



A-19

MANEJO DEL RIEGO EN GRANDES SUPERFICIES DE OLIVAR EN SETO

Pérez Rodríguez, J.M. (P), Lara Carrasco, E., Campillo, C., Millán, S., Prieto Losada, M.H.

CICYTEX, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, 06187 Guadajira (Badajoz), [*juanmanuel.perezr@juntaex.es](mailto:juanmanuel.perezr@juntaex.es)

Resumen

El cultivo superintensivo revolucionó la olivicultura en los años 90 siendo un sistema apoyado en dos pilares básicos: alta densidad de plantación y casi total mecanización de las operaciones culturales. Desde entonces se ha extendido rápidamente por todo el Mundo. El riego es una herramienta fundamental para la rentabilidad de la mayor parte de estas plantaciones, sin embargo, existen cuestiones importantes que todavía no han sido resueltas de forma satisfactoria. Uno de los grandes retos es transferir el conocimiento disponible en cuanto a la gestión del riego empleando estrategias que mejoren la eficiencia en el uso del agua a explotaciones comerciales. En este estudio se evalúa los resultados obtenidos al aplicar en una parcela comercial una estrategia de riego deficitario controlado combinando medidas de estado hídrico en planta con técnicas de teledetección y mapeos de suelo para caracterizar el terreno sobre la productividad de la misma.

El estudio se llevó a cabo durante 3 años (2015-2017) en un olivar comercial superintensivo variedad 'Arbequina' en plena producción localizado en Talavera la Real (Badajoz) en la Finca Explojoz. Se dispuso de una parcela Control regada según el criterio del técnico de la finca, comparada con otra parcela colindante en la que se estableció un riego deficitario controlado (parcela RDC) utilizando como referencia medidas de Potencial Hídrico del Tronco y señalando diferentes niveles de estrés en función del estado fenológico: brotación a endurecimiento de hueso de -1.2 MPa; de endurecimiento del hueso a envero de -2.0MPa; de envero a recolección -1.6 MPa. Dentro de cada parcela se identificaron 2 zonas de referencia una que se denominó "buena" y otra "mala" con características "a priori" diferentes. La selección de estas zonas se realizó empleando técnicas de teledetección y mapeo de suelos.

Los resultados muestran que hubo diferencias de partida en las características de las dos parcelas de forma que en el primer año, con un mismo riego, la parcela Control tuvo más producción utilizando en ambas el mismo criterio de riego. Sin embargo, en los años sucesivos con una gestión diferenciada del riego, las producciones se igualaron e incluso se superaron en el caso de la parcela gestionada con un riego deficitario controlado adaptado a las características concretas de la parcela y consiguiendo equilibrar la productividad de la finca.

Palabras clave: Arbequina, potencial hídrico, teledetección, productividad.

1) Introducción

El olivar superintensivo o en seto es un sistema de cultivo relativamente novedoso, cuyo origen data de mediados de los años noventa, siendo España el principal país en cuando a superficie con 100.000 ha (ESYRCE, 2018). A nivel mundial la superficie es de más de 180.000 ha, incluyendo territorios fuera de la cuenca mediterránea, como es el caso de

Chile, Estados Unidos y Australia, entre otros. Varios han sido los aspectos que han favorecido esta difusión, tales como la rápida entrada en producción, la alta productividad y la posibilidad de mecanización de las operaciones culturales. Sin embargo, existen cuestiones importantes de este sistema de cultivo que no están resueltas de forma satisfactoria para que estos olivares integren una buena productividad con un menor coste. Por un lado, existe un problema de vigor de las variedades empleadas incluso en “Arbequina” que viene siendo la más utilizada. Por otra parte, la alta mecanización hace esta olivicultura especialmente interesante para parcelas de grandes dimensiones, lo que puede conllevar a cierta heterogeneidad dentro de las mismas que hace difícil una toma de decisiones única en el conjunto de la parcela, en cuanto a prácticas agronómicas como el riego o la fertilización.

