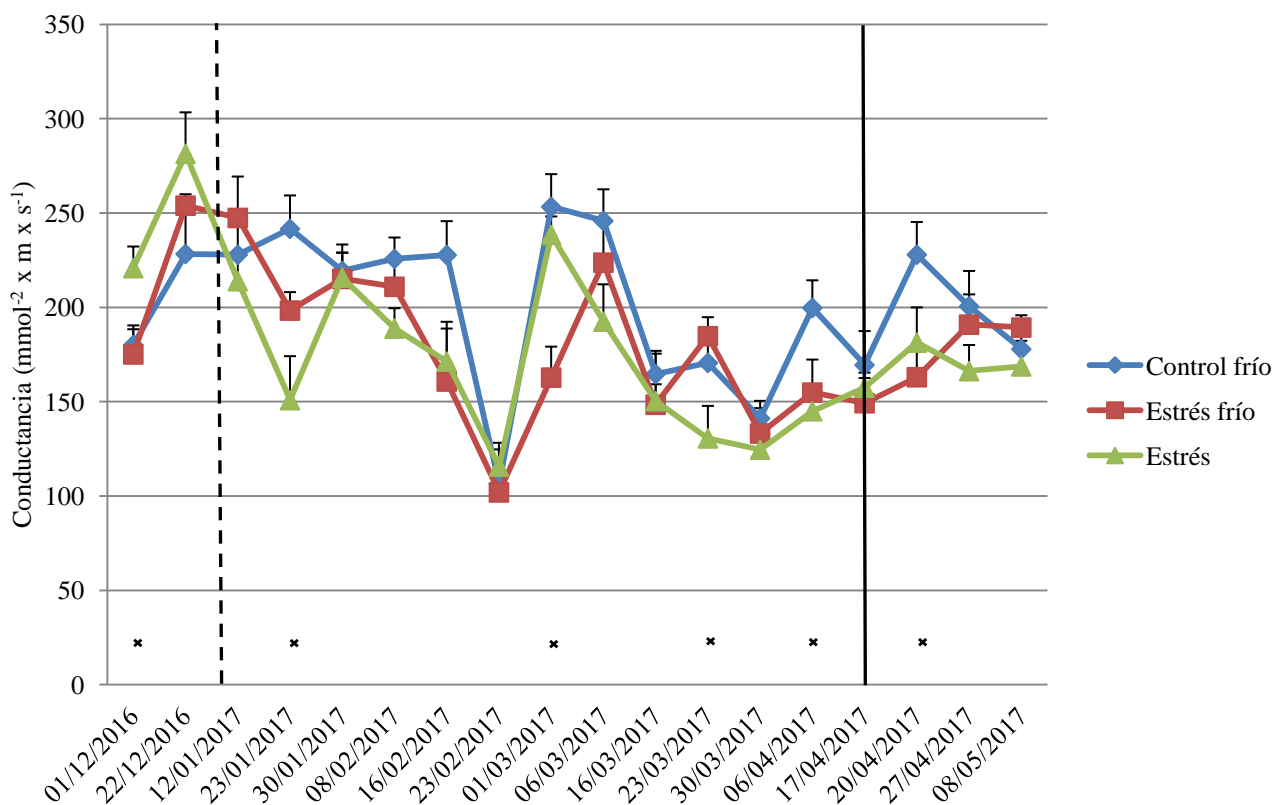


Figura 7. Evolución de la conductancia estomática a lo largo del tratamiento. Cada símbolo es la media de 6 datos. La línea discontinua indica el comienzo del tratamiento de estrés hídrico. La línea sólida de la derecha indica la fecha en la que se realizó la rehidratación. Las líneas verticales representan el error estándar. Las cruces hacen referencia a la fechas significativas ($p < 0,05$, Test de Tukey).

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos estresados, aunque en determinadas fechas el tratamiento de estrés y frío tiende a valores superiores al tratamiento estrés. Al final del experimento no hay diferencias significativas entre tratamientos pero se observa un claro retraso en la recuperación de este parámetro en ambos tratamientos estresados con valores que tienden a ser inferiores al control, incluso de forma significativa, a partir de la fecha de rehidratación. El retraso en la afección y recuperación de la conductancia estomática está documentado en la bibliografía (Moriani et al., 2002). Este retraso en la recuperación en los periodos de

rehidratación se ha asociado a que el riego no se ha producido en un volumen de suelo suficientemente grande (Pérez- López et al., 2008).

