

# ¿Cómo afecta el estrés hídrico en el cultivo del olivo a la formación de aceite?

Proceso de litogénesis, momentos críticos de estrés hídrico y resultados de los ensayos realizados

En el presente artículo vamos a comentar los resultados de un ensayo de riego iniciado en una localidad próxima a Córdoba en mayo de 2016, y analizar la influencia que tiene el riego tanto en la formación como en la producción final de aceite, con el fin de relacionar el estrés hídrico con un menor rendimiento graso de los frutos.

Javier Hidalgo, Ana Leyva, Daniel Pérez, Juan Carlos Hidalgo, Victorino Vega.

IFAPA Centro Alameda del Obispo (Córdoba).

Los factores climáticos, y en especial el estrés hídrico, afectan directamente a la formación del aceite. En ensayos de riego deficitario desarrollados por nuestro equipo de trabajo del Ifapa Alameda del Obispo en colaboración con el Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), se observó cómo el rendimiento graso se reduce notablemente cuando los olivos están sometidos a un estrés hídrico severo y prolongado en el tiempo.

Durante el año 2016 el rendimiento graso ha sido por lo general inferior a la media de años anteriores en la mayoría de oli-



vares de la península. La cuantía de las lluvias y su reparto a lo largo del año tienen una gran repercusión sobre los procesos que ocurren a lo largo del ciclo del olivo, tales como la lipogénesis o formación de aceite. El riego es una práctica de cultivo que permite evitar el estrés hídrico y favorece que esos procesos se puedan realizar con éxito.

## ¿Cómo se produce la lipogénesis?

La acumulación de aceite comienza inmediatamente después del endurecimiento del hueso (Beltrán *et al*, 2008). La lipogénesis se puede dividir en tres fases:

- Fase de biosíntesis lenta. Se da en frutos recién formados hasta el endurecimiento del hueso, lo cual ocurre, según las zo-

nas, a lo largo del mes de julio. Durante esta fase se forman los lípidos de tipo estructural.

- Fase de biosíntesis acelerada. Ocurre tras el endurecimiento del hueso. Se inicia una síntesis activa de diglicéridos y triglicéridos que sufre una notable aceleración durante los meses de agosto y septiembre, para alcanzar su máximo a final de septiembre o inicio de octubre (García Martos y Mancha, 1992), coincidiendo con el cambio de pigmentación del fruto.

- Fase estacionaria o de ralentización.

En esta fase la velocidad de formación de aceite disminuye de manera progresiva hasta la semana 28-30 después de plena floración (primeros a mediados de diciembre). A partir de ahí, la formación de aceite es muy lenta, siendo la pendiente de la curva casi nula.

En la **figura 1** se observan claramente las tres fases comentadas. Los datos corresponden a valores reales de olivos que fueron regados según el método del balance de agua para cubrir sus necesidades ( $ET_{C_{max}}$ ), por tanto, en ausencia de estrés hídrico. Al aceite contenido en el fruto en el momento de recolección (febrero) se le asigna el valor 100, de manera que en cada punto a lo largo del eje de ordenadas (tiempo) se representa el porcentaje de aceite obtenido sobre el total en recolección.

### Momentos críticos de estrés hídrico para el olivo

La falta de agua en el cultivo para cubrir sus necesidades, denominada estrés hídrico, afecta directamente a la fotosíntesis. La respuesta de la planta al estrés hídrico generalmente se traduce en un cierre estomá-

**FIG 1.** Evolución del contenido de aceite expresado en porcentaje sobre el total conseguido a final de campaña.



to, hecho que ocurre a final del mes de junio (endurecimiento del hueso). Si esto ocurre se verán afectados en mayor o menor medida el crecimiento de brotes, la floración y el cuajado (**cuadro I**). En nuestras condiciones de clima y suelo, los olivos suelen ser suficientemente abastecidos durante este periodo por el agua de

lluvia que queda almacenada en el suelo. Sin embargo, si el invierno y la primavera son secos y/o se dispone de un suelo con escasa capacidad de almacenamiento de agua, es muy importante un aporte de agua de riego hasta el endurecimiento del hueso, ya que el estrés hídrico podría afectar negativamente al desarrollo de yemas, floración, cuajado, etc, así como al crecimiento vegetativo, por lo cual influiría también en la cosecha del año siguiente.

