

## Evaluación del estrés hídrico en una plantación de olivar en seto de alta densidad a partir de medidas de flujo de savia y diámetro del tronco

Cuevas M.V.<sup>1</sup>, Martín-Palomo M.J.<sup>2</sup>, Díaz-Espejo A.<sup>1</sup>, Torres-Ruiz J.M.<sup>1</sup>, Rodríguez-Dominguez C.<sup>1</sup>, Perez-Martin A.<sup>1</sup>, Pino-Mejías R.<sup>3</sup>, Fernández J.E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS-CSIC), Apartado 1052, 41080-Sevilla, España. mvcuevas@irnase.csic.es

<sup>2</sup>ETSIA, Departamento de Ciencias Agroforestales, Carretera de Utrera, 41013-Sevilla, España.

<sup>3</sup>Departamento de estadística e I.O., Universidad de Sevilla, Avda. Reina Mercedes s/n, 41012-Sevilla, España.

### RESUMEN

Para evaluar el estrés hídrico de una plantación de olivar 'Arbequina' de alta densidad se realizaron medidas de flujo de savia (FS) y de variaciones del diámetro del tronco (VDT). Se calcularon las diferencias diarias entre árboles con riego deficitario controlado (RDC, dos tratamientos) y árboles control bien regados, tanto de la transpiración del árbol ( $D_{Ep}$ ) como del valor máximo diario del diámetro del tronco ( $D_{MXDT}$ ). La evolución estacional de  $D_{Ep}$  se ajustó razonablemente bien a la del potencial hídrico del tallo ( $\Psi_{tallo}$ ). La fiabilidad del índice  $D_{MXDT}$  fue menor que la del índice  $D_{Ep}$ .

### INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de olivar en seto de alta densidad son susceptibles de sufrir estrés hídrico debido a la aplicación, casi obligatoria, de estrategias de riego deficitario (RD) y al tamaño reducido de su rizosfera, que reduce los volúmenes de agua disponible. La correcta aplicación de una estrategia de RDC requiere, por tanto, un seguimiento fiable del estrés hídrico de los árboles. Resulta conveniente, para ello, la disponibilidad de un indicador de estrés sensible y robusto. Algunos de los métodos más prometedores para el desarrollo de estos indicadores en olivar se basan en medidas de FS y de VDT (Fernández y Cuevas, 2010; Ortuño y col., 2010). Nuestro objetivo fue evaluar la utilidad de  $D_{MXDT}$  y  $D_{Ep}$  como indicadores de estrés hídrico en una plantación en seto de olivar 'Arbequina' con una densidad de 1667 árboles ha<sup>-1</sup>.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en 2010, en un olivar en seto (37° 15' N, -5° 48' W) con árboles 'Arbequina' de 4 años, plantados a 4 m x 1.5 m. Los primeros 0.6 m del suelo presentaron una textura de 77.7% arena, 20.1% arcilla y 2.2% limo, y una conductividad hidráulica cercana a saturación de 40.7±1.21 cm día<sup>-1</sup> (media ± desviación estándar,  $n = 6$ ). En esta capa, en la que se desarrolla la mayoría de las raíces, el contenido volumétrico de agua ( $\theta_v$ ) a capacidad de campo (potencial mátrico =  $\Psi_m = -0.03$  MPa) fue 0.181 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, con un valor de 0.089 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para  $\Psi_m = -1.5$  MPa. Desde el 1 de junio, día del año (DDA) 152, al 2 de noviembre (DDA 306), se establecieron en la parcela dos tratamientos RDC (60RDC:

