



Revisión bibliográfica FLUCTUACIONES DEL DIÁMETRO DEL TRONCO COMO INDICADOR DE ESTRÉS EN FRUTALES Y SU USO EN EL MANEJO DEL RIEGO

Review

Stem diameter fluctuations as stress indicator in fruit trees and its use in irrigation management

Yusnier Díaz Hernández^{1✉}, Arturo Torrecillas Melendreras²
y Pedro Rodríguez Hernández¹

ABSTRACT. Indexes derived from stem diameter fluctuations (SDF) and leaf water potential have been used in irrigation programs for different cultures. Several studies have been conducted to address SDF indexes in irrigation water management. This work has as aims to emphasize main progresses using derived indexes and reference equations obtained from SDF indexes to do an accurate management of irrigation. Of these, maximum daily trunk shrinkage (MDT) and trunk growth rate (TGR) are the most used. Thus far recent studies have shown that certain factors may affect the outcomes of SDF indexes prior to obtaining base lines. These include crop load, tree age and size, and soil moisture at different depth regardless of the water deficit of the plant. In addition, SDF indexes are related to climate variables such as air temperature and vapor pressure deficit. In order to study these variables, a wide number of sensors are required for their measurement. This makes the methodology more complicated for irrigation management in commercial agriculture.

RESUMEN. El empleo de los índices derivados de las Fluctuaciones del Diámetro del Tronco (FDT) y potencial hídrico foliar han sido empleados en el manejo y programación del riego en varios cultivos. Numerosos han sido los trabajos realizados en función de abordar los índices derivados de las FDT para ser utilizados en la programación del riego. Este trabajo tuvo como objetivos señalar los principales avances en el empleo de los índices derivados de las FDT y las ecuaciones de referencias obtenidas a partir de dichos índices para realizar un manejo preciso del riego. Dentro de estos índices, la Máxima Contracción Diaria del Tronco (MCD) y la Tasa de Crecimiento del Tronco (TCT) son los más empleados. Por otra parte, se ha encontrado que varios son los factores capaces de afectar los valores obtenidos de dichos índices para obtener las líneas de base, como son la carga productiva, la edad y el tamaño del árbol, así como la humedad del suelo a diferentes profundidades, independientemente del grado de estrés hídrico en la planta. La temperatura media del aire, así como el déficit de presión de vapor son las variables climáticas relacionadas con los índices derivados de las FDT. Para realizar las determinaciones de esta variable, son necesarios un número elevado de sensores, lo que hace más complejo el empleo de esta metodología en parcelas comerciales.

Key words: tree, leaf water potential, irrigation,
environmental temperature

Palabras clave: árbol, potencial hídrico foliar, riego,
temperatura ambiental

INTRODUCCIÓN

El manejo del agua constituye un aspecto de vital importancia, donde deben ser tomadas soluciones a corto y mediano plazo para asegurar la protección e integridad del recurso

hídrico (1). En este sentido, realizar una óptima determinación de los requerimientos hídricos de las plantas, a través de criterios físicos y biológicos ha tomado gran interés (2), lo cual ha generado prácticas innovadoras y precisas en el manejo del riego (1).

¹ Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA),
gaveta postal 1, San José de las Lajas,
Mayabeque, Cuba, CP 32700.

² Centro de Edafología y Biología Aplicada
del Segura (CSIC), P.O. Box 164, E-30100
Espinarado, Murcia, España.

✉ dyusnier@gmail.com

La madera del tronco es un material poroso, higroscópico y heterogéneo en su estructura, presenta un comportamiento anisotrópico, propiedades que varían en su magnitud en dirección radial, tangencial y axial, por lo que sus propiedades físicas son también variables (3). En este sentido, el tronco desarrolla un comportamiento de contracción y dilatación a lo largo del día, lo que ha venido en llamarse Fluctuaciones del Diámetro del Tronco (FDT).

Varios autores han mostrado la posibilidad de la mejora en el uso eficiente del agua mediante el manejo preciso del riego, basado en indicadores fisiológicos, los cuales muestran información del estado hídrico de las plantas (4, 5).

El manejo del riego mediante el empleo de variables climáticas y el estado hídrico de la planta permite un ahorro sustancial de agua. Sin embargo, se deberían obtener correlaciones de estas determinaciones con el estado hídrico de la planta, a través de procesos fisiológicos como el potencial hídrico del tallo (Ψ_t) (6). El empleo de los índices derivados de las FDT y potencial hídrico del tallo, como indicadores de estrés hídrico en las plantas y su uso en el manejo y programación del riego, ha sido descrito anteriormente (4, 5). Dichos autores han presentado los principales aspectos de los indicadores mencionados anteriormente en la programación del riego. En este sentido se han realizado investigaciones, con el objetivo de abordar aquellos temas que permitan esclarecer en detalle las posibilidades de emplear los índices derivados de las FDT para programar el riego. Por ello este trabajo tiene como objetivo realizar una revisión acerca de los principales resultados en esta área.

GENERALIDADES SOBRE LAS FLUCTUACIONES DEL DIÁMETRO DEL TRONCO

Los tallos y troncos de todas las plantas presentan ciclos diarios de dilatación y contracción, lo que es conocido como FDT (7). El registro continuo de estas variaciones del diámetro del tronco ha sido propuesto como una herramienta útil para el manejo del riego (8, 9).

