

**La eficiencia en el uso del agua en parcela**  
**¿La asignatura pendiente de la modernización de los regadíos?**

Diego S. Intrigliolo<sup>1</sup>, E. Nicolás<sup>1</sup>, L. Bonet<sup>2</sup> J.J. Alarcón<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura

<sup>2</sup> Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Servicio de Tecnología del Riego

**Palabras clave:** programación del riego, riego deficitario, sensores de planta y suelo, cítricos y frutales

### 1. Problemática

En los últimos años se han realizado grandes esfuerzos económicos para dotar a las comunidades de regantes (conjunto de parcelas que comparten infraestructuras para el uso colectivo del agua de riego) con instalaciones hidráulicas eficientes. Además se han introducido nuevas tecnologías como el riego localizado o a presión, lo cual, aunque ha ido acompañado de un aumento de las necesidades energéticas, ha contribuido a incrementar la eficiencia en el uso del agua (EUA) a nivel de parcela ya que se ha conseguido reducir el componente de evaporación de la evapotranspiración del cultivo (Ferer et al. 2003).

Sin embargo, no se ha hecho tanto hincapié en optimizar la programación del riego (dosis y frecuencia del agua a aportar) para utilizar los recursos hídricos disponibles de una forma más eficiente. Este aspecto es hoy en día particularmente importante debido al gran incremento de los costes energéticos asociados al riego, los cuales repercuten directamente sobre el coste del agua utilizada. Además, la actual escasez de recursos hídricos de aquellas zonas agrícolas más competitivas como pueden ser las provincias de Alicante, Murcia y Almería, hace indispensable emplear todas las herramientas disponibles para incrementar la EUA.

Es necesario continuar con los esfuerzos encaminados a buscar nuevas soluciones para la realización de un riego de precisión ajustado a las necesidades de las plantaciones, además de continuar buscando estrategias de riego en caso de dotaciones hídricas inferiores a las necesidades potenciales de los cultivos y/o utilización de agua de mala calidad y salina.

En esta contribución se resumen las contribuciones que está realizando el Departamento de Riego del CEBAS-CSIC a la problemática identificada, aportándose posibles soluciones a los problemas planteados y haciendo hincapié en las líneas de investigación actuales.

### 2. Riego de precisión

Los avances científicos y técnicos de que hoy en día disponemos permiten alcanzar importantes mejoras en el manejo y eficiencia del riego. No obstante, su utilización por los agricultores y técnicos de muchas zonas de la agricultura levantina es todavía escasa, generalmente por desconocimiento de los mismos.

Para determinar las dosis y frecuencia (programación) del riego, hoy en día, disponemos de métodos basados tanto en información sobre el clima y la transpiración de las plantas, como de la humedad del suelo o del estado hídrico de la propia planta.

#### 2.1 Programación sobre la base de parámetros meteorológicos y del cultivo

En la actualidad el método más utilizado para la programación del riego de los cítricos se lleva a cabo siguiendo las recomendaciones de la FAO (Allen et al. 1998), estimando las necesidades hídricas mediante un procedimiento que tiene en cuenta:

1) variables climáticas que influyen en la demanda evaporativa o evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y

2) un factor ligado al cultivo, denominado coeficiente del cultivo ( $K_c$ ).

Las necesidades hídricas o evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se calculan como

$$ET_c = ET_0 * K_c.$$

Sirva un ejemplo para aclarar el cálculo. Imaginémos dos parcelas, una de cítricos y otra de melocotonero situadas en la misma zona; en ambas parcelas la  $ET_0$  será la misma, sin embargo, es evidente que la plantación de cítricos y la de melocotonero pueden tener consumos hídricos distintos. Por ello en el procedimiento de la FAO entra en juego el factor  $K_c$ . La información climática y de los  $K_c$  antes citados son divulgados a los regantes por los servicios de asesoramiento al regante de cada Comunidad Autónoma

