

# Contracción temprana de diámetro del tronco. Un nuevo indicador altamente sensible al estrés hídrico en nectarinos extratempranos

J.M. de la Rosa, M.R. Conesa, R. Domingo, A. Pérez

Dpto. Producción Vegetal ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Paseo Alfonso XIII, 52, E-30203 Cartagena, España. Josem.delarosa@upct.es

## RESUMEN

Se evaluó la sensibilidad al estrés hídrico de diferentes indicadores de estado hídrico de la planta durante dos años consecutivos en nectarinos extratempranos. Las medidas se realizaron durante la poscosecha y se aplicaron dos tratamientos de riego: i) control (CTL), regado al 120% de la evapotranspiración de cultivo a fin de lograr condiciones no limitantes de agua en el suelo; ii) Tratamiento deficitario (DI), que recibió en torno a un 40 % menos de riego durante la poscosecha. Los indicadores de estado hídrico evaluados fueron: potencial hídrico de tallo al mediodía ( $\Psi_{stem}$ ) y parámetros derivados de las fluctuaciones de diámetro de tronco (FDT): máxima contracción diaria (MDS), contracción temprana entre las 9 y las 12 hora solar (EDS), y contracción tardía (LDS) entre las 12 hora solar hasta el mínimo diámetro de tronco. El indicador más sensible (relación de la intensidad de señal y el ruido) fue  $\Psi_{stem}$  junto con EDS. La intensidad de señal de EDS fue mayor que la de  $\Psi_{stem}$ , aunque con mayor variabilidad. EDS fue mejor indicador que MDS, con alta IS y similar variabilidad. La relación de MDS con  $\Psi_{stem}$  fue curvilínea con un máximo en -1.5 MPa. En cambio, EDS se relacionaba linealmente con  $\Psi_{stem}$ . Son necesarios otros estudios para determinar la sensibilidad al déficit hídrico de EDS en otras especies.

**Palabras clave:** máxima contracción de tronco, contracción temprana de tronco, potencial hídrico de tallo y estrés hídrico.

## 1. Introducción

La escasez de los recursos hídricos que sufren las zonas áridas de España y de otros países obliga a los agricultores a optimizar los recursos hídricos. Para tales fines la utilización de las medidas de los indicadores del estado hídricos de las plantas se presenta como una herramienta prometedora. Las principales cualidades deseables que debe mostrar un indicador son: sensibilidad al estrés hídrico y ser automatizable.

El objetivo de este trabajo es estudiar la sensibilidad de diferentes indicadores tradicionales: potencial hídrico de tallo al mediodía ( $\Psi_{stem}$ ); máxima contracción diaria (MDS) y dos nuevos indicadores derivados de a las FDT: contracción temprana del tronco (EDS) y contracción tardía del tronco (LDS).

## 2. Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo durante dos años consecutivos (2009 y 2010) en una finca comercial localizada en Campotejar (38° 8'N; 1° 13'W). La parcela experimental tenía un área de 2 ha de nectarino cv "Flanoba" injertados sobre híbrido GF-677 en un marco de plantación de 5.5x3.5 m. Los tratamientos de riego fueron: i) Control (CTL), regado al 120% de la evapotranspiración potencial de cultivo (ETc) a fin de mantener condiciones no limitantes de agua en el suelo y ii) un tratamiento de riego deficitario (DI), que recibió un 40% menos de riego en la poscosecha de 2009 mientras que en 2010 el déficit hídrico aumentó gradualmente desde el 20% al 70%.

El diseño experimental consistió en 3 repeticiones por tratamiento distribuidas al azar. Cada repetición estaba compuesta por 3 filas de 15 árboles cada una de ellas. Las medidas se realizaron en los árboles de la fila central.