En los últimos años ha habido un renovado interés en el empleo de los sensores utilizados para medir las fluctuaciones del diámetro del tronco, utilizándolos, a su vez, como indicadores del estado hídrico de la planta, debido principalmente a que esta técnica podría proporcionar información automatizada del estado hídrico de la planta en tiempo real (5).

Se plantea que el empleo de esta metodología implica menos viajes al campo y se logra una importante disminución en el empleo de la fuerza de trabajo, en comparación con mediciones de otros indicadores del estado hídrico de la planta como el potencial hídrico foliar (Ψ_f).

El potencial hídrico foliar ha sido el parámetro más utilizado para evaluar el estado hídrico de las plantas^A (10). Sin embargo, se ha demostrado que el potencial hídrico del tallo al mediodía (Ψ_{tmd}) es más adecuado para la programación del riego en cultivos leñosos (11); además, se ha comprobado que es mejor indicador del estado hídrico de la planta que el Ψ_f (12).

^A Lu, P. "Mango water relations and irrigation scheduling" [en línea]. En: *International Conference on Mango and Date Palm: Culture and Export.*, edit. University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan, 2005, pp. 20-23, [Consultado: 29 de noviembre de 2015]. Disponible en: <http://www.geocities.ws/mdce2005/MDCE2005/10-9_19.pdf>.

Sin embargo, estos indicadores presentan inconvenientes que afectan su empleo en la programación del riego, como son, los frecuentes viajes al campo y el gran número de labores necesarias para su medición (13).

Estudios recientes realizados en plantaciones de limonero, sugieren el empleo de los potenciales hídrico Ψ_f y del tallo (Ψ_t) como indicadores del estado hídrico de las plantas, cuando no existan posibilidades del empleo de registros continuos de otros indicadores (14).

El Ψ_t , como se ha mencionado anteriormente, ha sido utilizado ampliamente como indicador modelo del estado hídrico de las plantas leñosas, por tal motivo, muchas investigaciones han estado encaminadas a la búsqueda de indicadores en las plantas que permitan automatizar el riego, comprobando su veracidad con dicho indicador. En este sentido, indicadores de intercambio gaseoso han sido evaluados como apropiados para indicar una situación de déficit hídrico. Sin embargo, estas evaluaciones no pueden ser automatizadas, por lo que es necesario prestarle atención a aquellos indicadores que tengan la posibilidad de poder automatizarse, como es el caso de las fluctuaciones del diámetro del tronco (15).

Una de las ventajas que presenta la utilización de los parámetros derivados de las FDT es la posibilidad de utilizarlos para automatizar el riego (5), así como la pronta y fiable respuesta frente al déficit hídrico (16). Las mediciones de las fluctuaciones del diámetro del tronco se llevan a cabo, generalmente, con sensores de desplazamiento lineal y variable (LVDT), por sus siglas en inglés. Las características y generalidades sobre este tipo de sensores que se utilizan para estas evaluaciones han sido descritas en detalle (5).

A partir del ciclo diario del crecimiento del tronco se obtienen varios índices (Figura). En este sentido, el indicador más común de las FDT es la Máxima Contracción Diaria del Tronco (MCD), la cual bajo un alto crecimiento del tronco presenta valores muy bajos y no podría ser empleada como indicador de estrés hídrico (9). Por otra parte, en árboles jóvenes la disminución en el crecimiento del tronco es una de las primeras respuestas de la planta frente al estrés hídrico, por lo que se ha propuesto la Tasa de Crecimiento del Tronco (TCT) como indicador más apropiado de estrés (17, 18). Por lo tanto, la MCD y TCT son, en ese orden, los índices derivados de las fluctuaciones del tronco más ampliamente utilizados para el manejo del riego (4).

El empleo de las variaciones del diámetro del tronco como indicadores de estrés en árboles como el olivo disminuye con la edad del árbol, así como la carga productiva. Sin embargo,

cuando estos índices se relacionan con el crecimiento del tronco, principalmente la TCT y el Máximo Diámetro del Tronco (MXDT), tienen una gran posibilidad como indicadores de estrés (19).

Las relaciones significativas obtenidas entre el potencial hídrico del tallo y la TCT ($r^2=0,60$), así como con el crecimiento diario del fruto ($r^2=0,78$), revelan la gran conexión que existe entre las variaciones del tronco y los frutos, causadas por estrés hídrico en el cultivo del naranjo (20).