Una vez que se ha formado el fruto y se inicia la lipogénesis, el estrés hídrico afecta a la planta produciendo un cierre estomático que afecta al intercambio gaseoso, re-

Es evidente la importancia de todos los procesos que ocurren en el olivar desde la salida del reposo invernal, pero algunos son vitales para garantizar la producción de frutos. Durante el ciclo vegetativo y reproductivo del olivo existen algunos periodos especialmente críticos a la hora de garantizar la producción (**cuadro I**). Así, es crucial que el olivo no padezca estrés hídrico desde la salida invernal hasta que se haya formado la mayoría de células en el fru-

### CUADRO I.

#### EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN LOS PROCESOS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL OLIVO.

Proceso	Período	Efecto del déficit hídrico
Crecimiento vegetativo	Todo el año	Reducción del crecimiento
		Reducción del número de flores al siguiente año
Desarrollo de yemas florales	febrero-abril	Reducción número de flores
		Aborto ovárico
Floración	mayo	Reduce fecundación
Cuajado de frutos	mayo-junio	Aumenta la alternancia
Crecimiento inicial del fruto	junio-julio	Disminuye el tamaño del fruto
		Menor número de células/fruto
Crecimiento posterior del fruto	julio-cosecha	Disminuye el tamaño del fruto
		Menor tamaño de las células del fruto
Acumulación de aceite	julio-noviembre	Disminuye el contenido de aceite/fruto

Beede y Goldhamer, 1994, modificado por Orgaz y Fereres, 2007.

## CUADRO II.

EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO Y PRECIPITACIÓN EFECTIVA, CALCULADAS A PARTIR DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE CÓRDOBA, APLICANDO LAS CONDICIONES PROPIAS DE LA PLANTACIÓN, EN EL PERIODO OCTUBRE DE 2015 A OCTUBRE DE 2016.

Mes	Oct 15 (mm)	Nov 15 (mm)	Dic 15 (mm)	Ene 16 (mm)	Feb 16 (mm)	Mar 16 (mm)	Abr 16 (mm)	May 16 (mm)	Jun 16 (mm)	Jul 16 (mm)	Ago 16 (mm)	Sep 16 (mm)	Oct 16 (mm)	Total Oct 15-Sep 16	Jun-Oct 16
ET <sub>c</sub>	66	43	36	34	41	55	62	81	118	133	121	95	71	885	517
Pef	75	56	14	54	40	29	94	82	9	0	0	0	82	453	9
Diferencia	-9	-13	22	-20	1	24	-32	-1	109	133	121	95	-9	432	508

duciendo la tasa de fotosíntesis y, por tanto, la capacidad de formación de aceite (Lavee, 1991), así como un ralentizamiento en el crecimiento del fruto. La base del riego deficitario consiste en reducir el aporte de agua en este periodo, antes que comience la fase de biosíntesis acelerada, de manera que se pueda optimizar el uso del agua. No obstante, hay que dejar claro que la falta de agua en esta época del año (verano) provoca una reducción en el tamaño final del fruto, y dependiendo del grado de estrés y de la duración del mismo, una tasa de formación de aceite más baja, lo que se traduce una pérdida de producción final.

El otoño es un periodo de gran actividad lipogénica (formación de aceite) y de desarrollo del fruto (tamaño) y es generalmente en nuestras condiciones de clima mediterráneo, donde las lluvias otoñales pueden llegar con retraso, el periodo más sensible al estrés hídrico. En esta época es fundamental cubrir las necesidades de agua del cultivo mediante el riego en el caso que la lluvia sea insuficiente, con el fin de obtener la mayor cantidad de aceite posible. Nuestras recomendaciones de riego deficitario siempre consideran este periodo como el más importante cuando el destino es la producción de aceite.