El uso de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) ha demostrado ser una herramienta eficaz para el control del vigor en los setos, equilibrando crecimiento y productividad, siendo clave para aumentar la viabilidad de estos sistemas (Gómez del Campo, 2011, Pérez *et al.*, 2017). Para poder ajustar estas estrategias de riego es interesante disponer de algún indicador del estado hídrico, como puede ser el potencial hídrico de tronco (Ψ_t) para ajustar el estado hídrico en cada estado fenológico en función de la sensibilidad del árbol a este tipo de estrés abiótico. Aunque Ψ_t ha demostrado ser un buen indicador de estado hídrico en olivo (Moriani, *et al.*, 2012), útil para la supervisión de estrategias de riego deficitario (Pérez, *et al.*, 2017), resulta tediosa y compleja y al ser puntual, la calidad de los resultados depende de una correcta elección de las plantas de o zonas de referencia.

La teledetección y los mapeos de suelo ofrecen nuevas herramientas para la gestión agronómica de los cultivos en general y de los olivares en particular, siendo posible caracterizar el desarrollo de la cubierta vegetal y su estado hídrico a gran escala, con resultados muy interesantes en olivar (Berni *et al.*, 2009; Sepulcre-Cantó *et al.*, 2006). Sin embargo, es necesario establecer el procedimiento validado en condiciones reales (parcelas comerciales) para transformar la información proporcionada en reglas precisas para la toma de decisiones agronómicas.

2) Objetivos

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta productiva de una parcela heterogénea de olivar al emplear una estrategia de RDC implementada con la información obtenida a través de teledetección y monitoreo de suelos.

3) Materiales y Métodos

El trabajo se realizó durante 3 años (2015-2017) en una parcela comercial con 180 ha en plena producción de olivar en seto (*Olea europaea* L.) de la variedad ‘Arbequina’ situada en la Finca “Explojoz” en Talavera la Real (Badajoz). La plantación de olivar se realizó en otoño de 2007 a una densidad de 1.852 olivos/ha (4 x 1,35 m), con una orientación Norte-Sur y formados en eje central. La plantación fue regada por un sistema de riego localizado mediante goteo, con una tubería por línea de árboles, con goteros integrados autocompensantes distanciados a 67 cm y con un caudal de 1,6 l h⁻¹. El suelo es un Haplic Fluvisol de acuerdo a FAO (2006) y el clima de esta zona es mediterráneo, con una estación seca de junio a septiembre (verano) y una temporada húmeda de octubre a mayo (invierno) en la que se produce el 80% de las precipitaciones totales. La temperatura de verano en esta área supera a menudo los 40°C, mientras que la temperatura de invierno puede bajar hasta 0°C. La precipitación media anual es inferior a 500 mm. El mantenimiento del suelo fue en no laboreo y desnudo de malas hierbas con el uso de herbicidas.

Sobre esta parcela se seleccionaron dos parcelas, cada una de ellas en un sector de riego diferente con una superficie de 10 ha (parcela RDC) y de 5 ha (parcela Control) con riego independientes, en donde el primer año ambas se regaron según criterio del técnico de la finca y donde se controló el agua aplicada, el estado hídrico de las plantas, producción y componentes del rendimiento. Para evaluar la heterogeneidad de las parcelas se emplearon imágenes satelitales y medidas directas con sensores sobre la superficie del suelo (sensor DUALEM) realizando mapas de NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) y conductividad eléctrica (CE) del suelo a 0-60 cm usando la metodología de Fortes *et al.*, 2014 utilizada para tomate. Los mapas realizados en el primer año sirvieron de base para establecer en las campañas siguientes 4 zonas de control "in situ" en cada parcela (2 zonas buenas y 2 zonas malas en cuanto a tipo de suelo y NVDI). Cada zona de control estaba formada por 3 filas de 6 árboles, con un total de 18 árboles y realizándose las diferentes medidas sobre los 4 árboles centrales.