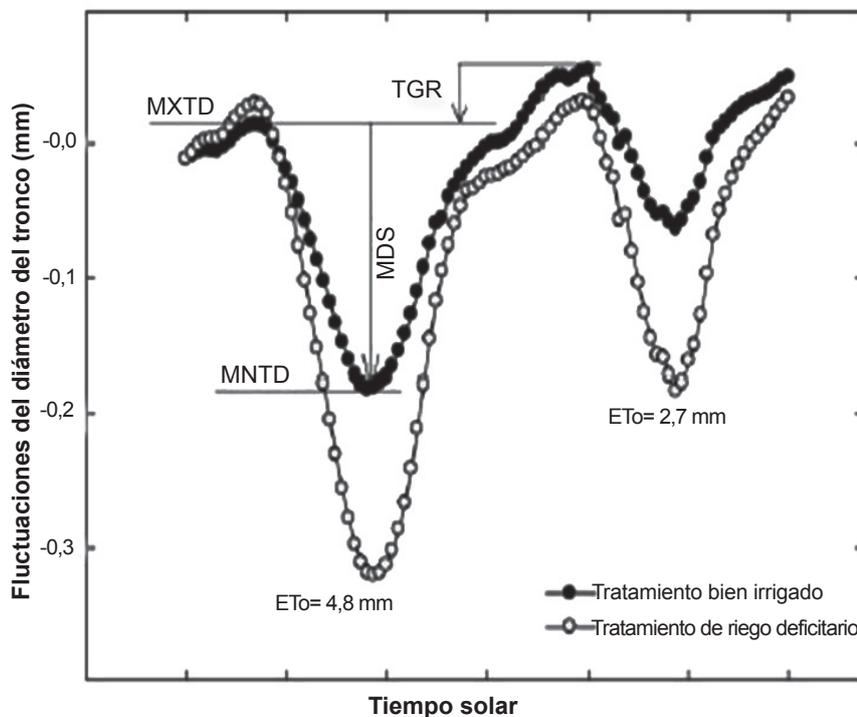
Los datos corresponden a dos días con diferente demanda evaporativa (ETo) en árboles de ciruelo bien regados y bajo déficit hídrico (5).

Las fluctuaciones del diámetro del tronco guardan una estrecha relación con la disponibilidad de agua en el suelo, por lo que una variación en el contenido de humedad en este podría afectar los valores de la MCD. En árboles frutales de madurez temprana bajo condiciones de déficit hídrico,

el aumento de los valores de la MCD ha estado asociado a una disminución del potencial hídrico del tronco al mediodía (5). En este sentido, varios han sido los estudios realizados en diferentes especies de frutales y los valores obtenidos de este indicador varían en función de la especie en cuestión. De esta manera se han encontrado valores de potencial hídrico de tallo (alrededor de -1,5 MPa en olivo (*Olea europaea* L.), -1,8 MPa en limón (*Citrus limon* L.), -1,0 MPa en uva (*Vitis vinifera* L.), y -1.4 MPa en mandarina (*Citrus clementina* H.) referido por varios autores (5). Algunos factores se han señalado como responsables de este comportamiento en los cambios de MCD, los cuales han sido descritos (5).

Estudios previos que hacen referencia a los indicadores que derivan de las FDT (4, 5) concuerdan en que dichas variaciones no solo dependen del estrés hídrico, sino que el patrón de crecimiento en diferentes épocas, la caída de los frutos, el tamaño y la edad de los árboles, así como otros factores, limitan el empleo de los parámetros derivados de las FDT, como indicadores de estrés hídrico. Varios autores han mostrado la utilidad de este parámetro como indicador de la intensidad transpiratoria de las plantas, siempre y cuando exista una humedad adecuada en el suelo (21, 22), o sea, los árboles regados al 100 % de la evapotranspiración del cultivo.

La MCD ha estado poco correlacionada con la humedad del suelo. En varias especies de frutales se han obtenido coeficientes de determinación (r^2) de 0,35 a profundidades de 0-120 cm (23), señalándose como una correlación negativa entre la MCD y la humedad en el suelo a la profundidad mencionada. Este comportamiento ha sido observado en el cultivo del limonero a una profundidad de 0-20 cm (23), de 0-60 cm en melocotonero (24) y



Índices derivados de las fluctuaciones del diámetro del tronco (FDT), máximo (MXTD) y mínimo (MNTD) diámetro diario del tallo, máxima contracción diaria (MDS) y tasa de crecimiento del tallo (TGR) por sus siglas en inglés

manzano (25) y de 0-100 cm en plantas jóvenes de cerezo (26). Ecuaciones de regresión entre la MCD, variables meteorológicas y el contenido de humedad en el suelo a una profundidad de hasta los 120 cm, han sido utilizadas para estimar la MCD en parcelas de manzano, bajo condiciones no limitantes de agua en el suelo (25).

Como indicador de estrés hídrico en árboles de granado (*Punica granatum* L.) la MCD se señaló más adecuada que el potencial hídrico del tallo y parámetros de intercambio gaseoso, como la conductancia estomática y la fotosíntesis para la programación del riego en este cultivo (15).

Algunas investigaciones sugieren que el almacenamiento del agua en el tronco de los árboles es controlado por la transpiración de la copa, por lo que se puede inferir que las propiedades estructurales del tronco tienen gran influencia en el almacenamiento del agua en la planta (27).

En cultivos frutales como manzano, se ha visto una estrecha relación entre la máxima contracción del tronco y las variables climáticas, así como con indicadores de relaciones hídricas como el potencial hídrico del tallo (25). En árboles de hojas siempre verdes como el cultivo del mango, la MCD ha mostrado tener una mayor sensibilidad para detectar condiciones de estrés que el flujo de savia, lo cual presenta una mayor posibilidad de utilizar el parámetro derivado de las fluctuaciones del diámetro del tronco para la programación del riego (10).