Las fluctuaciones de diámetro de tronco (FDT) fueron monitoreadas mediante 6 sensores de desplazamiento lineal (LVDT; Solartron Metrology, Bognor Regis, UK, model DF  $\pm$  2.5 mm, precision  $\pm$  10  $\mu$ m) instalados en el lado norte de los troncos a 30 cm de altura y sobre portasensores de aluminio e invar (una aleación compuesta por 64% de Fe y 35% de Ni que presenta dilataciones térmicas mínimas. Las medidas se tomaban cada 30s y se recogían medias cada 10 minutos con un data logger CR10X (Campbell Scientific, Inc., Logan, USA). A partir de las FDT se determinaron varios índices: máximo (MXDT) y mínimo (MNDT) diámetro de tronco y máxima contracción diaria (MDS=MXDT-MXNT). Además se determinaron dos nuevos parámetros: contracción temprana de tronco (EDS), que tenía lugar entre las 9 y el mediodía solar y contracción tardía de tronco (LDS) que ocurría entre el mediodía y el momento en el que se alcanzaba el mínimo diámetro de tronco (en torno a las 16:00, hora solar).

El potencial hídrico de tallo al mediodía ( $\Psi_{stem}$ ) se midió cada 7-10 días en hojas sanas, adultas, cercanas al tronco y envueltas con film de plástico y papel de aluminio al menos dos horas antes de su medida. La medida se realizó en una hoja de cada árbol monitoreado con sensor. Para las medidas se utilizó la cámara de presión (Soil Moisture Equipment Crop. Model 3000).

El 26 de agosto de 2010 se midió la conductancia estomática (Gs) desde las 5 y hasta las 19 (hora solar), cada dos horas con CIRAS2 (PPSystem, Hitchin, Herfordshire, UK). Las medidas se realizaron en hojas soleadas, adultas y sanas en cada árbol monitoreado con sensor.

La sensibilidad al estrés hídrico de los indicadores se avaluó usando la metodología propuesta por Goldhamer y Fereres (2001) [1]. La intensidad de señal (IS) se calculó mediante la relación de los valores del tratamiento deficitario y los del control y la sensibilidad como la relación entre la IS y el coeficiente de variación (ruido) de las medidas. A fin poder comparar las sensibilidades de cada indicador solamente se utilizaron los datos de los días en que se tenían medidas de todos los indicadores.

Las relaciones entre indicadores fueron estudiadas mediante análisis lineal y no-lineal. El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) se utilizó para evaluar el ajuste de las regresiones. El análisis de varianza (ANOVA) se utilizó para evaluar las diferencias entre tratamientos. Todos los análisis se llevaron a cabo con el

software (Statgraphics Plus for Windows versión 4.1).

### 3. Resultados y Discusión

Los valores de  $\Psi_{stem}$  variaron de acuerdo a las variables climáticas, entre -0.4 y -1.06 MPa en CTL durante los dos años de estudio. El valor mínimo alcanzado por DI fue -1.78 y -2.08 MPa en 2009 y 2010, respectivamente.

MDS, EDS y LDS presentaron alta dependencia con las variables meteorológicas. De la Rosa *et al.* (2013) [2] mostró estrechas correlacionado de MDS con  $VPD_{mx}$  y  $T_{mx}$ , en nectarinos bien regados de la misma parcela. Durante el periodo experimental los valores medios de MDS, EDS y LDS fueron 230 y 335  $\mu$ m, 87 y 165  $\mu$ m y 125 y 134  $\mu$ m, para CTL y DI, respectivamente.

Durante el periodo de déficit  $IS_{MDS}$ ,  $IS_{EDS}$ ,  $IS_{LDS}$  y  $SI_{\Psi_{stem}}$  promediaron 1.5 y 1.7, 1.9 y 2.3, 1.0 y 1.2 y 1.4 y 1.5, para 2009 y 2010, respectivamente.  $IS_{EDS}$  fue claramente superior a las de los otros indicadores. En 2009 todos los indicadores disminuyeron los valores de IS al final del periodo, cuando la demanda atmosférica bajó. En cambio, en 2010,  $IS_{EDS}$  y  $SI_{\Psi_{stem}}$  fue elevada (2.8 y 2.7) al final del periodo, cuando el déficit era severo (reducción del 70% del riego en DI), mientras que  $IS_{MDS}$  y  $IS_{LDS}$  fue de 1.4 y 0.7, respectivamente.