Sin embargo, el procedimiento arriba descrito para estimar las necesidades hídricas puede tener ciertas incertidumbres dado que plantación, incluso de la misma especie y variedad, puede tener necesidades hídricas distintas en función de muchos factores relacionados tanto con el manejo de la parcela como de las características agronómicas de las variedades. En pocas palabras, cada parcela tiene su propio  $K_c$  y por lo tanto los que están disponibles en los servicios de asesoramiento pueden servir desde luego de una primera indicación, pero no tienen por qué informar de forma exacta sobre las necesidades hídricas reales de las plantaciones. Además el procedimiento descrito de la  $ET_0$  y  $K_c$  no informa acerca de la frecuencia y dosis a aplicar en cada riego, es decir, no permite establecer cómo aplicar los volúmenes de riego calculados, ya que esto depende de factores ligados a las características del suelo y equipamiento de riego de cada parcela. Por todo ello es por lo que en la actualidad es de gran interés profundizar sobre el uso de nuevas tecnologías para el manejo del riego, basadas en la medida del estado hídrico del suelo y/o planta, y de modelos de simulación específicos y semi-mecanicistas que, en todo caso, deben entenderse como estrategias complementarias y nunca excluyentes de la programación en base a información del clima ( $ET_0$  y  $K_c$ ).

## 2.2 Medida de la humedad del suelo. Sondas de capacitancia.

Para intentar conseguir un adecuado manejo del riego de acuerdo con las características del cultivo y del consumo que realizan las plantas, se requiere

- 1) delimitar cuales son las necesidades hídricas de los cultivos,
- 2) aplicarlas con un método y estrategia de riego adecuados, y
- 3) controlar que lo que se ha aplicado es correcto.

La comprobación y control hay que realizarlos midiendo lo que realmente sucede en el terreno, y aquí es donde los sensores de medida de la humedad del suelo tienen una gran utilidad..

El objetivo principal de la utilización de estos sensores es conseguir una estima precisa de la cantidad de agua que se incorpora al sistema suelo-planta en cada momento, de forma que se puedan evitar pérdidas de agua en profundidad o un déficit hídrico no deseado.

Aunque existen muchos tipos de sensores de medida de la humedad del suelo, aquí solo se hará referencia a los de más reciente introducción en el mercado, las sondas capacitivas tipo FDR (Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia). Otros, tales como tensiómetros, watermark®, etc., se considera que ya son suficientemente conocidos. En cualquier caso, el modo de representación, interpretación y utilización de los datos para la toma de decisiones, es de aplicación común a todos los sensores de medida de la humedad en el suelo.

Las sondas capacitivas miden la humedad del suelo por variación de las propiedades dieléctricas del mismo, mediante la determinación de su coeficiente dieléctrico ( $\epsilon$ ) a través de la capacitancia. Como en el suelo coexisten las fases sólida, líquida y gaseosa, el sensor FDR en realidad determina un  $\epsilon$  aparente. Dado que el  $\epsilon$  del aire es  $\approx 1$ , el de los sólidos del suelo oscila entre 2-5 y el del agua es de 80, el  $\epsilon$  aparente del suelo es, prácticamente, una función de la humedad que haya en él.

Dentro de este tipo de sensores existen sondas simples de un sólo sensor (Theta Probe®, ECH2O, Diviner2000®) y sondas multi-sensor (EnviroScan®, C-probe®, Aquacheck®, Tanit). En las sondas multi-sensor el diseño habitual es el de anillos concéntricos que permiten la instalación en el suelo de una sonda situada en el interior de un tubo de acceso impermeable.

Las sondas multi-sensor suelen llevar instalados varios sensores a profundidades variables, lo que permite la estima de la humedad del suelo simultáneamente a varias profundidades. Uno de los problemas que presentan es que la zona de medida es limitada, correspondiendo solamente a unos 10 cm en altura (5 por encima del sensor y 5 por debajo) y aproximadamente 7 cm de radio alrededor del anillo, si bien en los 3 cm más próximos al tubo de acceso es donde se concentra el 90% de la señal. Además cabe tener en cuenta que el contenido de humedad en el suelo de una parcela es muy variable y más aún en riego localizado, donde no se humedece uniformemente todo el suelo que se moja; además la distribución del sistema radicular dista mucho de ser homogénea, tanto en profundidad como horizontalmente. Todo ello hace que se recomiende instalar más de una sonda por parcela, con el fin de disponer de una medida más representativa del contenido de agua en el suelo disponible para la planta.

En trabajos de investigación, para realizar balances de agua, es necesario conocer con precisión las cantidades de la misma existentes en cada capa del suelo, pero para la gestión y el manejo del riego puede ser suficiente analizar la tendencia que siguen los contenidos de agua en las distintas capas del suelo, lo cual no requiere una calibración específica de la sonda. La gran ventaja que presentan estas sondas, desde el punto de vista del manejo del riego, es que, merced a la posibilidad de registro "casi continuo" de datos y si el sistema de transmisión es vía radio, GSM o GPRS, la información sobre los cambios de humedad aparece, prácticamente, en tiempo real, aunque esto no sea determinante en su utilización.