## Descripción del ensayo de riego

En mayo de 2016 se inició un ensayo de campo de larga duración con aporte de diferentes estrategias de riego en función del estado hídrico de los olivos.

Para ello se dispuso un experimento en un olivar adulto de la variedad Manzanilla de Sevilla, con un marco de plantación de 7 x 3,5 m (408 olivos/ha), en la finca La Reina de Santa Cruz, situada en el término municipal de Córdoba. Se trata de un olivar adulto en riego, de gran productividad, con un volumen de copa inicial elevado, 11.000 m<sup>3</sup>/ha. Los cuatro tratamientos son los siguientes:

- ET<sub>Cmax</sub>: riego con aporte variable según el balance de agua (ET<sub>c</sub>-Pef).
- RDC1 (riego deficitario controlado 1): para mantener un potencial hídrico a mediodía entre -4 y -5 MPa.
- RDC2: (riego deficitario controlado 2): para mantener un potencial hídrico a mediodía superior a -6 MPa.
- Secano.

El dispositivo experimental diseñado fue en bloque al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento y parcelas elementales de cuatro olivos con doble línea guardada. No se encontraron diferencias entre tratamientos en los volúmenes de copa de partida.

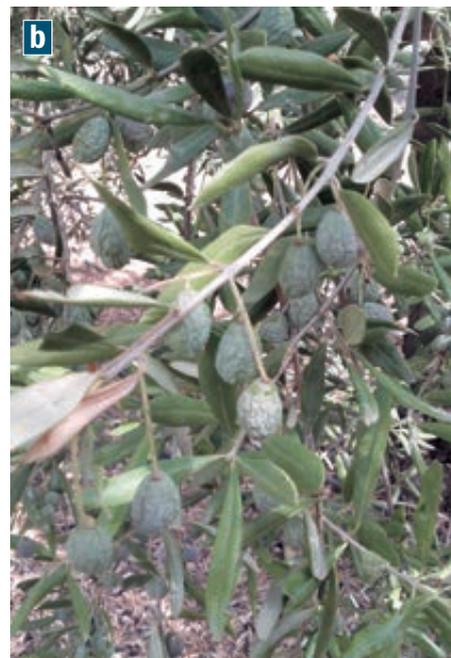
## Resultados

El cálculo de la dosis de riego para el tratamiento control (ET<sub>Cmax</sub>) se realizó aplicando el balance hídrico (ET<sub>c</sub>-Pef), sin tener en cuenta el agua almacenada en el suelo. El riego se inició en el mes de junio, dado que las precipitaciones de abril y mayo (cua-



Aceitunas de los diferentes tratamientos: secano (superior izquierda), RDC2 (superior derecha), RDC1 (inferior izquierda) y ET<sub>Cmax</sub> (inferior derecha). Tomados el 10 de octubre de 2016, dos días antes del inicio de las lluvias otoñales.

**dro II)** fueron superiores a la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ). Las primeras lluvias otoñales fueron tardías, ocurriendo el día 12 de octubre de 2016, lo que supone un periodo de cinco meses sin lluvias (13 de mayo a 12 de octubre). La evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) en ese intervalo de tiempo fue de 517 mm (**cuadro II**), lo que equivale a 5.170 m<sup>3</sup>/ha a aportar mediante riego, siempre que no se tenga en cuenta el agua almacenada en el suelo. En función de la profundidad y de la textura del suelo donde esté implantado el olivar andaluz, dicha cantidad oscila entre 70 y 140 mm. En la situación más favorable, suelo profundo y con alta capacidad de almacenamiento de agua, la dosis de riego a aportar para evitar el estrés hídrico en todo el ciclo del cultivo se reduciría a unos 3.700 m<sup>3</sup>/ha, considerando la tipología de olivar del ensayo.



Vista del estado de los árboles a inicios del mes de octubre en los tratamientos  $ET_{c_{max}}$  (a) y Secano (b).