Para explicar por qué  $IS_{EDS}$  muestra valores mucho más altos que los de  $IS_{LDS}$  hay que tener en cuenta que la contracción del tronco se produce cuando las pérdidas de agua mediante transpiración son mayores que las entradas de agua por absorción radicular (Ortuño *et al.* 2010 [3]). Por la mañana la conductancia estomática es similar en ambos tratamientos (Figura 1) por lo que la contracción del tronco en DI es mayor ya que la absorción radicular en este tratamiento es menor por tener menos agua en el suelo y estar ésta más fuertemente retenida (datos no mostrados). Por la tarde la menor absorción radicular en DI se compensa con las menores pérdidas de agua debidas a un importante cierre estomático (Figura 1). Por esta razón CTL puede mostrar valores de LDS mayores que los de DI ( $IS < 1$ ) cuando hay un importante cierre estomático. El cierre estomático que tiene lugar al mediodía es debido al efecto conjunto del incremento del déficit de presión de vapor y el bajo contenido de agua en el suelo (Chaves *et al.* 2002 [4]).

Al mismo tiempo que la contracción horaria de tronco en DI era mayor que en CTL, la pendiente de bajada de  $\Psi_{stem}$  también era mayor en DI. En cambio, cuando la contracción horaria era igual

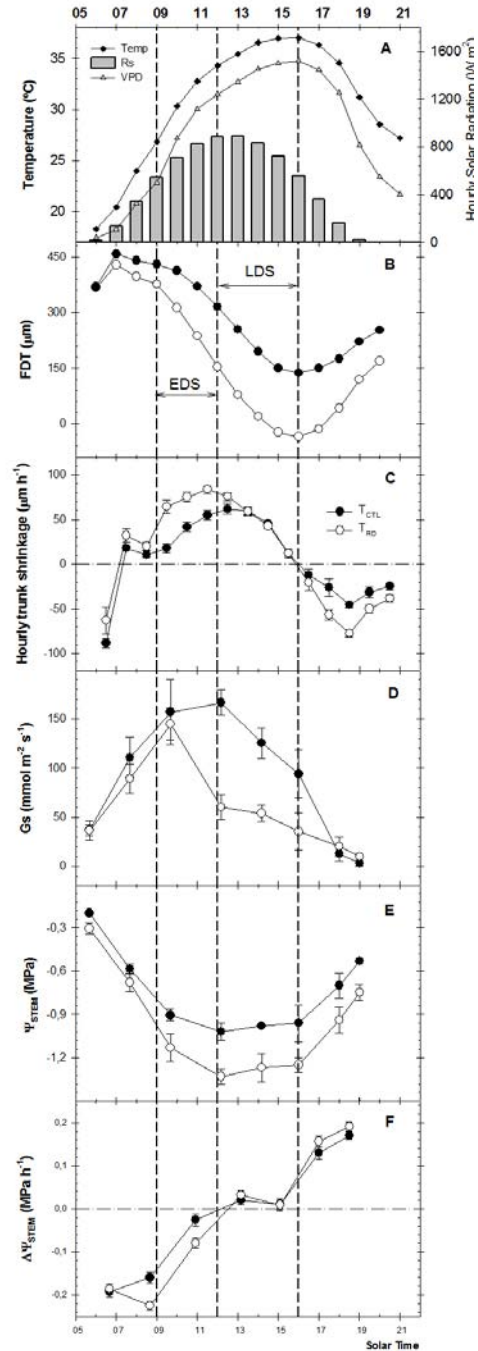
en ambos tratamientos, la pendiente de bajada de  $\Psi_{stem}$  también era igual en ambos tratamientos (figura 1).

(11.3 y 12.2), seguido de MDS (9.5 y 9.5) y de LDS (4.4 y 3.7).