La estrecha relación obtenida entre la MCD y el potencial hídrico del suelo ($r^2=0,65$) refleja la sensibilidad de la MCD, al disminuir el contenido de agua en el suelo. En esta relación, se obtiene un valor de 0,30 mm de contracción del tronco donde se estabiliza la MCD, el cual ha sido propuesto como valor umbral para

ser utilizado en la programación del riego^A.

En árboles jóvenes de cerezo, la MCD es un buen indicador para el manejo del riego, sugiriendo un valor umbral de 0,30 mm. Por otra parte, mediciones conjuntas de otras variables continuas, como el flujo de savia con índices derivados de las FDT, podría brindar información más detallada sobre la evolución diaria del estado hídrico de la planta^A.

Varios han sido los trabajos que señalan la variabilidad que presenta la MCD entre los árboles (11, 28). En este caso, lo más recomendable sería seleccionar árboles con características similares en cuanto al grosor del tallo y sobre todo la altura en que se coloquen los dispositivos LVTD, lo cual no debe ser muy cerca del suelo para evitar contacto con algún animal. Algunos autores le atribuyen a esta variabilidad entre árboles a la gran variabilidad anatómica de los tallos (15). Cuatro árboles, tratados cada uno como réplicas, han sido mencionados como suficientes para eliminar la variabilidad que puede presentarse en árboles de olivo, ubicados en la misma parcela con condiciones similares de humedad en el suelo (19). Los datos obtenidos de la MCD en olivo presentaron gran variabilidad, por lo que un gran número de sensores se estiman necesarios para ser utilizados, alrededor de 34 (12).

Pese a los resultados en esta área, son necesarios un gran número de árboles para realizar las determinaciones, además de que es necesario realizar determinaciones ocasionales del estado hídrico de la planta, para complementar los valores obtenidos de la MCD (13).

Si bien los índices derivados de las FDT han mostrado ser una herramienta útil en la programación del riego, dado fundamentalmente por su relación directa con indicadores del estado hídrico de las plantas,

aún para su aplicabilidad práctica en condiciones comerciales, debe ser aún explotada en aras de seleccionar los parámetros derivados de las FDT más directamente relacionado con indicadores de estrés en cada especie en cuestión. Por otra parte, la selección de un indicador de estrés debe presentar posibilidades de ser automatizado, lo que haría más eficiente la programación del riego.

ECUACIONES DE REFERENCIA

Los valores de referencia de un indicador del estado hídrico de las plantas pueden obtenerse en plantas en condiciones no limitantes de agua en el suelo (29) o bien mediante la obtención de ecuaciones de referencia, relacionando los valores de un indicador del estado hídrico de la planta con datos en plantas en condiciones no limitantes de agua y la demanda evaporativa de la atmósfera (11, 29).

Varias investigaciones han estado enfocadas en la búsqueda de variables climáticas que mejor se relacionen con la MCD, para poder utilizar dichas ecuaciones en la programación del riego (30). En este sentido, estudios realizados previamente sugieren a la temperatura media diaria como variable del clima mejor relacionada con la MCD en cultivos de cítricos (31, 32) y olivo (33). Sin embargo, dicha variable se ha mencionado como un indicador no preciso de la demanda evaporativa (34), ya que la respuesta fisiológica de cada especie es distinta en función de su condición ambiental; a pesar de ello, varios autores la prefieren por su fácil medición (32); además, de que es una variable de muy fácil automatización y en caso de que no se cuente con tecnologías modernas para su medición, podría ser obtenida mediante metodologías convencionales.

Por otra parte, el déficit de presión de vapor (DPV) ha mostrado ser una variable climática apropiada en cultivos como almendro (35), manzano (25) y nectarina (36) (Tabla).

Pese a los resultados anteriormente expuestos, varios han sido los autores que señalan una serie de factores que pueden afectar los valores de MCD, independientemente de las condiciones ambientales, como la edad del árbol (35, 37), el tamaño del árbol (38), el período fenológico (37), la carga productiva (15, 39) y alternancia productiva (40).

Sin embargo, se ha señalado que la MCD no fue significativamente influenciada por la productividad o la carga productiva en limonero (32). Este comportamiento, que se presenta entre los llamados frutales de hueso y los cítricos, podría atribuirse al hecho de que los frutos de cítricos se encuentran en el árbol casi todo el año^B.

Por otra parte, estudios realizados en el cultivo del melocotonero en el periodo postcosecha, señalan que los valores

de la MCD estaban estrechamente relacionados con el crecimiento activo de las raíces^B. Estos últimos resultados sugieren que el uso de las ecuaciones de referencia para el manejo del riego es más complejo de lo que se pensaba, lo cual implica que una ecuación de referencia, obtenida bajo ciertas condiciones, no pueda ser utilizada en años posteriores si las características de los árboles son diferentes (5).

Debido a la serie de factores que pueden afectar el empleo de los parámetros derivados de las FDT, las líneas de referencia obtenidas deberán ser calibradas previamente para su empleo en la parcela actual (32).

En este sentido, varios autores han planteado relacionar los valores actuales de la MCD de un tratamiento dado con aquellos datos obtenidos en árboles bien regados dentro de la misma parcela (29). Resultados recientes han demostrado que el empleo de líneas base, obtenidas previamente en un cultivar de olivo, pueden ser utilizadas para estimar líneas de base en parcelas diferentes,

aunque con condiciones similares y cultivares diferentes (41).