60% de la evapotranspiración del cultivo,  $ET_c$  y 30RDC: 30% de  $ET_c$ ) en parcelas de 12 m x 16 m con un diseño de bloques al azar y 4 repeticiones. En una parcela adicional se estableció un tratamiento control (100% de  $ET_c$ ). La evolución de la evapotranspiración potencial ( $ET_o$ ) en la zona se obtuvo de una estación meteorológica cercana, perteneciente a la R.I.A. de la Junta de Andalucía. En cada tratamiento RDC se instrumentó un árbol representativo por parcela, en tres parcelas por tratamiento, con un dendrómetro Plantsens (Verdtech un Nuevo Campo S.A., España) y con dos sondas para la determinación de FS con el método de compensación de pulso de calor, CPC (Tranzflo NZ Ltd., Nueva Zelanda). En la parcela control se instrumentaron tres árboles. Para cada tratamiento RDC se calcularon los valores diarios de  $D_{MXDT}$  ( $D_{MXDT} = MXDT_{RDC} - MXDT_{control}$ ) y  $D_{Ep}$  ( $D_{Ep} = E_{pRDC} - E_{pcontrol}$ ). También se realizaron medidas de potencial hídrico del tallo ( $\Psi_{tallo}$ ) con cámara de Scholander (PMS Instrument Company, Albany, Oregon, EE. UU.), cada quince días durante todo el período de riego. En cada tratamiento RDC se midió en una hoja por árbol de dos árboles representativos por parcela ( $n = 8$ ). En el tratamiento control se muestrearon dos hojas por árbol en cuatro árboles, con objeto de tener el mismo número de muestras que en los tratamientos RDC.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el tratamiento control el contenido relativo de agua en suelo (CRA) se mantuvo próximo a capacidad de campo (Fig. 1d). En los tratamientos RDC los valores de CRA disminuyeron en los periodos en los que las dosis de riego (DR) fueron menores. El aumento de DR a partir del DDA 236 fue suficiente para que en 60RDC se alcanzaran valores de CRA similares al control en unas dos semanas. En 30RDC, tratamiento en el que DR aumentó menos, los valores de CRA no se acercaron a los de capacidad de campo hasta las primeras lluvias significativas, a mediados de octubre (Fig. 1b,c,d). Los valores de  $\Psi_{tallo}$  en los árboles control fueron siempre mayores de -1.4 MPa (Fig. 1e), un valor considerado umbral para estrés hídrico en olivos en años con carga (Moriana y col., 2012). En 60RDC los valores de  $\Psi_{tallo}$  bajaron de ese umbral cuando se redujo el riego a partir de DDA 174, y se recuperaron con el aumento del mismo desde DDA 236 (Fig. 1 c,d). Los árboles 30RDC se estresaron más que los 60RDC a partir de mediados de julio (Fig. 1e), coincidiendo con las diferencias en CRA existentes entre tratamientos (Fig. 1d).

La dinámica de  $E_p$  en los árboles control coincidió con la de la demanda atmosférica, ya que CRA no fue un factor limitante. Sin embargo, las fluctuaciones de  $ET_o$  no tuvieron tanta influencia en los árboles RDC, debido probablemente a las restricciones de agua en suelo (Figs. 1a,d y 2a).

Los valores de MXDT para 60RDC mostraron una dinámica descendente desde DDA 200 a DDA 240, período de máximo estrés hídrico (Figs. 1e y 2b). Los valores de MXDT aumentaron tras el riego de recuperación del DDA 236 (Fig. 1c), con una pendiente similar a

la del tratamiento control. En el tratamiento 30RDC, los valores de MXDT presentaron una evolución decreciente durante el periodo de aumento del estrés hídrico (DDA 174 a 235). La tendencia cambió tras el riego de recuperación en DDA 236. Hacia el final de la estación el crecimiento del tronco en los árboles de este tratamiento fue despreciable (Fig. 2b).