**¡ Buscate un vivero que prepare olivos ya micorrizados, vale la pena !**

**MYCOSYM**  
Plant Vitalizing Systems

**A un olivo sin micorriza le falta algo.**  
En vivero o al trasplante,  
y con una sola aplicación de **MYCOSYM TRI-TON®**  
se consigue:

- ✓ un crecimiento más vigoroso y sano, especialmente en sus primeras etapas,
- ✓ una mejor tasa de éxito al trasplante,
- ✓ precocidad: más flores y frutos sin que sea a coste del crecimiento del árbol,
- ✓ una mayor resistencia a condiciones de estrés. (sequía, salinidad del suelo y del agua, contaminantes, patógenos)

MYCOSYM avala la técnica de micorrización desarrollada por **Plantas Continental S.A.** en Posadas (Córdoba).  
[www.plantascontinental.com](http://www.plantascontinental.com)

**PLANTAS CONTINENTAL S.A.**



Contacto  
**MYCOSYM-TRITON S.L.**  
Apartado de correos 402  
E-08720 Vilafranca del Penedès - Barcelona  
[www.mycosym.com](http://www.mycosym.com)  
Tel. +34 666 414 390  
[informa@mycosym.com](mailto:informa@mycosym.com) \*Marcas registradas



## CUADRO III.

CANTIDAD DE AGUA APORTADA Y MÁXIMO POTENCIAL HÍDRICO ALCANZADO A MEDIODÍA PARA CADA TRATAMIENTO.

Tratamiento	Riego (m <sup>3</sup> /ha)	Potencial hídrico (MPa)
ETC <sub>max</sub>	5.140	<-3,0
RDC1	1.660	<-4,5
RDC2	1.080	<-6
Secano	0	<-8

Dada la condición de ensayo, se pretendió garantizar la ausencia de estrés hídrico en todo momento. Según las condiciones particulares de la finca, el valor de potencial hídrico a mediodía para estas condiciones se sitúa en torno a los -3 MPa. Cuanto menor es el valor de potencial hídrico (valores más negativos) mayor es el grado de estrés sufrido por los árboles. En nuestro caso, el agua almacenada en el suelo actuó como colchón de seguridad para posibles imprevistos (averías puntuales, falta de suministro, etc.). En total se aplicaron 5.140 m<sup>3</sup>/ha (cuadro III) para el tratamiento control (ETC<sub>max</sub>).

El aporte de agua de riego en el tratamiento de riego deficitario 1 (RDC1), con el potencial hídrico a mediodía en torno a los -4,5 MPa, ha sido de 1.660 m<sup>3</sup>/ha, el 32% de la aplicada en el tratamiento control (ETC<sub>max</sub>). Con esa dosis de riego se ha cumplido el objetivo de mantener el po-

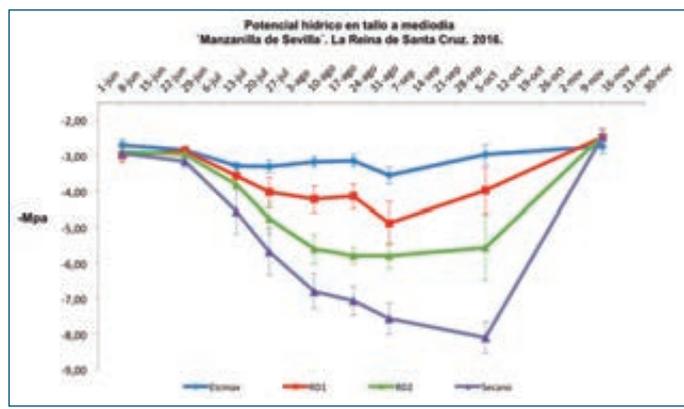
tencial hídrico a mediodía por encima de los -5 MPa. Para el tratamiento de riego deficitario 2 (RDC2), con potencial hídrico a mediodía superior a los -6 MPa, se han aplicado 1.080 m<sup>3</sup>/ha, lo que representa el 21% de la aplicada en el control. Por último, el secano ha permanecido durante la mayoría de la campaña en situación de estrés hídrico severo, llegando a superar los -8 MPa.