Desarrollo vegetativo y reproductivo

La evolución de la longitud de los ramos, representada en la Figura 8, muestra un desarrollo similar en la representación a lo largo del año. Cabe destacar ciertas diferencias significativas a la mitad del experimento, teniendo una mayor longitud de ramos los tratamientos estresados con agua a temperatura ambiente. Tras la fecha en la que se suprimen los tratamientos todos los árboles comienzan a volver a crecer con una tasa muy similar entre ellos, por lo que se mantienen las diferencias que se obtuvieron a lo largo del experimento. La reanudación del crecimiento se retrasó 1 semana en los dos tratamientos estresados respecto al tratamiento Control. El crecimiento vegetativo es el proceso más sensible en la fisiología vegetal, en olivo se han descrito experimentos en los que se puede ver afectado sin que lo esté el potencial hídrico (Moriani y Fereres, 2002; Pérez-López et al., 2007). Estos resultados explican la reducción tan severa en el crecimiento de los dos tratamientos estresados, sin embargo no explica los resultados del tratamiento Control. Tanto el estado hídrico de los árboles Control (Figura 2) como las condiciones ambientales de temperatura en la cámara no están relacionadas con esta respuesta. Es más, el tratamiento que recibió condiciones de estrés y frío en raíces ve limitado su crecimiento antes que el que no tuvo ninguna bajada de temperatura en el sistema radicular. Estos datos sugieren que la disminución de la temperatura en las raíces dio lugar a una parada del crecimiento aéreo aunque las condiciones eran adecuadas para seguir creciendo. Por el contrario, la recuperación, aparentemente, sí estuvo más relacionada con el tratamiento de estrés que con el de bajas temperaturas ya que el tratamiento Control se adelantó al resto. El retraso de los tratamientos estresados está probablemente relacionado con el retraso en el intercambio gaseoso descrito en la figura anterior (Figura 7).