**Tabla 3.** Intensidad de señal (IS), coeficiente de variación (CV) y relación entre IS y CV de las diferentes variables. Los datos muestran las medias de cada periodo. En 2009 el riego en DI fue un 40% menos que en CTL mientras que en 2010 la reducción de riego fue de 20, 30, 50 y 70% para los periodos 181-200, 201-230, 231-260 y 261-280, respectivamente. Las medidas utilizadas corresponden a días en los que se media  $\Psi_{stem}$  y de 6 sensores ó 6 medidas por tratamiento.

Año	Periodo	MDS	EDS	LDS	$\Psi_{STEM}$	
IS	2009	181-200	1.5	1.9	0.8	1.4
		201-230	1.7	2.3	0.9	1.6
		231-260	1.5	1.9	1.2	1.5
		261-280	1.0	1.2	0.9	1.2
		Promedio	1.5	1.9	1.0	1.4
IS	2010	181-200	1.3	1.4	1.1	1.0
		201-230	1.9	2.9	1.5	1.5
		231-260	1.9	2.0	1.2	1.5
		261-280	1.4	2.8	0.7	2.7
		Promedio	1.7	2.3	1.2	1.5
CV	2009	181-200	0.14	0.11	0.12	0.07
		201-230	0.16	0.15	0.20	0.07
		231-260	0.13	0.15	0.19	0.09
		261-280	0.20	0.25	0.35	0.08
		Promedio	0.16	0.17	0.22	0.08
CV	2010	181-200	0.29	0.28	0.49	0.18
		201-230	0.21	0.27	0.37	0.13
		231-260	0.11	0.10	0.25	0.09
		261-280	0.14	0.12	0.29	0.08
		Promedio	0.18	0.19	0.33	0.12
SI CV <sup>-1</sup>	2009	181-200	11.1	17.3	6.6	19.5
		201-230	10.9	15.8	4.5	23.9
		231-260	11.7	12.8	6.5	16.9
		261-280	5.2	4.7	2.5	14.9
		Promedio	9.5	11.3	4.4	19.0
SI CV <sup>-1</sup>	2010	181-200	4.5	5.1	2.3	5.6
		201-230	8.7	11.0	4.1	11.5
		231-260	16.4	20.8	4.7	16.7
		261-280	9.7	23.7	2.6	33.7
		Promedio	9.5	12.2	3.7	12.5

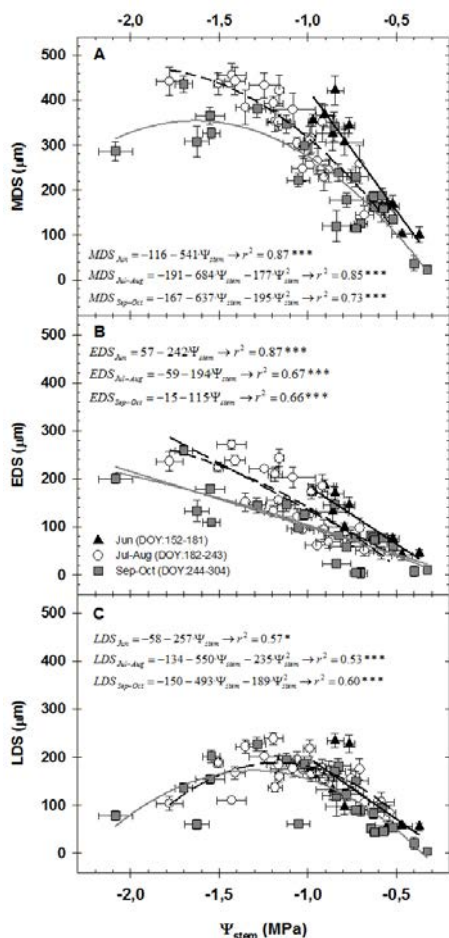
$\Psi_{stem}$  presentó los coeficientes de variación más bajos (0.08 y 0.12), seguido de MDS (0.16 y 0.18), EDS (0.17 y 0.19) y LDS (0.22 y 0.33).  $\Psi_{stem}$ , debido principalmente a sus bajos CV, fue el indicador más sensible al estrés hídrico, mostrando valores de sensibilidad de 19 y 12.5, para 2009 y 2010, respectivamente. Dentro de los indicadores derivados de las FDT, EDS fue claramente el que mayor sensibilidad presentó,



**Figura 1.** Evolución diaria de (A) temperatura (—◆—), déficit de presión de vapor (—▲—) y radiación solar (—■—), (B) Fluctuación de diámetro de tronco, (C) Contracción horaria de tronco, (D) conductancia estomática, (E) potencial hídrico de tallo, (F) pendiente del potencial hídrico de tallo del día 26 August 2010 (DOY 238) para DI (—○—) y CTL (—●—). Los datos representados son medias ± ES de 6 medidas.