Esta metodología implica una mayor complejidad en el proceso, ya que deberán existir diferentes programas de riego dentro de la misma parcela, así como un aumento de los costos de inversión; o sea, un mayor número de sensores (5). Por otra parte, los árboles para ser utilizados como referencia a escala de campo pueden ser bien regados, ya sea por el aumento del número de goteros o su tasa de descarga, por lo cual, no es necesario mantener diferentes parcelas de riego (5).

Uno de los principales aspectos que se debe tener en cuenta para el empleo de las ecuaciones de referencias en el manejo del riego, es el poder utilizarlas durante todo el ciclo del cultivo, así como su veracidad en años posteriores. Estudios realizados en el cultivo del limonero muestran que las ecuaciones de referencia de la MCD, relacionadas con la demanda evaporativa (DPVm y Tm), presentan validez interanual (32).

Lista de ecuaciones de referencia de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) en función de variables climáticas seleccionadas y variables del estado hídrico de algunos árboles frutales

Especie	Edad	Periodo fenológico	Ecuación de referencia	r ²	Fuente
Almendro (<i>Prunus dulcis</i>) cv Marta	Joven	Anual	MDS= 0,16 DPVmx	0,80	37
Limon (<i>Citrus limon</i>) cv Fino	Adulto	Anual	MDS= _0,04 + 0,01 Tm	0,77	34
Mandarino (<i>Citrus clementina</i> x <i>Citrus reticulata</i>) cv Fortuna	Adulto	marzo-ictubre	MDS= _0,17 + 0,27 DPVm	0,81	33
Olivo (<i>Olea europaea</i>) cv Arbequina	Joven	agosto-septiembre	MDS= _0,18 +0,01 Tmd	0,80	39
Plum (<i>Prunus salicina</i>) cv Black Gold	Adulto	Anual	MDS= 0,01 + 0,11 DPVm	0,65	40
Manzano (<i>Malus communis</i>) cv Golden Delicious	Adulto	abril-septiembre	MDS= -380,37Ψt -102,06	0,76	26
Olivo (<i>Olea europaea</i> L.) cv Manzanillo	Adulto	Anual	MDS= 0,23+0,14 DPVm	0,48	35
Olivo (<i>Olea europaea</i> L.) cv Manzanillo	Adulto	abril-octubre	MDS = -667 + 34 Tmx	0,60	43
Nectarina (<i>Prunus persica</i> L.) cv. Flanoba	Adulto	Anual	MDS = -16,0-333, 3 Ψt	0,63	38

DPVmx, déficit de presión de vapor máximo
Tmx, temperatura máxima del aire

DPVm, déficit de presión de vapor medio
Ψt, potencial hídrico de tallo

Tmd, temperatura del aire al medio día

En el cultivo de la nectarina las ecuaciones obtenidas fueron estables durante tres años y no fueron afectadas por la carga productiva. Sin embargo, tiene un efecto negativo el periodo fenológico, ya sea la fase de crecimiento del fruto como la postcosecha (36). Las diferencias obtenidas en varias parcelas con el empleo de las ecuaciones de referencia pueden estar asociadas al cultivar empleado como referencia, así como las condiciones ambientales presentes (12).

De manera general, pese a las interrogantes en torno al empleo de las líneas de base para el manejo del riego, existe una gran coincidencia entre los autores el poder utilizarlas con este fin. La obtención de significativos r^2 entre la MCD y las variables del clima, permiten realizar una programación del riego más precisa, además de poder automatizar el proceso.

EMPLEO DE LAS FDT EN DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO

Resultados esperanzadores se han obtenido en árboles frutales en el empleo de los parámetros derivados de las FDT en estrategias de riego deficitario (31). En el cultivo del olivo, recientes estudios señalan que la MCD no es el indicador más recomendable para un monitoreo óptimo del riego; sin embargo, lo consideran apropiado para estrategias de riego deficitario (40). En este caso, el nivel de estrés será indicado por valores más bajos que en aquellos obtenidos a partir de las ecuaciones de referencia

(41). Estudios realizados en esta especie, plantean la validez del empleo de parámetros derivados de las FDT para su uso en diferentes estrategias de riego deficitario (19). En el cultivo del melocotón, las determinaciones obtenidas de la MCD han sido propuestas para realizar estrategias de riego deficitario (15).

Las correlaciones significativas encontradas entre el potencial hídrico del tallo y FDT y FDF (fluctuaciones del diámetro del fruto, $r^2 = 0,60$ y $0,78$ respectivamente) revelan la gran conexión que existe entre los órganos evaluados en condiciones de estrés. De acuerdo a esto, estrategias de riego deficitario pueden ser aplicadas mediante las FDT, previendo un efecto negativo en el crecimiento del fruto (20).

Estudios anteriores señalan que los índices derivados de las FDT prometen ser una alternativa en diferentes estrategias de riego deficitario. Recientemente, varios autores plantearon los principales adelantos en estos estudios (5). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los valores mencionados en dichos ensayos no deberían ser utilizados como referencia en otros estudios sin una previa calibración. De manera general, varios autores concuerdan que con el uso de dichos índices se ahorra una cantidad considerable de agua sin afectar la productividad y calidad de la frutas (13, 36). En este sentido, se ha obtenido un ahorro entre 30 y 54 % en granado y mandarina respectivamente (15, 31).