Cuando la pauta de riego es adecuada, el valor absoluto de la humedad de cada capa en particular no es lo importante sino cómo evoluciona y cuál es su tendencia (Figura 1). Si la aplicación de agua supera a la extracción que realiza el cultivo, habrá un exceso de agua que percolará, y, en consecuencia, aumentará el contenido de agua en profundidad, lo que se verá reflejado en la medida del sensor correspondiente (Figura 2).

El análisis sensor a sensor proporciona, en muchas ocasiones, una información adecuada sobre el comportamiento del agua en el suelo, pero también puede resultar interesante obtener otro tipo de información, como la suma de los valores de humedad registrados por distintos sensores, de manera que representen el agua almacenada en una parte del perfil de suelo. Si tomamos, por ejemplo, la suma de las medidas de los sensores situados a 10, 20, 30 y 50 cm de profundidad, podría representar la cantidad de agua a disposición del sistema radicular y, con la medida del sensor a 70 cm, se podría detectar la existencia de drenaje.

Así pues, hay que utilizar las variaciones de ese contenido de agua, a fin de minimizar en lo posible las pérdidas notables por drenaje, así como impedir que se seque el suelo a niveles que induzcan un estrés no deseado al cultivo.

Para el manejo del riego por este procedimiento, es necesario definir un límite superior de contenido de agua que, generalmente, se establece en el valor a partir del cual no se produce drenaje por debajo de la zona radicular; y un límite inferior que corresponderá al nivel de estrés que no se desea sobrepasar (Figura 3). Los límites superior e inferior no tienen por qué ser constantes a lo largo del año, sino variar en función de la sensibilidad del cultivo en cada fase fenológica. Lo ideal sería tener definidos estos límites para cada fase del cultivo.

En la actualidad esta técnica presenta, básicamente dos dificultades. Una de índole económico, ya que este tipo de sondas son de un coste elevado (actualmente cercano a 3.000 € por sonda con 4 sensores), lo que limita su uso en pequeñas explotaciones. Sin embargo, es esperable que los avances tecnológicos y la competencia en el mercado hagan descender su precio en pocos años. La otra es el no disponer todavía de las relaciones entre la producción y valores concretos de humedad del suelo, ni de un grado de déficit hídrico, para cada etapa fenológica del cultivo.

### 2.3 Medida en planta. Potencial hídrico de tallo y dendrómetros

Las dos estrategias de riego arriba mencionadas (información climática y medida de la humedad del suelo) tratan, en definitiva, de estimar de manera indirecta la “salud” hídrica de los árboles. Dado que las plantas integran las condiciones externas del entorno, clima y suelo a la vez, reflejándolo en su estado hídrico, parece lógica la utilización de métodos de programación del riego basados en la propia planta. Sin embargo, esta misma característica integradora, positiva desde el punto de vista fisiológico, constituye un inconveniente práctico, como veremos más adelante, y es una de las principales razones por lo que la medida del estado hídrico de los árboles está hoy día aún bastante restringida al mundo de la investigación.

### 2.3.1 Cámara de presión

El instrumento más empleado para cuantificar el estado hídrico de los cítricos y frutales es la cámara de presión con la que se mide el potencial hídrico. La determinación más usual es la del potencial hídrico de hoja no transpirante, comúnmente denominado “potencial de tallo” ( $\Psi_t$ ). En este caso, la hoja a medir se cubre con una bolsa de plástico de cierre hermético (que impide la transpiración) y exteriormente aluminizada (que refleja la radiación solar y reduce el calentamiento). Tras aproximadamente una hora, su estado hídrico se iguala con el del tallo, se corta la hoja por el pecíolo y se coloca en el interior de una cámara de cierre estanco, de modo que el borde cortado queda hacia el exterior. Se inyecta nitrógeno o aire comprimido a presión en la cámara y cuando empieza a salir savia por el corte del pecíolo, se lee la presión en el manómetro. Esa lectura representa la tensión o potencial hídrico a la que se encontraba la savia en el xilema antes del corte de la hoja.

Las determinaciones se llevan a cabo preferentemente a mediodía solar, que es cuando habitualmente se produce el grado máximo de estrés alcanzando por las plantas.