La evolución del potencial hídrico a mediodía (figura 2) muestra los momentos a lo largo de la campaña en que los diferentes tratamientos se separan del control (ETC<sub>max</sub>), que se mantiene en un valor en torno a -3 MPa, que para las condiciones particulares del ensayo se traduce en ausencia de estrés durante todo el periodo. Los tratamientos RDC1 y RDC2 se mantuvieron mediante riego deficitario en los rangos de estrés planteados inicialmente. El secano muestra su situación

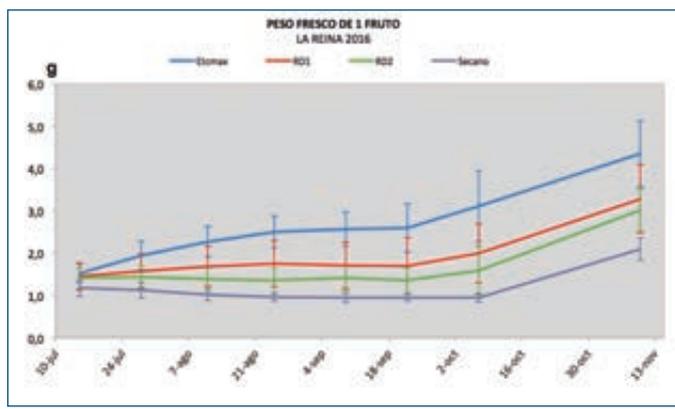
más desfavorable el día 9 de octubre, tres días antes del inicio de la lluvia de otoño. La última medida de potencial hídrico fue tomada en noviembre, tras las lluvias, por lo que todos los tratamientos aparecen con el mismo valor de potencial hídrico, una vez recuperados del estrés.

El número de frutos obtenido en los árboles de los distintos tratamientos ha sido similar (cuadro IV). La parcela de ensayo proviene de un manejo igual para todos los árboles, con un mismo volumen de copa y una floración muy parecida en todos los olivos. Si los olivos tienen un número de frutos parecido, las diferencias finales en el tamaño de los mismos serán debidas a que el crecimiento se ha visto afectado por el estrés hídrico. Así en el primer muestreo (15 de julio), los tres tratamientos regados presentan frutos con el mismo peso fresco (figura 3), mientras que el secano, ya en un estado de estrés hídrico (figura 2), presenta un menor peso. A partir de final de julio, el tratamiento RDC2 también entra en estrés hídrico (figura 2), por lo que se reduce el crecimiento del fruto. A mitad de agosto el crecimiento del tratamiento RDC1 sigue los pasos de los anteriores, reduciéndose el peso de sus frutos en relación a los del control bien regado (ETC<sub>max</sub>).

**FIG 2.** Evolución del potencial hídrico a mediodía solar de los diferentes tratamientos. Las barras corresponden con la desviación típica.



**FIG 3.** Evolución del peso fresco del fruto de los diferentes tratamientos. Las barras corresponden con la desviación típica.



(Continúa en pág. 50)

Así mismo se observa que el crecimiento del fruto llega a ser nulo cuando el déficit hídrico es severo y así se mantiene durante el mes de septiembre para los tratamientos de secano y los de riego deficitario. Con las lluvias de otoño, los frutos estresados incrementan el peso. La pendiente de la curva de crecimiento del fruto es similar en todos los tratamientos, incluido el control (ET<sub>Cmax</sub>), por lo que aquellos frutos de árboles estresados (secano, RDC1 y RDC2) no pueden llegar a igualar el tamaño de los frutos de árboles bien regados (**cuadro IV**). En el momento de la recolección (21 de noviembre de 2016) el tratamiento control tiene un peso medio de fruto de 4,22 gramos frente a 2,59 g

Un aumento de la dosis de riego se traduce en un incremento de la producción, ya que con el riego se evitan situaciones de estrés hídrico prolongadas. Es muy importante aportar agua de riego suficiente para garantizar la formación de aceite en el otoño.

en el secano. El RDC1 presenta un valor de 3,59 g, mientras que en el RDC2 es de 3,06 g, existiendo diferencias significativas entre ellos. Teniendo en cuenta que el número de frutos por árbol es similar, esta diferencia en el peso del fruto explica claramente las diferencias en la producción final de aceituna de los tratamientos.