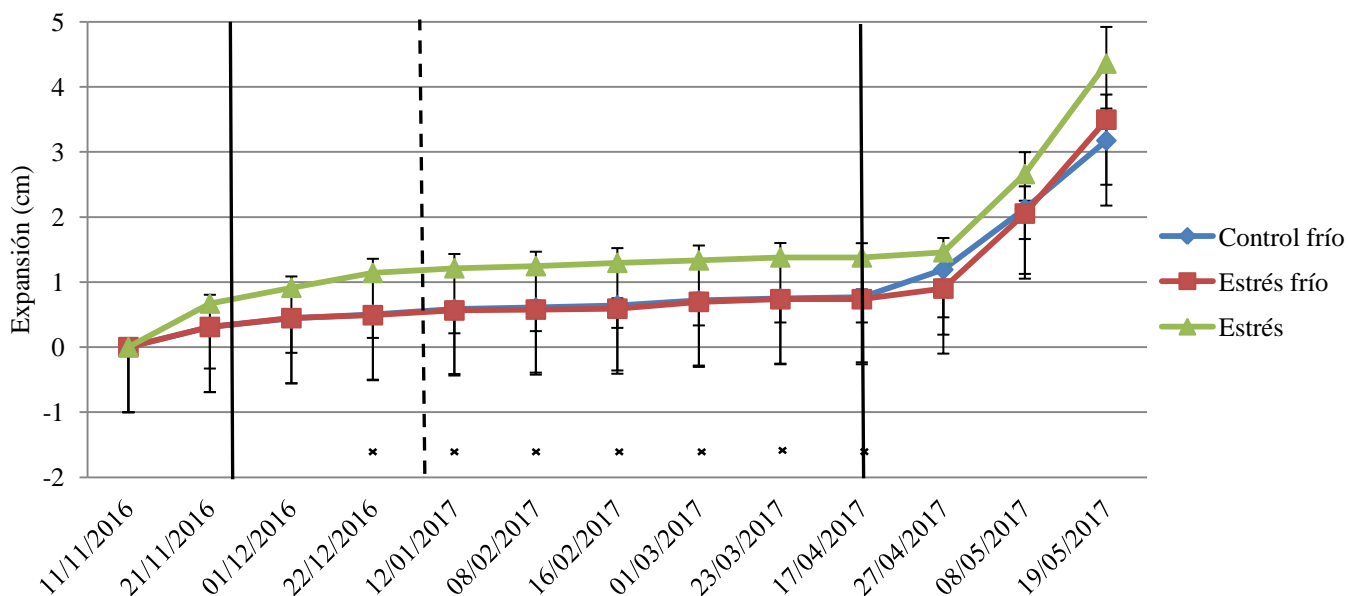


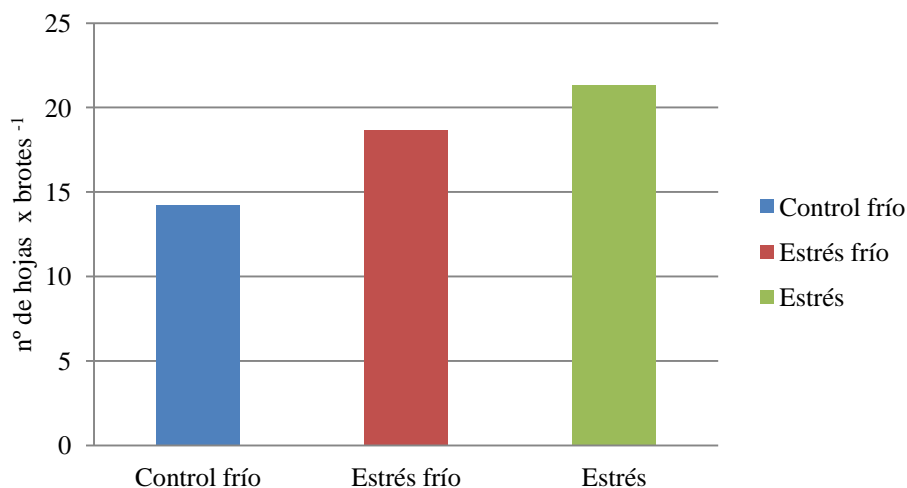
Figura 8. Crecimiento de ramos a lo largo del tratamiento. Cada símbolo es la media de 24 datos. La línea vertical sólida de la izquierda representa el comienzo del tratamiento de frío, mientras que la línea discontinua indica el comienzo del tratamiento de estrés hídrico. La línea sólida de la derecha indica la fecha en la que se realizó la rehidratación. Las líneas verticales representan el error estándar. Las cruces hacen referencia a las fechas significativas ($p < 0.05$, Test de Tukey).

La representación de la Figura 9 muestra un histograma donde se recoge la cantidad de hojas y el área foliar total en los ramos marcados al final del experimento. En el número de hojas (Figura 9a) hubo diferencias significativas entre el tratamientos estrés y el Control-frío. El tratamiento Estrés-frío fue intermedio entre los dos anteriores y sin diferencias significativas entre ellos. El tratamiento estresado presentó zonas de defoliación en la parte inferior de la copa (datos no mostrados). Sin embargo, el área foliar por brote (Figura 9b) no presentó diferencias significativas entre los distintos tratamientos aunque tiene la misma tendencia que el número de hojas, con un valor claramente superior en los árboles estresados. El cociente entre ambas medidas nos daría el valor medio del área foliar individual que en todos los tratamientos está en torno a 2.1 cm^2 por hoja (datos no mostrados).

Estos datos van en la misma dirección que los ya explicados de la expansión del brote (Figura 8) y sugieren que el efecto del frío en el suelo estuvo relacionado con la parada en la elongación y no en el tamaño de la hoja. Los resultados de desarrollo vegetativo sugieren que la temperatura en el suelo, incluso a valores tan altos como los aquí

presentados, fue capaz de inducir una parada vegetativa en el árbol. Estas condiciones podrían asimilarse a la denominada "ecolatencia" cuando la planta en condiciones de campo no presenta un desarrollo de las yemas solamente por una limitación de temperatura ambiental.

a.



b.

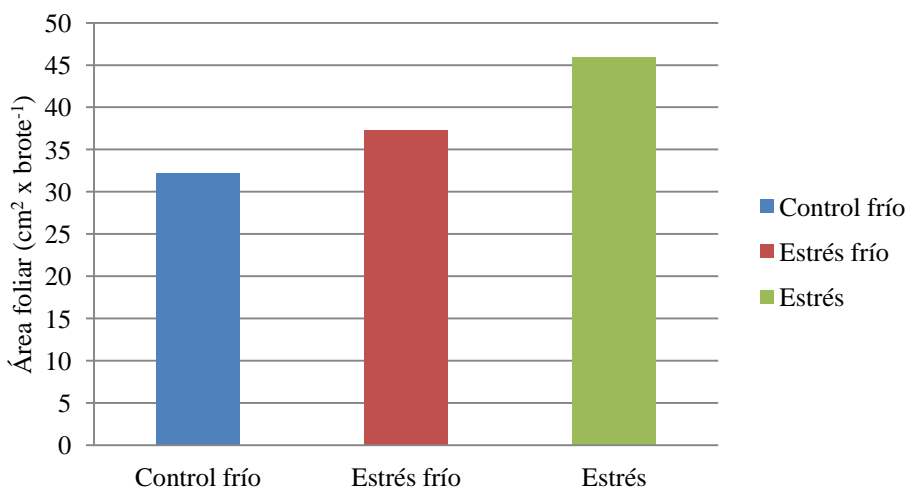


Figura 9. Número de hojas (a) y área foliar (b) de los cuatro ramos seleccionados de cada árbol. Cada símbolo es la media de 24 datos.

La hipótesis que manejábamos en el experimento era que la floración no tendría lugar hasta eliminar los tratamientos de frío y estrés hídrico. Sin embargo, el 8 de febrero, aproximadamente 2 meses y medio después de comenzar el enfriamiento del suelo y 1 mes después del periodo de estrés, se detectó la aparición de inflorescencias (Imágenes 12 y 13).



Imagen 12. Inflorescencias cerradas de tratamiento control.



Imagen 13. Inflorescencias abiertas de tratamiento control.

Se realizaron 4 fechas de conteo (Figura 10) 13 de febrero, 13 de marzo (en la que se eliminaron todas las inflorescencias presentes), 19 de mayo (justo antes de dar por finalizado el experimento en la cámara) y el 21 de junio (con los árboles en condiciones de exterior desde el día 19 de mayo). En todas las fechas los árboles CF tendieron claramente a un mayor número de inflorescencias aunque sólo fueron significativas las diferencias en el muestreo realizado el 13 de marzo.