El  $\Psi_s$  no depende exclusivamente del agua en el suelo disponible para la planta, sino también de las condiciones ambientales, por su influencia sobre la tasa de transpiración (T) y la resistencia hidráulica en el continuo suelo-planta-atmósfera (R), según se resume en la ecuación  $\Delta\Psi=R*T$ , donde  $\Delta\Psi$  es la caída de potencial a lo largo de la trayectoria de transporte del agua. Esto dificulta, en cierto modo, su empleo como indicador del estado hídrico de los árboles. El mayor inconveniente operativo del  $\Psi_s$  radica en que esta medida no puede automatizarse y, por ello, su determinación requiere la utilización de mano de obra cualificada. De ahí que se estén buscando sensores automatizables que permitan medir, en continuo y de forma remota, el estado hídrico de los árboles. A pesar de lo indicado, Mirás-Avalos et al. (2016) consiguieron programar el riego en melocotonero utilizando medidas periódicas de  $\Psi_s$ , cuantificando adecuadamente las necesidades hídricas del cultivo y los ahorros hídricos alcanzables en este cultivo.

### 2.3.2 Dendrómetros

De entre los sensores automatizables que hoy día están intentando introducirse comercialmente, se encuentran los denominados dendrómetros (sensores LVDT) (Foto 1), que estiman el estado hídrico de las plantas a través de la medida de las variaciones de grosor del diámetro de un tronco o rama, transformándolas en señales eléctricas, cuyo registro es fácilmente automatizable. En un día soleado el diámetro del tronco decrece durante las horas centrales del día, para luego recuperar lo perdido a lo largo de la noche e incluso crecer (Figura 4). A partir de estas variaciones de diámetro se calculan:

- la máxima contracción diaria (MCD), como diferencia entre el máximo diámetro del tronco alcanzado temprano por la mañana y el mínimo alcanzado normalmente por la tarde, y
- la tasa de crecimiento, como diferencia entre los máximos diarios alcanzados por el tronco en dos días consecutivos.

En los cultivos leñosos se ha observado que los árboles con disponibilidad limitada de agua en el suelo suelen tener mayores contracciones diurnas del tronco, pero, también es cierto que en árboles bien regados, es decir, sin limitaciones de agua en el suelo, la MCD varía notablemente en función de las condiciones ambientales. Este hecho complica el uso para la programación del riego de la MCD en términos absolutos, por lo que conviene relacionar los valores de MCD de un determinado tratamiento de riego (x) con otros de referencia obtenidos (control, c), por ejemplo, en árboles bien regados y situados en la misma parcela. Vélez et al. (2007) determinaron que el ratio o cociente  $MCD_x/MCD_c$  puede emplearse como indicador del estado hídrico de los árboles y para la programación del riego. Cuanto mayor sea el cociente MCD, mayor será el déficit hídrico a que estará sometida la planta. Valores del cociente MCD en torno a la unidad indican que los árboles no están sometidos a déficit hídrico, siendo este valor el aconsejable en los periodos de mayor sensibilidad del cultivo a la falta de agua. Valores del cociente MCD próximos a la unidad pueden emplearse también para ajustar mejor la dosis de riego a las necesidades del cultivo (Conejero et al. 2007).

En una parcela comercial, los árboles a utilizar como referencia (MCD<sub>c</sub>), pueden regarse más que el resto mediante la instalación de más goteros o de goteros de más caudal, sin necesidad de tener varios sectores de riego en una misma explotación. No obstante, debe tenerse especial cuidado en la selección de los árboles, pues los volúmenes de riego a aplicar en el resto de la parcela dependerán de los valores de MCD de referencia obtenidos en ellos.

Un importante inconveniente que presenta este tipo de sensores es la alta variabilidad de las medidas que obtienen, lo que hace necesaria la instalación de, al menos, 6 sensores LVDT por tratamiento, lo que implica un mínimo de 12 sensores por finca, 6 en los árboles del tratamiento definido y otros 6 en árboles de referencia. El costo de estos sensores es hoy día elevado y se estima que un equipo completo para medir 12 árboles puede costar en torno a 5.000 €.