Sobre estas zonas de control se efectuaron medidas periódicas de Ψ_t desde el inicio de la campaña de riego hasta recolección. En el año 2015 se regaron ambas parcelas con una misma programación que según el criterio técnico de la finca. En los años 2016 y 2017 en la parcela RDC se aplicó un RDC ligero diseñado para que no produzca pérdida productiva frente a la gestión del riego realizada por el técnico de la finca en la parcela Control. Las medidas de Ψ_t se utilizaron en la parcela RDC para ajustar la programación de riego para conseguir los niveles preestablecidos en cada fase de cultivo: fase I, desde brotación hasta inicio del endurecimiento del hueso (primeros de julio); fase II, desde el inicio del endurecimiento de hueso hasta inicio del envero (mediados de septiembre) y fase III desde el fin de la Fase II hasta cosecha. En fase I y III, que es un periodo sensible al déficit hídrico, se utilizó las zonas de control más desfavorables, mientras que en fase II, que es una fase poco sensible, se utilizaron los puntos de control más favorables. El umbral establecido para cada fase de cultivo fue: -1,4 MPa en Fase I, -2.0 MPa en fase II y -1.6 MPa en fase III. Las medidas de Ψ_t se efectuaron sobre 4 árboles de medida en las zonas de control, y modificando la programación de riego en función de la desviación en relación con los umbrales de referencia. En la parcela Control se midieron de la misma forma Ψ_t para caracterizar el estado hídrico y compararlo con la parcela RDC.

La recolección se realizó cuando las aceitunas alcanzaron un índice de madurez aproximado de 2,5. Se pesó la producción de los 4 árboles de cada zona de control y se cogió una muestra de 100 frutos para estimar la carga de los árboles (número de frutos árbol⁻¹) y tamaño del fruto. Sobre una muestra de 1 kg se midió el contenido graso utilizando la metodología SOXHLET y expresándolo como porcentaje de pasta fresca. Para ello fue necesario triturar la muestra y obtener la humedad de la pasta en estufa de secado a 105°C.

4) Resultados y discusión

La figura 1 muestra los mapas de las parcelas con el índice de vegetación NDVI y la CE del suelo que sirvieron de base para seleccionar las zonas de control en cada una de ellas. La asignación de la denominación de "buena" y "mala" corresponde a un mayor desarrollo vegetativo y mayor CE en la primera y los aspectos contrarios en la segunda, aunque no siempre se relaciona con la productividad.

Como se puede ver en la tabla 1 la precipitación media anual total del periodo de estudio fue de 350 mm, (Tabla 1). Hay que destacar el año 2016 como el año más lluvioso con una pluviometría de 490 mm, mientras que en 2015 y 2017 fueron muy secos con una precipitación total de 284 mm y 275 mm respectivamente. Además, el último año tuvo una primavera y otoño muy seca por lo que la campaña de riego se alargó. La cantidades de agua aplicadas en 2015 fueron de 2.600 m³/ha en ambas parcelas. En 2016 el volumen de

agua aplicado en la parcela RDC fue de 3.000 m³/ha 500 m³/ha más con respecto al Control y donde se aplicó un 5% menos del total en la fase II (menos sensible) y 5% más en la fase III (más sensible). En el año 2017 la dosis fue de 4.400 m³/ha en el ensayo que al igual que el año anterior fue superior en 500 m³/ha con respecto al Control. En este caso se aplicó un 5% menos de agua en fase I (aprovechando las reservas del suelo) y 5% más en fase III debido a un otoño seco. El riego aplicado en la parcela RDC fue siempre superior al aplicado en la parcela Control ya que se trataba de una estrategia deficitaria ligera para evitar pérdida productiva.