Los valores de  $D_{Ep}$  fueron bajos al principio de la estación, cuando los árboles de todas las parcelas tenían condiciones hídricas similares. Poco después de DDA 174, cuando DR se redujo en ambos tratamientos RDC, presentaron una tendencia negativa, hasta DDA 225 (Figs. 1d y 2c). Durante este periodo, los picos en  $D_{Ep}$  que se registraron coincidieron con los riegos, y con fluctuaciones de  $ET_o$ , como las registradas entre DDA 225 y 235 (Figs. 1a y 2c). Para 60RDC y 30RDC, el modelo ARIMA de series temporales detectó un cambio en la evolución de  $D_{Ep}$  el DDA 225. Para 60RDC no se detectaron cambios durante los DDAs 250-280, probablemente debido a ruido en los datos. Sin embargo, el análisis visual de la Fig. 2c parece mostrar una tendencia creciente de los valores de  $D_{Ep}$  para los DDAs 236-260, permaneciendo luego en valores cercanos a cero hasta el final de la estación. Los valores de  $D_{Ep}$  para 30RDC estuvieron siempre por debajo de los de 60RDC, en concordancia con la evolución de  $\Psi_{tallo}$  (Figs. 1e y 2c). El análisis de series temporales identificó intervenciones para los valores de  $D_{Ep}$  en 30RDC los DDAs 258 y 264, coincidiendo con picos registrados en esos días que coincidieron con fluctuaciones de  $ET_o$  (Figs. 1a y 2c). El análisis de series temporales confirma el ajuste razonablemente bueno que existe al comparar visualmente los valores de  $D_{Ep}$  para los dos tratamientos con los de  $\Psi_{tallo}$  (Figs. 1e y 2c). Nuestros resultados muestran, sin embargo, limitaciones en la fiabilidad de la información derivada de  $D_{Ep}$ . En olivos con elevada disponibilidad de agua en el suelo,  $E_p$  está sensiblemente relacionada con  $ET_o$  como apuntaron Fernández y col. (2001) y Tognetti y col. (2009) y muestran nuestros datos del tratamiento control. En árboles RDC, en cambio, la influencia de  $ET_o$  sobre  $E_p$  es menor, debido a que esta variable ya está condicionada por la escasez de agua en el suelo (Figs. 1a y 2a). Pueden registrarse, por tanto, aumentos repentinos de  $D_{Ep}$  que no se deben a un aumento en el agua del suelo de las parcelas RDC, sino a fluctuaciones de la demanda atmosférica. Estas peculiaridades, y otras mencionadas por Fernández y col. (2011) deben tenerse en cuenta para la correcta interpretación de  $D_{Ep}$ .

Los valores de  $D_{MXDT}$  para 60RDC permanecieron cercanos a cero hasta DDA 180, decrecieron a partir de ahí hasta DDA 236, luego crecieron hasta DDA 259 y, finalmente, mostraron una ligera tendencia decreciente hasta que tuvieron lugar las primeras lluvias, en torno a DDA 280 (Figs. 1b y 2d). Esto coincide con el análisis de series temporales (Fig. 2d). La dinámica de  $D_{MXDT}$  para 30RDC fue similar a la de 60RDC, pero los valores fueron siempre más negativos, en concordancia con el mayor estrés hídrico que sufrieron estos árboles. Al contrario que  $D_{Ep}$ ,  $D_{MXDT}$  (Fig. 2d) no respondió, para ningún tratamiento RDC, al aumento de  $\Psi_{tallo}$  ocasionado por la disminución de  $ET_o$  entre DDA 220-230. Esto pudo deberse, al menos en parte, a que los valores de MXDT se vieron menos afectados que los

de  $E_p$  (Fig. 2a,b). Fernández y col. (2011) observaron que el comportamiento del estoma tenía más influencia en los valores de  $E_p$  que en los de VDT, lo que parece coincide con nuestros resultados. Al final de la estación, los valores de  $D_{MXDT}$  permanecieron mucho más bajos que los obtenidos al principio de la misma, cosa que no ocurrió con los de  $D_{Ep}$ . Esto se debe a que los valores de MXDT son acumulativos y los de  $E_p$  no. El índice  $D_{MXDT}$  tardó más en reaccionar que  $D_{Ep}$  tras reducirse el riego en los árboles RDC. En cambio, reaccionó rápidamente al riego de recuperación desde DDA 236. Eso sí, las evoluciones de  $D_{MXDT}$  a partir de ese día fueron menos ilustrativas de los cambios en  $\Psi_{tallo}$  que las evoluciones de  $D_{Ep}$  (Figs. 1e y 2c,d). Eso pudo deberse a que el crecimiento del tronco del olivo, caracterizado por la evolución de MXDT, no depende sólo del estado hídrico de los árboles. Para los árboles control, por ejemplo, a pesar de que los valores de CRA y de  $\Psi_{tallo}$  fueron prácticamente constantes en el periodo DDA 210-240 (Fig. 1d,e), los valores de MXDT presentaron una dinámica ascendente (Fig. 2e). Se sabe que la cantidad de frutos, edad de los árboles, etc., condicionan estas dinámicas (Fernández y Cuevas, 2010). Cabe esperar que la fiabilidad de  $D_{MXDT}$  se vea reducida, al menos en ciertos estados fenológicos, por diferencias en las dinámicas de crecimiento entre los árboles control y RDC ajenas al estado hídrico de los árboles. Los picos en los valores  $D_{MXDT}$  cercanos a los DDAs 260 y 280 se corresponden con episodios de lluvia (Fig. 1b). La tendencia decreciente de los valores de  $D_{MXDT}$  para los árboles 30RDC nos indica que los árboles no se recuperaron completamente del estrés hídrico, lo que coincide con los valores de  $\Psi_{tallo}$  (Figs. 1e y 2d). La dinámica más horizontal de  $D_{MXDT}$  en los árboles 60RDC coincide con la completa recuperación de éstos al final de este periodo.