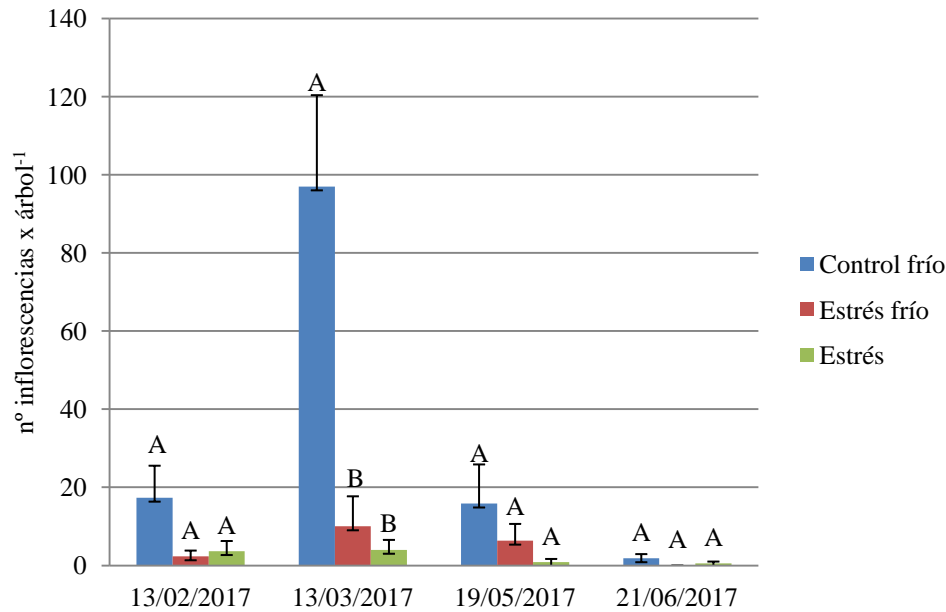


Figura 10. Número de inflorescencias por árbol a lo largo del tratamiento. Las inflorescencias fueron eliminadas el día 13 de Marzo. Cada barra es la media de 6 datos. Las líneas verticales indican el error estándar. Las letras indican las diferencias significativas ($p < 0.05$, Test de Tukey).

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos estresados aunque en los muestreos del 13 de marzo y el 19 de mayo los árboles de EF tuvieron 10 y 6 inflorescencias respecto a 4 y 1 en los árboles E. Tanto en los árboles CF como en los EF hubo un incremento claro entre los muestreos del 13 de febrero al 13 de marzo pasando de 17 a 97 (en el tratamiento CF) y de 2 a 10 (en el tratamiento EF). La cantidad de inflorescencias en el tratamiento E, por el contrario, fue aproximadamente constante en las dos fechas con un valor medio alrededor de 4. En el muestreo del 13 de marzo todos los árboles CF tuvieron inflorescencias aunque la intensidad fue diferente, entre 13 y 158 por árbol. En ese mismo muestreo sólo 4 de 6 árboles EF (67%) y 2 de 6 (33%) en el tratamiento E presentó alguna inflorescencia. Estos resultados sugieren que todos los árboles recibieron algún estímulo que promovió la floración en la cámara pero que los tratamientos también influyeron en la intensidad.

Las inflorescencias fueron eliminadas el 13 de marzo con la intención de ver el efecto de la eliminación de tratamientos, frío y estrés, que se realizó el día 17 de Abril. El conteo de inflorescencias un mes después, el 19 de mayo, tuvo una intensidad similar al primero realizado, sin diferencias significativas pero con el tratamiento CF claramente por encima (unas 16 inflorescencias) del EF (6 inflorescencias) y sobre todo del E (con

una media de 0.8 inflorescencias). Tras este conteo los árboles se sacaron a condiciones de exterior. El conteo del día 21 de junio sólo había infrutescencias y se redujo de forma drástica en todos los árboles su número. Esta reducción es habitual por la caída que se produce por la competencia entre inflorescencias una vez que se produce la fecundación (Rallo, 1997). De nuevo aunque no hubo diferencias significativas el tratamiento CF con una media de 2 por árbol fue superior a los estresados con 0 y 0.5 inflorescencias por árbol en los tratamientos EF y E.

Relaciones entre la intensidad de floración y variables climatológicas y fisiológicas

La Figura 10 muestra como todos los tratamientos llegaron a florecer en la cámara de cultivo aunque con diferente intensidad que aparentemente estuvo menos relacionada con la temperatura que con el estado hídrico, ya que las plantas estresadas son las que presentaron menor número de inflorescencias (Figura 10). Sin embargo, teniendo en cuenta que en ensayos anteriores nunca se consiguió floración en la cámara con niveles de estrés parecidos a los del presente trabajo (López, 2016), esta floración podría ser el fruto de una interacción de varios factores. Las temperaturas mínimas a las que estuvieron sometidos los árboles antes de su entrada en la cámara no parece que sean lo suficiente duraderas para que hayan promovido la floración. Aunque se ha descrito los 12 °C como una temperatura en la que las plantas pueden acumular el frío necesario para florecer, temperaturas cercanas a este valor estuvieron muy restringidas, apenas 15 días y apenas unas pocas horas al día (Figura 3). No está claro, por lo tanto, cual fue la causa que promovió la floración incluso en algunos árboles cuyo suelo no estaba enfriado, aunque en este caso el nivel de floración fue casi nulo y no tuvo lugar en todos los árboles (Figura 10).