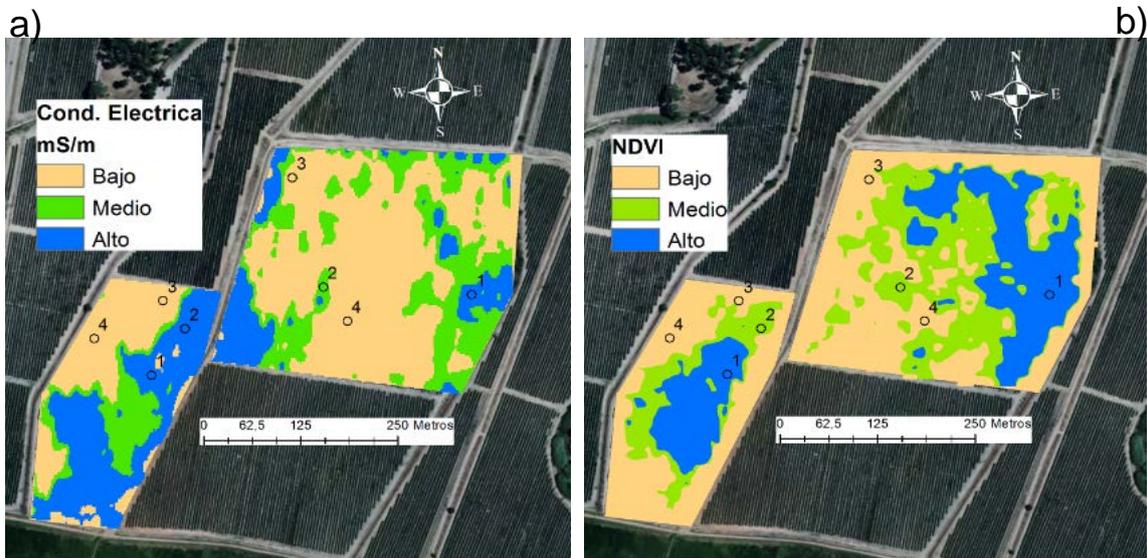


Figura 1. a) Mapa de CE superficial medido con DUALEM y b) Mapa de NVDI obtenido mediante imágenes satélites para obtener las zonas de control del riego. Los puntos son las zonas “buenas” (1 y 2) y “malas” (3 y 4) elegidas. Finca Explojoz 2015-2017.

Tabla 1. Riego aplicado, Evapotranspiración del cultivo (ET_c) y Precipitación total en olivar en seto var. ‘Arbequina’. Finca Explojoz 2015-2017.

		2015	2016	2017
Control	(m ³ /ha)	2.600	2.500	3.900
	% fases	(40-35-25)	(25-45-30)	(40-30-30)
RDC	(m ³ /ha)	2.600	3.000	4.400
	% fases	(40-35-25)	(25-40-35)	(35-30-35)
ET_c	(mm)	834	860	895
Precipitación	(mm)	284	490	275

La figura 2 muestra el Ψ_t medio en las dos parcelas de estudio, diferenciando entre las zonas buena y mala. La habitual pluviometría primaveral y las reservas de agua acumuladas en el suelo durante otoño e invierno pueden hacer que sea difícil inducir estrés hasta los niveles preestablecidos en la fase I (Morianan *et al.*, 2007; Martín-Vertedor *et al.*, 2011a; Connor *et al.*, 2014). En el caso del año 2017, se trató de una primavera más seca que 2016 presentando los tratamientos valores superiores que en el año anterior. Se puede distinguir en ambos años que ya existe una diferencia entre las zonas marcadas como buenas con respecto a las malas a pesar de no alcanzar el nivel umbral lo que indica que son terrenos diferentes. En 2016 además hubo diferencias entre RDC y Control, a pesar de ser una primavera más lluviosa, debido a que la campaña de riego no comenzó hasta finales de mayo e hizo agotar las reservas del suelo de forma diferente.

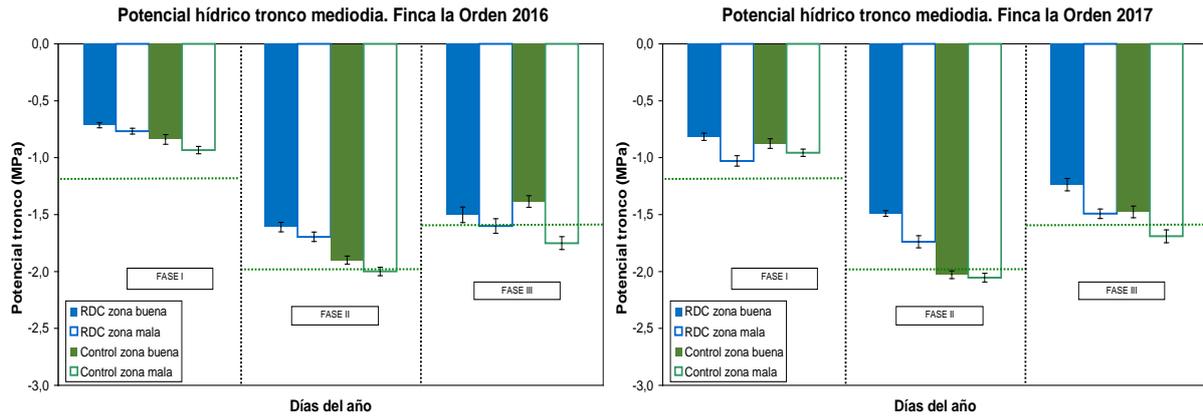


Figura 2. Valor medio de estado hídrico en planta con potencial de tronco para cada fase de cultivo en olivar en seto var. ‘Arbequina’ para distintos tratamientos de riego y zonas de la parcela. Finca Explojoz 2015-2017. Las barras representan \pm el error estándar de la media.