## CONCLUSIONES

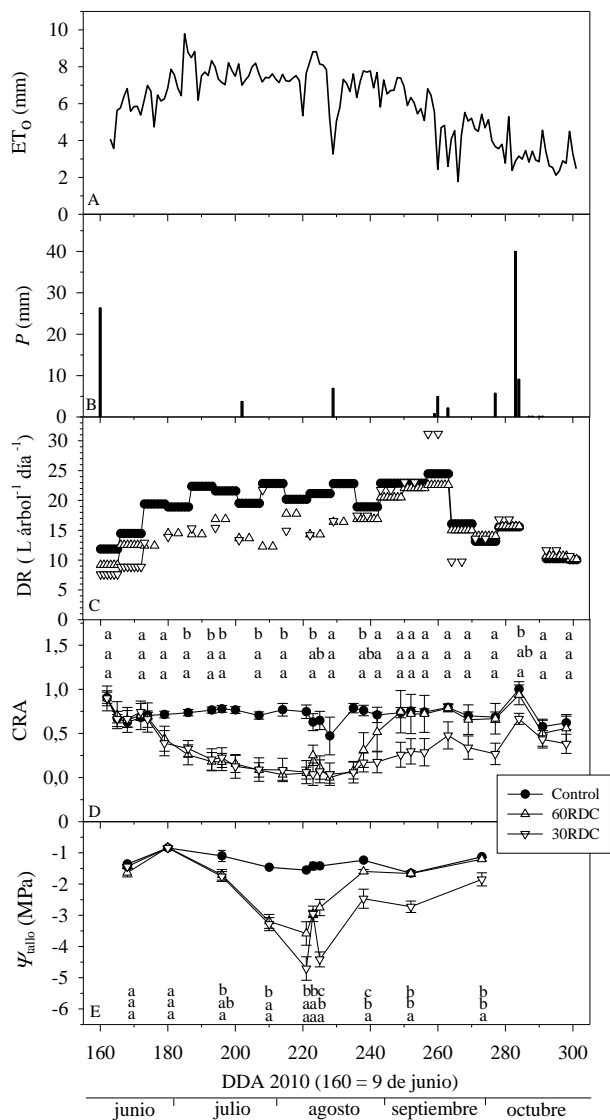
$D_{Ep}$  es un indicador fiable del estrés hídrico en plantaciones de olivar en seto de alta densidad. Para su uso deben tenerse en cuenta, sin embargo, peculiaridades de la respuesta de los flujos de savia en el olivo a cambios en las condiciones medioambientales.  $D_{MXDT}$  mostró una menor fiabilidad que  $D_{Ep}$ . Aunque en ciertos periodos de la época de riego sí fue un indicador sensible y robusto, en otros se mostró poco fiable. Esto se debió a que la dinámica de crecimiento del tronco de los árboles control cambió marcadamente en ciertos momentos del ciclo de riego, a pesar de que no lo hicieron ni el contenido hídrico del suelo ni el nivel de estrés de los árboles. Este comportamiento, observado previamente por nosotros y por otros autores en olivo, se debe a que el crecimiento del tronco también está afectado por factores y respuestas fisiológicas ajenas al estado hídrico de los árboles.