La Figura 10 muestra un proceso de floración que fue interrumpido el día 13 de marzo para intentar comprobar el efecto de la rehidratación y el calentamiento del suelo. Ya que el mayor nivel de floración tuvo lugar en esa fecha (13 de marzo), en las siguientes gráficas se presentarán datos que podrían estar relacionados sólo con este proceso de floración empelando para ellos los datos individuales de las macetas donde estaba monitorizada la temperatura. Para evaluar la temperatura como un efecto agregado dentro de la cámara se calculó la integral térmica a partir de los datos de la Figura 2 en tres momentos diferentes durante todo el experimento, hasta el día 8 de febrero, cuando se detectaron las primeras inflorescencias, y hasta el día 13 de marzo (Figura 11).

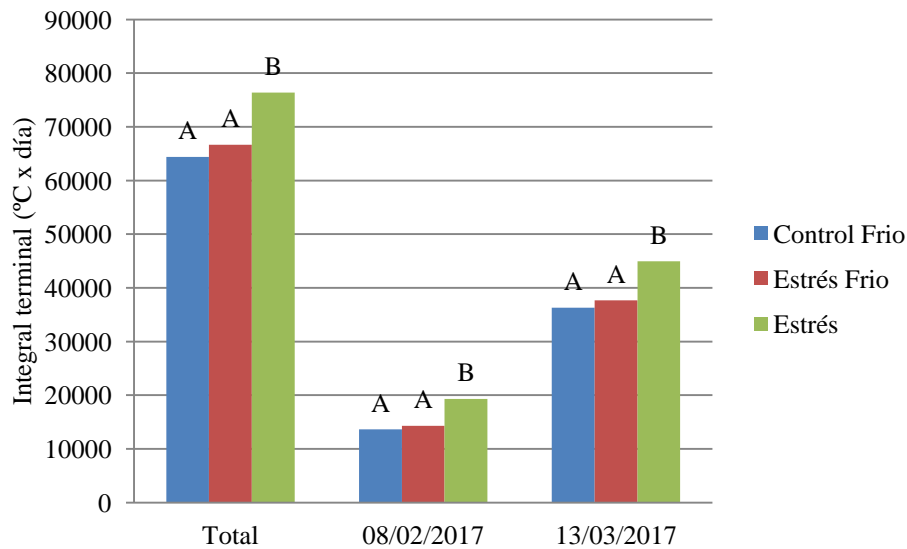


Figura 11. Integral térmica en el total del experimento, hasta el día 8 de febrero y hasta el día 13 de marzo. Cada barra es la media de 3 datos. Las letras indican las diferencias significativas en la misma fecha ($p < 0.05$, test Tukey).

La integral térmica total presentó diferencias significativas entre el tratamiento de estrés y los dos tratamientos en los que se enfrió el suelo (control frío y estrés frío) pero sin diferencias entre ellos, aunque el tratamiento control frío tuvo tendencia a un menor valor. La diferencia entre el tratamiento estrés y el control frío fue casi de un 18%. Este resultado indica que, a pesar de tener unas diferencias en temperaturas pequeñas, hubo un efecto agregado significativo entre tratamientos. La integral térmica el 8 de febrero y el 13 de marzo también presentó diferencias significativas entre el tratamiento estrés y los tratamientos control-frío y estrés-frío. Sin embargo, las diferencias entre ellos fueron mayores, entorno al 41% mayor en el tratamiento estrés en febrero y al 24% en marzo que las obtenidas cuando se considera el experimento en total. Las diferencias encontradas entre los dos tratamientos de frío fueron muy pequeñas, no mayores a un 4%, aunque en todos los casos los árboles control tendieron a valores inferiores.

La Figura 12 representa diferentes valores de temperatura que podrían estar relacionados con la floración: la mínima absoluta horaria hasta el día 8 de febrero y la temperatura media hasta el día 8 de febrero y hasta el 13 de marzo. La temperatura mínima pretende mostrar las condiciones más extremas a las que han estado sometidos los árboles. Las temperaturas medias, al igual que la integral térmica, son indicadores agregados que podrían predecir un efecto en floración.