CONCLUSIONES

♦ La máxima contracción diaria se considera un índice confiable de las fluctuaciones del diámetro del tronco para la programación y automatización del riego, pero se debe incluir más información sobre otros parámetros como el flujo de savia, potencial de tallo o variables fisiológicas como la

conductancia estomática para la toma de decisiones de riego.

- ♦ El alto número de sensores para eliminar la variabilidad entre los árboles es una limitante para el empleo de esta metodología a nivel de parcela y para los productores, solo cuando se utilizan los sensores de desplazamiento lineal y variable.
- ♦ La obtención de líneas de base o ecuaciones de referencias relacionadas con el estado hídrico de las plantas, así como con las variables del clima, permite establecer estrategias de riego.
- ♦ Las ecuaciones de referencia pueden ser obtenidas en árboles bien regados dentro de la misma parcela; sin embargo, debido a los múltiples factores capaces de afectar dichas ecuaciones, las mismas deben ser calibradas previamente a su empleo en el manejo del riego, lo cual podría complicar un poco su uso en parcelas comerciales.
- ♦ La validez de los índices derivados de las fluctuaciones del diámetro del tronco para el manejo del riego, indican hallazgos positivos en el empleo de estrategias de riego deficitario, donde se debe tener en cuenta más información acerca de las fluctuaciones del diámetro del tronco para su automatización.

BIBLIOGRAFÍA

1. Katerji, N.; Mastrorilli, M. y Rana, G. "Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis". *European Journal of Agronomy*, vol. 28, no. 4, 2008, pp. 493-507, ISSN 1161-0301, DOI 10.1016/j.eja.2007.12.003.
2. Katerji, N. "Les indicateurs de l'état hydrique de la plante". En: ed. Riou C., *L'Eau dans l'espace rural: production végétale et qualité de l'eau*, edit. INRA, Institut national de la recherche agronomique, 1997, pp. 169-177, ISBN 978-2-7380-0708-7.

^B Brito, J. J. *Bases para la programación del riego en limonero con ecuaciones de referencia de la máxima contracción diaria del diámetro del tronco*. Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Producción Vegetal, 2010, 126 p.