$\Psi_{stem}$  se correlacionó bien con diferentes parámetros derivados de las FDT. Los

coeficientes de determinación mejoraban cuando se consideraban tres periodos diferentes dentro de la poscosecha (Junio, Julio-Agosto y Septiembre-Octubre).  $\Psi_{stem}$  vs MDS presentó un diferente patrón de comportamiento conforme avanzaba la poscosecha de tal modo que a un mismo valor de  $\Psi_{stem}$  de -0.9 MPa le correspondían valores de MDS de 375 mm en Junio, 250 en Julio-Agosto y 225 en Septiembre-Octubre. MDS se relacionaba linealmente en Junio en el rango de -0.3 a -0.9 MPa. En los periodos Julio-Agosto y Septiembre-Octubre, el mejor ajuste era no lineal en los intervalos -0.6 a -1.8 MPa y -0.3 a -2.1 MPa, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Relación entre  $\Psi_{stem}$  and (A) máxima contracción de tronco (MDS), (B) Contracción temprana de tronco (EDS) y (C) contracción tardía de tronco (LDS) para diferentes periodos de poscosecha: Junio (▲), Julio-Agosto (○) y septiembre-Octubre (□). Cada punto corresponde al promedio diario de 6 sensores y medidas por tratamiento. Se representa el error estándar bidireccional.

En cambio, EDS se relacionó linealmente, aunque la pendiente también decrecía

conforme avanzaba el periodo. Esta disminución de la pendiente conforme avanza el periodo puede ser debida a la pérdida de elasticidad de los tejidos del tronco (Intrigliolo and Castel 2004 [5]). LDS estaba relacionado con  $\Psi_{stem}$  mediante curvas más pronunciadas que las de MDS. En este caso las curvas no diferirían entre periodos.

#### 4. Conclusiones

EDS ha presentado alta sensibilidad al déficit hídrico incluso en condiciones de estrés severo, mejorando por tanto el comportamiento de MDS. Además, la cualidad de ser fácilmente automatizable hacen de este nuevo indicador una herramienta prometedora para la programación del riego en el futuro. Sin embargo son necesarios nuevos trabajos para testar el comportamiento de este indicador en otros cultivos.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el ministerio español de ciencia e innovación (AGL2010-19201-C04-04), por el proyecto europeo SIRRIMED (FP7-KBBE-2009-3-245159) y por la Región de Murcia (08845/PI/08).

#### 6. Referencias bibliográficas

[1] Goldhamer, D.A., Fereres, E., 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig Sci.* 20, 115-125.

[2] De la Rosa JM, Conesa MR, Domingo R, Torres R, Pérez-Pastor A (2013) Feasibility of using trunk diameter fluctuation and stem water potential reference lines for irrigation scheduling of early nectarine trees. *Agric Water Manage* 126: 133-141.

[3] Ortuño MF, Conejero W, Moreno F, Moriana A, Intrigliolo DS, Biel C, Mellisho CD, Pérez-Pastor A, Domingo R, Ruiz-Sánchez MC, Casadesus J, Bonany J, Torrecillas A (2010) Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agr Water Manag* 97: 1-11.

[4] Chaves MM, Pereira JS, Maroco J, Rodrigues ML, Ricardo CPP, Osório ML, Carvalho I, Faria T, Pinheiro C (2002) How Plants Cope with water stress in the field. *Photosynth growth. Annals of Botany* 89: 907-916.

[5] Intrigliolo DS, Castel JR (2004) Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrig Sci* 23 (2): 93-102.