El retraso en las lluvias junto con un aporte insuficiente de agua de riego son los responsables de un menor tamaño final de los frutos. Además la lipogénesis también se ha visto afectada, ya que el rendimiento graso de los tratamientos deficitarios y, en mayor medida el secano, es más bajo. Si se considera el rendimiento sobre materia seca (**cuadro IV**) hay 11 puntos de diferencia entre el secano y control (ET<sub>Cmax</sub>), existiendo diferencias significativas entre todos los tratamientos. Estas se mantienen cuando el rendimiento graso se expresa como por-

## CUADRO IV.

PESO MEDIO DEL FRUTO, NÚMERO DE FRUTOS POR ÁRBOL, PRODUCCIÓN DE ACEITUNA Y ACEITE Y RENDIMIENTOS GRASOS EXPRESADOS SOBRE FRUTO (RGH) Y SOBRE MATERIA SECA (RGS) DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.

Tratamiento	Riego (m <sup>3</sup> /ha)	Peso fruto (g)	Núm frutos por árbol	Producción (kg/ol)	Aceite (kg/ol)	RGH (%)	RGS (%)
ET <sub>Cmax</sub>	5140	4,22 a	16105 a	65,4 a	9,13 a	14,0 a	40,2 a
RDC1	1660	3,59 b	15938 a	54,2 b	7,14 b	13,2 b	38,0 b
RDC2	1080	3,06 c	15656 a	46,5 bc	5,79 c	12,5 c	36,4 c
Secano	0	2,59 d	17010 a	42,5 c	4,30 d	10,0 d	29,5 d

centaje de aceite sobre el peso fresco del fruto (cuatro puntos de diferencia entre riego máximo y secano), y coinciden con la evolución del contenido de aceite por fruto (gráfica no presentada).

mantiene en el tiempo, el crecimiento del fruto llega incluso a detenerse.

- En líneas generales, un aumento de la dosis de riego se traduce en un incremento de la producción, ya que con el riego se evitan situaciones de estrés hídrico prolongadas. Es muy importante aportar agua de riego suficiente para garantizar la formación de aceite en el otoño.

- Las lluvias de otoño son imprescindibles para una buena formación de aceite cuando los olivos se encuentran en secano. Pero también son muy importantes para el regadío de olivar, puesto que en la mayoría de los casos el riego no es suficiente para cubrir las necesidades del cultivo. Si estas lluvias de otoño se retrasan demasiado, la formación de aceite y el contenido final del mismo pueden verse afectados negativamente.

- El Ifapa ha desarrollado una herramienta informática para el cálculo de las necesidades de riego de olivares de diversas tipologías. Así mismo calcula los programas de riego más eficaces para una plantación, tanto si ésta es para aceituna de mesa o para la producción de aceite, en función del agua disponible. Dicho programa pueden utilizarlo de forma gratuita en la web [www.servifapa.es](http://www.servifapa.es), en el apartado olivar y aceite. Así mismo, se está diseñando un curso para facilitar el manejo del mismo a través de la plataforma de formación telemática del Ifapa, que estará disponible próximamente. ■

## Conclusiones

Atendiendo a los resultados obtenidos en el presente ensayo, junto con la experiencia acumulada en trabajos previos podemos extraer las siguientes conclusiones:

- El estrés hídrico influye negativamente sobre los procesos de formación de aceite. Ello queda claro en la bibliografía consultada y lo corrobora que los rendimientos grasos obtenidos en los tratamientos deficitarios y por supuesto el secano, son inferiores a los del testigo bien regado. Este estrés hídrico prolongado por la ausencia de lluvias hasta mitad del mes de octubre puede ser la causa de los bajos rendimientos grasos obtenidos en general en la presente campaña.

- El crecimiento del fruto se ve afectado claramente por el estrés hídrico, de manera que cuando éste es severo y se