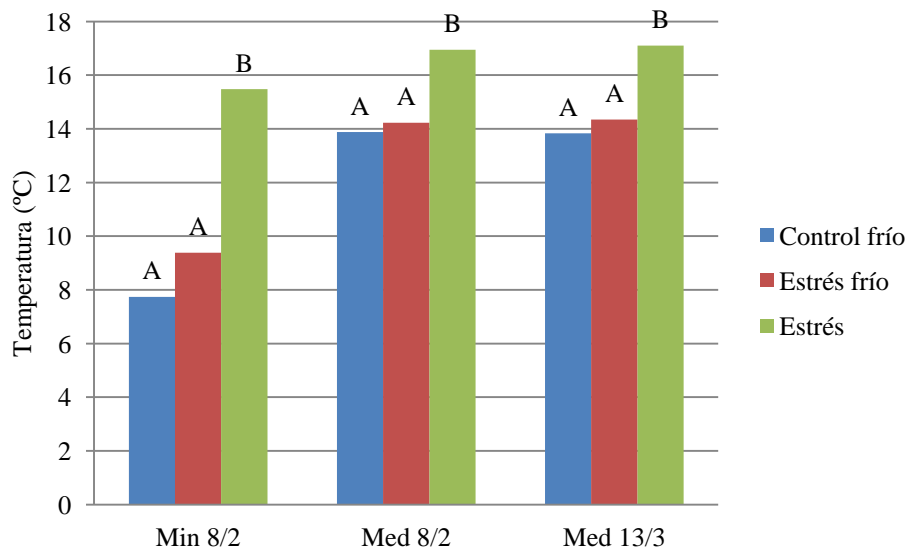


Figura 12. Temperatura mínima absoluta horaria hasta el día 8 de febrero, temperatura media horaria hasta el día 8 de febrero y temperatura media horaria hasta el día 13 de marzo. Cada barra es la media de 3 datos. Las letras indican las diferencias significativas en la misma fecha ($p < 0.05$, test Tukey).

La temperatura mínima absoluta hasta el 8 de febrero fue significativamente mayor en los árboles estrés, cercana a los 16° C, que los tratamientos con frío. No hubo diferencias significativas entre tratamientos de frío aunque los árboles control estuvieron como media por debajo de los 8°C y los estresados por encima de 9 °C. Estos mínimos absolutos se consiguieron de forma puntual y asociados con el riego de las macetas. Al hacer las medias a lo largo de los dos periodos las diferencias disminuyen y la temperatura sube, siendo las temperaturas medias de ambos tratamientos refrigerados prácticamente idénticas. En ambas fechas, 8 de febrero y 13 de marzo, hubo diferencias significativas entre el tratamiento estrés alrededor de 17°C y los tratamientos de frío en torno a 14°C. El tratamiento control tendió a valores menores que el estresado pero las diferencias a penas si son de 0.5°C. El diferencial de temperaturas medias de suelo es muy pequeño y está por encima de los valores en los que se produce deshidratación en olivo que se considera que es por debajo de los 10°C (Pavel y Fereres, 1998; Pérez-López et al, 2010). Esta temperatura media tan elevada es la que da lugar a que no se haya detectado ningún efecto del potencial hídrico en los árboles control frío, sin embargo sí que fue suficiente para afectar al crecimiento (Figuras 6 y 8). Los valores de temperatura mínima y media en el momento en el que hay una ralentización del crecimiento, 22 de diciembre (Figura 4), fueron de 11 y 16° C (tratamientos frío y no

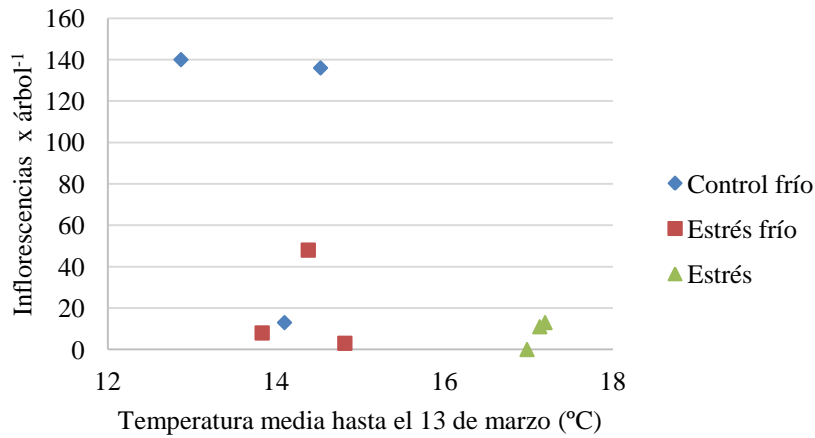
frío) como mínimas y 14 y 17°C como medias hasta dicha fecha. Estos resultados sugieren valores a partir de los cuales podrían empezar a desarrollarse la "ecolatencia".