En la fase II ya encontramos diferencias claras en Ψ_t entre las dos parcelas de estudio, alcanzando en el caso de la parcela Control el nivel umbral incluso superándolo en algunos años. En el caso de la parcela RDC se mantuvo por encima de este umbral incluso en las zonas malas por lo que el estado hídrico fue mejor. Este es el periodo menos sensible al estrés hídrico tanto para el crecimiento vegetativo que se ralentiza, como para el desarrollo del fruto (Rallo y Cuevas, 2008). En la etapa final del cultivo (fase III), los niveles medios de potencial en la parcela de RDC también estuvieron por debajo del umbral marcado y encontrando diferencial entre zonas solo en el año 2017. En el caso de la parcela de Control, hubo diferencias entre zonas buenas y malas y además estas últimas superaron el umbral sometiendo a un estrés hídrico mayor en una fase muy sensible al déficit hídrico. Es interesante apreciar que ligeras diferencias en el volumen total de agua aplicado modificaron el patrón estacional de estado hídrico.

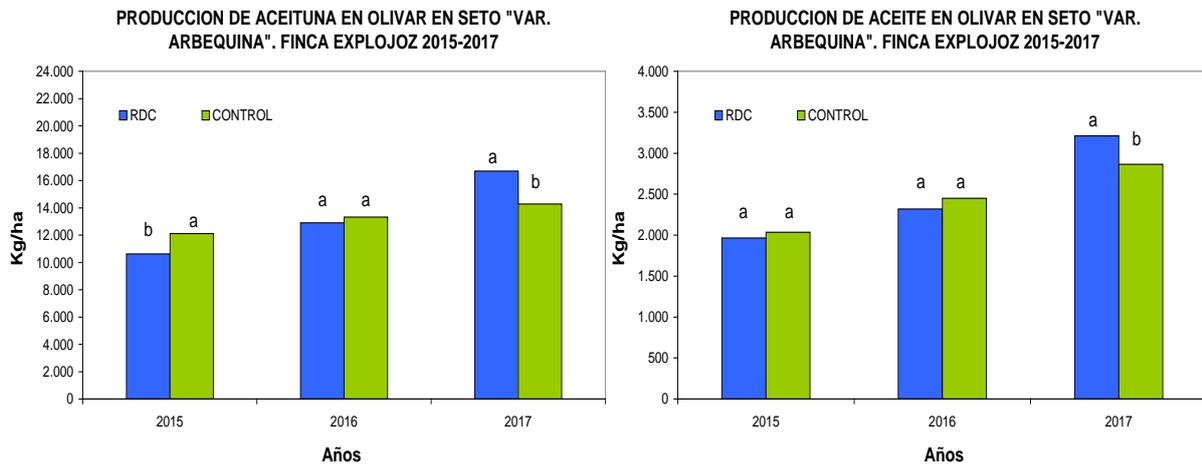


Figura 3. Producción de aceituna (a) y de aceite (b) en olivar en seto var. ‘Arbequina’ para distintos tratamientos de riego. Finca Explojoz 2015-2017. Cada punto es el promedio de 16 árboles y Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre los tratamientos.

La parcela Control fue la más productiva en 2015 con 12.100 kg/ha (figura 3a). En el año 2016 se igualaron con producciones en torno a los 13.000 kg/ha y en 2017 fue de 16.700 kg/ha en la parcela de RDC, un 15% superior al Control. Estos resultados suponen

una evidencia de que una estrategia de Riego Deficitario Controlado puede ser adaptada al conjunto de una parcela si existe una previa caracterización espacial de la misma y criterios claros preestablecidos para la toma de decisiones. En este caso esta estrategia incrementó la productividad del conjunto de la parcela al compararse con el criterio de la finca, tomando como referencia del mismo una parcela "a priori" más productiva. Con respecto a los componentes del rendimiento (tabla 2) el contenido graso fue mayor en 2015 en la parcela RDC con menor carga frutal pero similar tamaño de fruto, de forma que se equilibra la producción de aceite de las dos parcelas. En 2016 el rendimiento graso fue similar pero en la parcela Control hubo más carga frutal de menor tamaño con respecto al RDC. En el último año de estudio, la mayor producción de la parcela de ensayo fue debida a un mayor número de frutos, de similar contenido graso y tamaño con respecto al Control. Al igual que sucedió con la producción de aceituna la producción de aceite fue también similar en las dos parcelas en 2016 y más alta en la RDC para 2017.