## AGRADECIMIENTOS

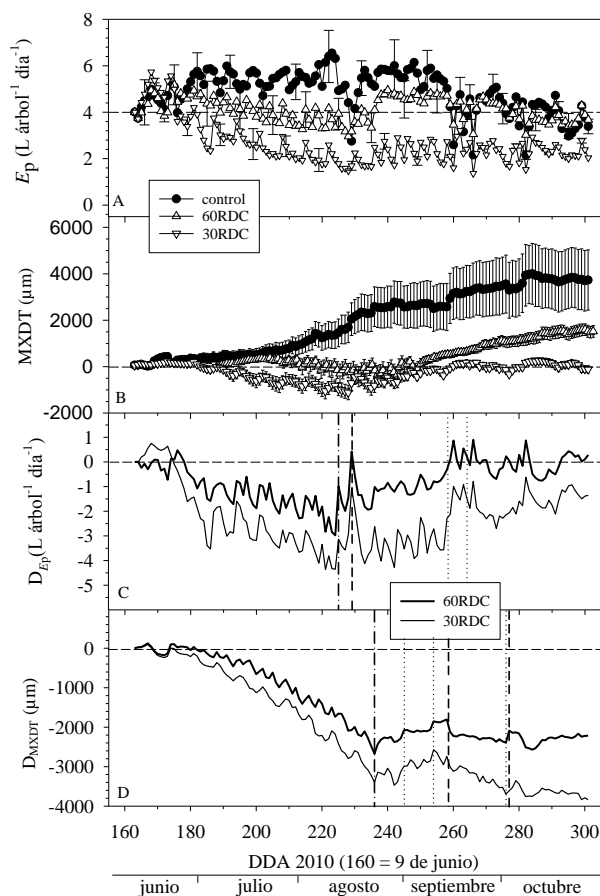
Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, proyecto AGL2009-11310/AGR.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Fernández y Cuevas (2010). Irrigation scheduling from stem ... *Agric. For. Meteorol.* 150: 135-15.
- Ortuño y col. (2010). Could trunk diameter sensors ... *Agric. Water Manage.* 97: 1-11.
- Moriana y col. (2012). Midday stem water potential ... *Agric. Water Manage.* 112: 43-54.
- Fernández y col. (2001). Heat-pulse measurements ... *Agric. Water Manage.* 51: 99-123.
- Tognetti y col. (2009). Assessing environmental controls ... *Agric. For. Meteorol.* 149: 1229-1243.
- Fernández y col. (2011). Combining sap flow and trunk ... *Environ. Exp. Bot.* 72: 330-338.



**Figura 1.** (A) Evolución estacional de la evapotranspiración potencial (ET<sub>0</sub>), (B) precipitación (P), (C) dosis de riego (DR) aplicada a los árboles de cada tratamiento, (D) contenido relativo de agua en suelo (CRA), y (E) potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ<sub>tallo</sub>). Para cada tratamiento (en C, D y E) los datos representan la media de  $n = 8$  y las barras verticales  $\pm$  el error estándar; las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas a  $p < 0.05$ . DDA = día del año.



**Figura 2.** Evolución estacional de (A) la transpiración diaria (E<sub>p</sub>), (B) el diámetro máximo del tronco (MXDT) (C) las diferencias diarias de los valores de E<sub>p</sub> entre los tratamientos RDC y el control (D<sub>Ep</sub>) y (D) las diferencias diarias de los valores de MXDT entre los tratamientos RDC y el control (D<sub>MXDT</sub>). Los datos son la media de los valores registrados en tres árboles representativos por tratamiento. Para comparar entre tratamiento, los datos que se muestran en A son relativos a valores de 4 L·árbol<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> para el DDA 163, los que se muestran en B se calcularon tomando como cero los datos registrados el DDA 163. En C y D los valores se calcularon tomando como cero los datos registrados el DDA 170. Las barras verticales representan  $\pm$  el error estándar. Para mayor claridad, las barras de error en A se han representado cada diez días. Las líneas verticales (de puntos para 30RDC, discontinua para 60RDC y de puntos y rayas para 30RDC&60RDC) que aparecen en C y D indican los DDAs donde se han identificado intervenciones tras la aplicación del modelo ARIMA de series temporales. DDA = día del año.