Los datos de número de inflorescencias el día 13 de marzo en las 9 macetas monitorizadas (3 por tratamiento) fueron relacionados con los datos anteriores, temperatura e integral térmica, y con los valores de potencial hídrico mínimo y medio en cada periodo. Las relaciones encontradas son pobres, solamente las relaciones multivariantes son las que tienen un mejor resultado. En concreto el uso del potencial hídrico mínimo hasta el 13 de marzo y el potencial hídrico medio hasta el 8 de febrero tiene una relación lineal significativa con un R^2 de 0,74 con el número de inflorescencias. Lo que supondría, según esta relación, que a menores potenciales mayor floración. Sin embargo, resultados anteriores nos indican que las plantas con el suelo a temperatura ambiente no florecieron en la cámara independientemente de su estado hídrico. La mejor regresión multivariante en la que entra un indicador de temperatura de suelo es la que incluye estas dos variables y la temperatura media hasta el 13 de marzo ($R^2=0.70$). La Figura 13 representa las relaciones simples obtenidas con estas tres medidas.

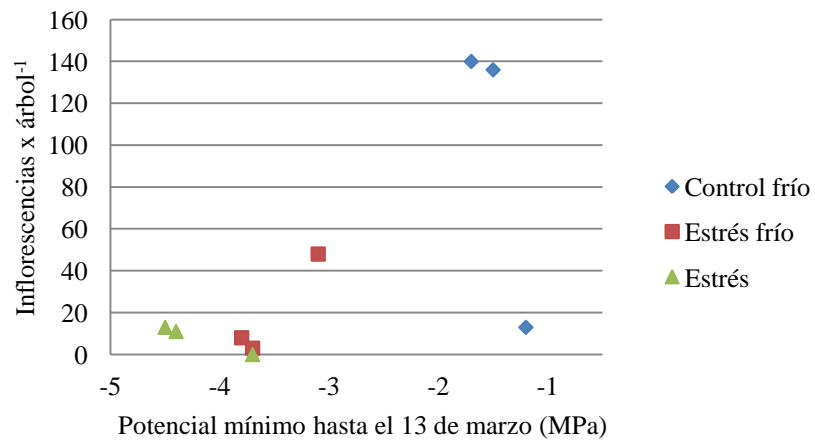
Ninguna de las relaciones simples es buena, ni tampoco se puede considerar una relación robusta ninguna de las regresiones multivariantes ya que el número de datos es muy pequeño. No obstante, los datos de la Figura 13 podrían aportar información sobre umbrales e hipótesis a considerar en futuros trabajos. La Figura 13a sugiere que temperaturas medias de suelo por debajo de 15°C permiten que se produzca floración con temperatura del aire de las condiciones del ensayo (18/21°C). Esto supone que estas temperaturas de suelo permitirían que tuviese lugar el proceso de acumulación de horas frío, que una vez superado, daría lugar a la brotación de inflorescencias ya que la temperatura del aire es adecuada. Los valores de temperatura de suelo registrados son elevados comparados con los que se han sugerido en temperatura del aire (aproximadamente 12°C, Rubio 2009) o los que habitualmente se consideran para los modelos de floración de frutales (7°C). Sin embargo, si realmente hay un papel de la temperatura radicular, como así parece, es evidente que los valores que promuevan la floración deberían ser mayores ya que incluso en los horizontes más superficiales las variaciones de temperatura son menores que en el aire. Pérez-López (comunicación

personal) sugiere que hay un efecto de la temperatura de la raíz en la floración, al conseguir en un experimento inhibir parte de la floración de árboles en maceta en los que se calienta el suelo durante el invierno. Por otro lado, es evidente que el estrés hídrico actuó a la inversa inhibiendo el proceso. Los árboles del tratamiento estrés frío tuvieron una respuesta desde el punto de vista de floración, más cercana a los árboles estrés que a los control frío a pesar de que la temperatura de suelo fueron muy similares en los dos tratamientos con suelo refrigerado. Las figuras 13 b y c, sugieren una gran sensibilidad al estrés con fuertes caídas en cuanto disminuye el potencial hídrico. Es preciso aumentar el número de datos pero es evidente que si el estrés puede tener algún efecto de promoción de la floración este debería de ser con valores superiores a los -2 MPa en cualquier caso. Otra cuestión importante, es saber si el estrés hídrico por si sólo podría actuar. Al menos a los niveles de estrés del presente trabajo es evidente que no. Sin embargo, Castillo-Llanque et al (2014) describen un experimento con olivos cultivados en Perú con temperaturas mínimas de aire por encima de 13°C en los que consiguen floración en árboles en campo al rehidratarlos después de varias semanas sin regar pero sin presentar datos del nivel de estrés conseguido. Estos resultados podrían sugerir un efecto del estrés hídrico por si sólo ya que solamente cuando el estrés hídrico al menos tuvo una duración de 5 semanas se produjo la floración (Castillo-Llanque et al 2014). No obstante, teniendo en cuenta la temperatura del aire (unos 13 °C) no es descartable un efecto del enfriamiento del suelo. En otras zonas en las que hay problemas de inviernos cálidos, el estrés hídrico no se considera una solución viable y se opta por otros métodos como el anillado (Moriania comunicación personal) lo que sugiere que el efecto real podría estar relacionado con la temperatura de suelo que tradicionalmente no se ha considerado a niveles diferentes de los de la temperatura del aire.

a.



b.



c.