Tabla 2. Rendimiento graso (% grasa total sobre materia fresca), número de frutos por árbol y peso fresco por fruto (g) para diferentes parcelas de olivar en seto var. 'Arbequina'. Finca Explojoz 2015-2017. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre los tratamientos.

Tratamientos	Rendimiento graso (%)		Carga frutal (nº aceitunas/árbol)				Peso fresco fruto (g)	
	Control	RDC	Control		RDC		Control	RDC
2015	16,3 b	18,6 a	3.247 a	2.695 b	1,9 a	2,0 a		
2016	18,4 a	18,0 a	5.300 a	4.372 b	1,3 b	1,5 a		
2017	20,3 a	19,3 a	5.309 b	5.933 a	1,4 a	1,5 a		

5) Conclusiones

Caracterizar la variabilidad espacial de grandes superficies de olivar en seto puede resultar de gran ayuda para establecer una estrategia de riego deficitario controlado que mejora la productividad del conjunto de la parcela. El uso dirigido de medidas de estado hídrico permitirá mantener todas las zonas de la parcela en umbrales óptimos de déficit hídrico.

6) Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por Junta de Extremadura a través de la ayuda a grupos de investigación (AGA001 proyecto GR18196), INIA (RTA 2012-00018-C02-02, RTA 2013-00045-C04-02), proyecto CCESAGROS Y cofinanciados con fondos FEDER.

7) Bibliografía

Berni JAJ, Zarco-Tejada PJ, Suárez L & E Fereres. 2009. Thermal and Narrow-band Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 47: 722-738.

Connor, D. J., Gómez-del-Campo, M., Rousseaux, M. C., & Searles, P. S. (2014). Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards: a review. Scientia Horticulturae, 169, 71-93

ESYRCE (Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos) 2018. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.

Fortes, R., Prieto, M. H., Terrón, J. M., Blanco, J., Millán, S., & Campillo, C. (2014). Using apparent electric conductivity and NDVI measurements for yield estimation of processing tomato crop. *Transactions of the ASABE*, 57(3), 827-835.

Goldhamer, D.A. 1999. Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Horticulturae* 474 (1):369-372.

Martín-Vertedor, A.I.Pérez-Rodríguez, J.M.; Prieto Losada, M.H.; Fereres, E. 2011a. Interactive responses to water deficit and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca) I.- Growth and water relations. *Agricultural Water Management* 98: 941-949..

Moriana, A.; Pérez-López, D.; Gómez-Rico, A.; Salvador, M.; Olmedilla, N.; Ribas, F.; Fregapane, G. 2007. Irrigation scheduling for traditional, low-density olive orchards: Water relations and influence on oil characteristics. *Agricultural Water Management* 87: 171-179.

Moriana, A.; Pérez-López, D.; Prieto, M.H.; Ramírez-Santa-Paul, 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

Pérez-Rodríguez, J.M., Parras, J., Lara, E., & Prieto, M.H. 2018. Estrategias de riego en plantaciones de olivar en seto para el control del vigor y mantenimiento de la productividad. *Actas de Horticultura del I Congreso Ibérico de Olivicultura / V Jornadas Nacionales del Grupo de Olivicultura de la Sociedad Española de Ciencias Horticolas (SECH)*, 73, 120-128.

Rallo, L.; Cuevas, J. 2008. Fructificación y producción. En: Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. (Eds). *El cultivo del olivo 6ª Edición*. Mundi-Prensa y Junta de Andalucía. Madrid, 127-162.

Sepulcre-Cantó, G.; Zarco-Tejada, P. J.; Jiménez-Muñoz, J. C.; Sobrino, J. A.; De Miguel, E.; Villalobos, F. J. 2006. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. *Agricultural and Forest Meteorology* 136: 31-44.