3. Muñoz, A. F. y Moreno, P. P. A. "Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium*, *Tectona grandis* y *Terminalia amazonia*, maderas de plantación en Costa Rica". *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 19, no. 2, 2013, pp. 287-303, ISSN 20073828, 20074018, DOI 10.5154/r.rchscfa.2012.06.040.
4. Fernández, J. E. y Cuevas, M. V. "Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review". *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 150, no. 2, 2010, pp. 135-151, ISSN 0168-1923, DOI 10.1016/j.agrformet.2009.11.006.
5. Ortuño, M. F.; Conejero, W.; Moreno, F.; Moriana, A.; Intrigliolo, D. S.; Biel, C.; Mellisho, C. D.; Pérez, P. A.; Domingo, R.; Ruiz, S. M. C.; Casadesus, J.; Bonany, J. y Torrecillas, A. "Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives". *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 1, 2010, pp. 1-11, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2009.09.008.
6. Al-Yahyai, R. "Managing irrigation of fruit trees using plant water status". *Agricultural Sciences*, vol. 3, no. 1, 2012, pp. 35-43, ISSN 2156-8553, DOI 10.4236/as.2012.31006.
7. Kozłowski, T. T. "Diurnal Variations in Stem Diameters of Small Trees". *Botanical Gazette*, vol. 128, no. 1, 1967, pp. 60-68, ISSN 0006-8071, DOI <http://dx.doi.org/10.1086/336380>.
8. Cabibel, B.; Isbérie, C. y Horoyan, J. "Flux de sève et alimentation hydrique de cerisiers irrigués ou non en localisation". *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 17, no. 2, 1997, p. 16, ISSN 1774-0746, 1773-0155, DOI 10.1051/agro:19970203.
9. Goldhamer, D. A. y Fereres, E. "Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements". *Irrigation Science*, vol. 20, no. 3, 2001, pp. 115-125, ISSN 0342-7188, 1432-1319, DOI 10.1007/s002710000034.
10. Carrasco, L. O.; Bucci, S. J.; Scholz, F. G.; Campanello, P.; Madanes, N.; Cristiano, P. M.; Hao, G. Y.; Wheeler, J. K.; Holbrook, N. M. y Goldstein, G. "Water storage discharge and refilling in the main stems of canopy tree species investigated using frequency domain reflectometry and electronic point dendrometers". *Acta Horticulturae*, no. 991, 2013, pp. 17-24, ISSN 0567-7572, 2406-6168, DOI 10.17660/ActaHortic.2013.991.1.
11. Abdelfatah, A.; Aranda, X.; Savé, R.; de Herralde, F. y Biel, C. "Evaluation of the response of maximum daily shrinkage in young cherry trees submitted to water stress cycles in a greenhouse". *Agricultural Water Management*, vol. 118, 2013, pp. 150-158, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2012.10.027.
12. Intrigliolo, D. S. y Castel, J. R. "Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum". *Irrigation Science*, vol. 23, no. 2, 2004, pp. 93-102, ISSN 0342-7188, 1432-1319, DOI 10.1007/s00271-004-0097-7.
13. Pérez, L. D.; Pérez, R. J. M.; Moreno, M. M.; Prieto, M. H.; Ramírez, S. P. M.; Gijón, M. C.; Guerrero, J. y Moriana, A. "Influence of different cultivars-locations on maximum daily shrinkage indicators: Limits to the reference baseline approach". *Agricultural Water Management*, vol. 127, 2013, pp. 31-39, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2013.05.016.
14. Shackel, K. A.; Ahmadi, H.; Biasi, W.; Buchner, R.; Goldhamer, D.; Gurusinghe, S.; Hasey, J.; Kester, D.; Krueger, B. y Yeager, J. "Plant Water Status as an Index of Irrigation Need in Deciduous Fruit Trees". *HortTechnology*, vol. 7, no. 1, 1997, pp. 23-29, ISSN 1063-0198, 1943-7714.
15. Intrigliolo, D. S. y Castel, J. R. "Crop load affects maximum daily trunk shrinkage of plum trees". *Tree Physiology*, vol. 27, no. 1, 2007, pp. 89-96, ISSN 0829-318X, 1758-4469, DOI 10.1093/treephys/27.1.89.
16. Han, L. X.; Wang, Y. K.; Li, X. B. y Zhang, P. "Improved irrigation scheduling for pear-jujube trees based on trunk diameter sensing data". *African Journal of Biotechnology*, vol. 11, no. 7, 2014, pp. 1597-1606, ISSN 1684-5315, DOI 10.4314/ajb.v11i7.
17. Ginestar, C. y Castel, J. R. "Use of stem dendrometers as indicators of water stress in drip-irrigated citrus trees". *Acta Horticulturae*, no. 421, 1998, pp. 209-222, ISSN 0567-7572, 2406-6168, DOI 10.17660/ActaHortic.1998.421.22.
18. Nortes, P. A.; Pérez, P. A.; Egea, G.; Conejero, W. y Domingo, R. "Comparison of changes in stem diameter and water potential values for detecting water stress in young almond trees". *Agricultural Water Management*, vol. 77, no. 1-3, 2005, pp. 296-307, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2004.09.034.
19. Fernández, J. E.; Torres, R. J. M.; Diaz, E. A.; Montero, A.; Álvarez, R.; Jiménez, M. D.; Cuerva, J. y Cuevas, M. V. "Use of maximum trunk diameter measurements to detect water stress in mature 'Arbequina' olive trees under deficit irrigation". *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 12, 2011, pp. 1813-1821, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.06.011.
20. García, T. I. F.; Durán, Z. V. H.; Arriaga, J. y Muriel, F. J. L. "Relationships between trunk- and fruit-diameter growths under deficit-irrigation programmes in orange trees". *Scientia Horticulturae*, vol. 133, 2012, pp. 64-71, ISSN 0304-4238, DOI 10.1016/j.scienta.2011.10.022.
21. Huguet, J. G.; Li, S. H.; Lorendeau, J. Y. y Pelloux, G. "Specific micromorphometric reactions of fruit trees to water stress and irrigation scheduling automation". *The Journal of Horticultural Science*, vol. 67, no. 5, 1992, pp. 631-640, ISSN 0022-1589.
22. Ortuño, M. F.; García, O. Y.; Conejero, W.; Ruiz, S. M. C.; Alarcón, J. J. y Torrecillas, A. "Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees". *Trees*, vol. 20, no. 1, 2005, pp. 1-8, ISSN 0931-1890, 1432-2285, DOI 10.1007/s00468-005-0004-8.