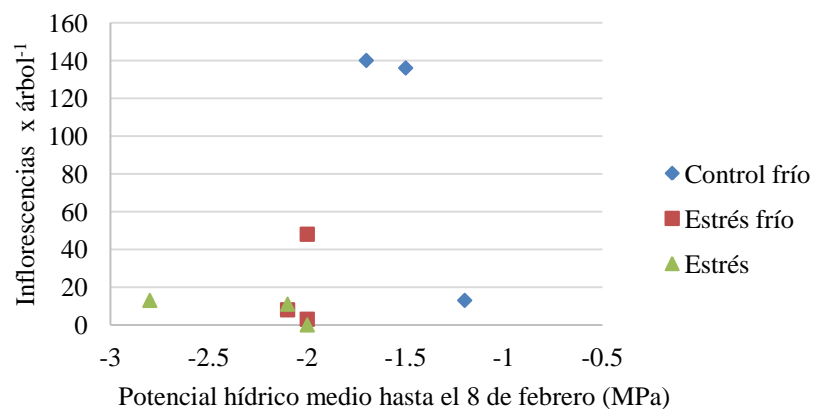


Figura 13. Relación entre la temperatura media hasta el 13 de marzo (a), el potencial mínimo hasta el 13 de marzo (b) y el potencial medio hasta el 8 de febrero (c) frente al número de inflorescencias. Cada dato es el individual de un árbol.

6. Conclusiones:

Según los objetivos buscados con la realización de este trabajo y los resultados obtenidos, podemos sacar las siguientes conclusiones:

- Temperatura de suelo alrededor de 15°C como media dio lugar a una parada de crecimiento en árboles bien regados.
- Este efecto sobre el crecimiento no fue detectado con ninguna de las medidas de relaciones hídricas empleadas.
- Temperaturas de suelo medias por debajo de 15°C podrían promover la floración en olivar. Sin embargo, de este trabajo no se puede deducir el tiempo necesario para que se produzca, ni la calidad de flor obtenida.
- Niveles de estrés hídrico por debajo de -2 MPa como media reducen drásticamente la floración aunque la temperatura de suelo este a niveles adecuados.
- Niveles de estrés hídrico por debajo de -2 MPa no promueven la floración por si solos.

7. Bibliografía

Barranco, D. (2017). Variedades y patrones. En: El cultivo del olivo Barranco, D.; Fernández-Escobar R.; Rallo L. (eds.), MundiPrensa, Madrid. pp 78.

Busso, C. A. (2008). Uso de la cámara de presión y de los psicrómetros a termocupla en la determinación de las relaciones en tejidos vegetales. Revista Internacional de botánica.

Castillo-Llanque, F. J.; Rapoport, H. F.; Baumann Samaez, H. (2014). Irrigation withholding effects on olive reproductive bud development for conditions with insufficient Winter chilling. Acta Horticulturae 1057:113-120.

Girón, IF; Corell, M; Martín-Palomo, MJ; Galindo, A.; Torrecillas, A.; Moreno, F; Moriana, A. 2016. Limitations and usefulness of maximum daily shrinkage (MDS) and trunk growth rate (TGR) indicators in the irrigation scheduling of table olive trees. Agricultural Water Management 164:38-45

López González, F. P. (2016). Efecto del estrés hídrico sobre la floración del olivo. TFG. Universidad de Sevilla.

Lucena, B; Manrique, T.; Méndez, M.A. (2017). La olivicultura en el mundo y en España, En: El cultivo del olivo Barranco, D.; Fernández-Escobar R.; Rallo L. (eds.), MundiPrensa, Madrid. pp: 3-11.

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

Pastor Muñoz-Cobo, M. (2005). Cultivo del Olivo con Riego Localizado. MundiPrensa, Madrid.

Pavel, E. W.; Fereres, E. (1998): Low soil temperatures induce water deficits in olive (*Olea europaea*) trees. *Physiol. Plant.* 104, 525-532.

Pérez-López, D., Ribas, F., Moriana, A., Olmedilla, N., De Juan, A. (2007) The effect of irrigation schedules on the water relations and growth of a young olive (*Olea europaea* l.) orchard. *Agricultural Water Management.* 89:297-304

Pérez-López, D.; Gijón, M.C.; Mariño, J.; Moriana, A. (2010). Water relation response to soil chilling of six olive (*Olea europaea* L) cultivars with different frost resistance. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8:780-789.

Rallo L. (2017). Fructificación y producción. En: *El cultivo del olivo* Barranco, D.; Fernández-Escobar R.; Rallo L. (eds.), MundiPrensa, pp: 154.

Rubio, G. (2009). Crecimiento y latencia de yemas reproductoras de olivo (*Olea europea* L.). Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.

Villalobos, F.J.; López-Bernal, A. (2017). Clima, En: *El cultivo del olivo* Barranco, D.; Fernández-Escobar R.; Rallo L. (eds.), MundiPrensa, pp: 220.