23. Ortuño, M. F.; Alarcón, J. J.; Nicolás, E. y Torrecillas, A. "Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation". *Plant Science*, vol. 167, no. 2, 2004, pp. 275-280, ISSN 0168-9452, DOI 10.1016/j.plantsci.2004.03.023.
24. Garnier, E. y Berger, A. "Effect of Water Stress on Stem Diameter Changes of Peach Trees Growing in the Field". *Journal of Applied Ecology*, vol. 23, no. 1, 1986, pp. 193-209, ISSN 0021-8901, DOI 10.2307/2403091.
25. Liu, C.; Kang, S.; Li, F.; Li, S.; Du, T. y Tong, L. "Relationship between environmental factor and maximum daily stem shrinkage in apple tree in arid region of northwest China". *Scientia Horticulturae*, vol. 130, no. 1, 2011, pp. 118-125, ISSN 0304-4238, DOI 10.1016/j.scientia.2011.06.022.
26. Livellara, N.; Saavedra, F. y Salgado, E. "Plant based indicators for irrigation scheduling in young cherry trees". *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 4, 2011, pp. 684-690, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2010.11.005.
27. Galindo, A.; Rodríguez, P.; Mellisho, C. D.; Torrecillas, E.; Moriana, A.; Cruz, Z. N.; Conejero, W.; Moreno, F. y Torrecillas, A. "Assessment of discretely measured indicators and maximum daily trunk shrinkage for detecting water stress in pomegranate trees". *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 180, 2013, pp. 58-65, ISSN 0168-1923, DOI 10.1016/j.agrformet.2013.05.006.
28. Naor, A. y Cohen, S. "Sensitivity and Variability of Maximum Trunk Shrinkage, Midday Stem Water Potential, and Transpiration Rate in Response to Withholding Irrigation from Field-grown Apple Trees". *HortScience*, vol. 38, no. 4, 2003, pp. 547-551, ISSN 0018-5345, 2327-9834.
29. Intrigliolo, D. S.; Nicolas, E.; Bonet, L.; Ferrer, P.; Alarcón, J. J. y Bartual, J. "Water relations of field grown Pomegranate trees (*Punica granatum*) under different drip irrigation regimes". *Agricultural Water Management*, vol. 98, no. 4, 2011, pp. 691-696, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2010.11.006.
30. García, O. Y.; Ruiz, S. M. C.; Alarcón, J. J.; Conejero, W.; Ortuño, M. F.; Nicolás, E. y Torrecillas, A. "Preliminary assessment of the feasibility of using maximum daily trunk shrinkage for irrigation scheduling in lemon trees". *Agricultural Water Management*, vol. 89, no. 1-2, 2007, pp. 167-171, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2006.12.008.
31. Goldhamer, D. A.; Fereres, E. y Salinas, M. "Can almond trees directly dictate their irrigation needs?". *California Agriculture*, vol. 57, no. 4, 2003, pp. 138-144, ISSN 0008-0845, DOI 10.3733/ca.v057n04p138.
32. Pagán, E.; Pérez, P. A.; Domingo, R.; Conesa, M. R.; Robles, J. M.; Botía, P.; García, O. I. y Caro, M. "Feasibility study of the maximum daily trunk shrinkage for scheduling mandarin trees irrigation". *Italy Journal of Agronomy*, vol. 3, 2008, pp. 691-692, ISSN 2039-6805.
33. Ortuño, M. F.; Brito, J. J.; García, O. Y.; Conejero, W. y Torrecillas, A. "Maximum daily trunk shrinkage and stem water potential reference equations for irrigation scheduling of lemon trees". *Irrigation Science*, vol. 27, no. 2, 2008, pp. 121-127, ISSN 0342-7188, 1432-1319, DOI 10.1007/s00271-008-0126-z.
34. Moriana, A.; Moreno, F.; Girón, I. F.; Conejero, W.; Ortuño, M. F.; Morales, D.; Corell, M. y Torrecillas, A. "Seasonal changes of maximum daily shrinkage reference equations for irrigation scheduling in olive trees: Influence of fruit load". *Agricultural Water Management*, vol. 99, no. 1, 2011, pp. 121-127, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.07.008.
35. Hoffman, G. J. y Howell, T. A. *Management of Farm Irrigation Systems* [en línea]. (ed. Solomon K. H.), (ser. ASAE monograph), edit. Amer Society of Agricultural, 1990, 1040 p., ISBN 978-0-929355-11-5, [Consultado: 12 de mayo de 2015], Disponible en: <<http://www.amazon.com/Management-Farm-Irrigation-Systems-monograph/dp/0929355113>>.
36. Egea, G.; Pagán, E.; Baille, A.; Domingo, R.; Nortes, P. A. y Pérez, P. A. "Usefulness of establishing trunk diameter based reference lines for irrigation scheduling in almond trees". *Irrigation Science*, vol. 27, no. 6, 2009, pp. 431-441, ISSN 0342-7188, 1432-1319, DOI 10.1007/s00271-009-0157-0.
37. de la Rosa, J. M.; Conesa, M. R.; Domingo, R.; Torres, R. y Pérez, P. A. "Feasibility of using trunk diameter fluctuation and stem water potential reference lines for irrigation scheduling of early nectarine trees". *Agricultural Water Management*, vol. 126, agosto de 2013, pp. 133-141, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2013.05.009.
38. Moriana, A. y Fereres, E. "Establishing reference values of trunk diameter fluctuations and stem water potential for irrigation scheduling of olive trees". *Acta Horticulturae*, no. 664, 2004, pp. 407-412, ISSN 0567-7572, 2406-6168, DOI 10.17660/ActaHortic.2004.664.51.
39. Intrigliolo, D. S. y Castel, J. R. "Usefulness of diurnal trunk shrinkage as a water stress indicator in plum trees". *Tree Physiology*, vol. 26, no. 3, 2006, pp. 303-311, ISSN 0829-318X, 1758-4469, DOI 10.1093/treephys/26.3.303.
40. Conejero, W.; Mellisho, C. D.; Ortuño, M. F.; Galindo, A.; Pérez, S. F. y Torrecillas, A. "Establishing maximum daily trunk shrinkage and midday stem water potential reference equations for irrigation scheduling of early maturing peach trees". *Irrigation Science*, vol. 29, no. 4, 2010, pp. 299-309, ISSN 0342-7188, 1432-1319, DOI 10.1007/s00271-010-0238-0.
41. Moriana, A.; Girón, I. F.; Martín, P. M. J.; Conejero, W.; Ortuño, M. F.; Torrecillas, A. y Moreno, F. "New approach for olive trees irrigation scheduling using trunk diameter sensors". *Agricultural Water Management*, vol. 97, no. 11, 2010, pp. 1822-1828, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2010.06.022.

Recibido: 6 de noviembre dse 2014
Aceptado: 8 de julio de 2015