#### 2.4 Modelos específicos de simulación de las necesidades del cultivo

Debido al coste y complejidad que supone la instalación de sensores en parcelas en los últimos años ha cobrado interés el desarrollo de nuevos modelos que permitan cuantificar con mayor precisión las necesidades hídricas con respecto al ya comentado método de la FAO de la  $ET_0$  y el Kc. En la actualidad nuestro grupo de investigación está trabajando en integrar modelos semi-mecanicistas para simular el balance hídrico del suelo y realizar la programación del riego (dosis y frecuencia) específica para las características edáficas y del cultivo. Así pues, se pretende integrar modelos de cultivo en un sistema de asesoramiento sobre riego capaz de predecir la respuesta productiva en función del volumen de agua aplicada y de la calidad de la misma. En este sentido, se está tratando de integrar un módulo de previsión de condiciones climáticas a 72 horas que permitirá realizar una programación de riego de precisión y, así mismo, ajustar en tiempo real el riego a las condiciones del cultivo. Para ello se utilizarán predicciones meteorológicas profesionales, adaptadas a las características micro-climáticas de la finca mediante la integración en tiempo real de observaciones de estaciones automáticas instaladas en dicha finca. El carácter innovador radica en que se incluirán no sólo variables meteorológicas básicas (temperatura, humedad, precipitación, etc.), sino también variables derivadas, que pongan de manifiesto cómo afectan las condiciones meteorológicas al cultivo ( $ET_0$ , índices de estrés hídrico) y que se identificarán, verificarán e implementarán en el proyecto.

La herramienta estará preparada para la conexión del sistema integral de asesoramiento On-Line con los automatismos de actuación y control del riego (SCADA y Programadores en el mercado) con el fin de automatizar de forma integral la práctica del riego. De este modo será posible, no solamente realizar recomendaciones profesionales del riego, sino además actuar directamente sobre los programadores de riego para automatizar de forma integral esta práctica de cultivo.

### **3. Estrategias de riego con dotaciones hídricas inferiores al óptimo**

#### **3.1 El riego deficitario controlado**

Cuando no se pueden cubrir mediante el riego todas las necesidades de agua de un cultivo hay que recurrir a riegos deficitarios que, en su concepto más amplio, consisten en el riego deliberado y sistemático con menos agua de la que necesitan los cultivos para su máxima producción y crecimiento. El planteamiento puede establecerse desde dos aspectos diferentes:

- Riego deficitario sostenido: reducción constante durante todo el período de cultivo.
- Riego deficitario controlado (RDC): reducción controlada de los aportes de agua sólo en ciertos períodos fenológicos.

El RDC, consiste en la aplicación de cantidades de agua inferiores a las necesidades máximas teóricas durante períodos determinados del ciclo del cultivo, en los que la producción y la calidad se vean poco (o nada) afectados, y durante el resto del ciclo aplicar el total de dichas necesidades, especialmente en los períodos en los que la producción y/o la calidad son más afectados por la falta de agua.

En los cítricos el RDC ha sido ampliamente estudiado en Clementina de Nules (González-Altozano y Castel, 2003). Los resultados de estas investigaciones determinaron que el período más crítico y, por lo tanto, menos aconsejable para reducir los aportes hídricos es el que abarca la floración y el cuajado, donde un estrés hídrico, incluso moderado, suele reducir sensiblemente la cosecha final por un menor número de frutos recolectados. Del mismo modo, se desaconseja imponer estrés hídrico durante el otoño ya que puede reducir el tamaño final de la fruta. El período idóneo para ahorrar agua es pues el verano (meses de julio y agosto) cuando pueden reducirse moderadamente los aportes hídricos sin afectar la cosecha final ni el tamaño de la fruta, como han señalado investigadores del departamento del Riego del CEBAS-CSIC (Pedrero et al., 2015; Nicolás et al., 2016).

En frutales de hueso, el departamento de Riego del CEBAS-CSIC ha establecido recientemente distintos períodos no críticos en los que pueden establecerse restricciones hídricas bajo una estrategia de RDC, como es la fase II de endurecimiento del fruto y el período post-cosecha en melocotonero (Mirás-Ávalos et al. 2016).

#### **3.2 El riego con aguas de mala calidad**

Un problema que afecta de forma notable a la eficiencia de cualquier sistema de riego, pero muy especialmente a las programaciones de riego deficitario, es el uso de aguas de baja calidad agronómica. Este tipo de aguas son empleadas frecuentemente en regiones áridas o semiáridas con gran nivel de escasez de otro tipo de recursos hídricos, y suelen ser aguas cuya característica principal es un elevado nivel de salinidad. Las sales tienen unos efectos negativos sobre el crecimiento y producción agrícola, generando problemas de tipo tóxico u osmótico que limitan las cosechas y dañan los distintos tejidos vegetales. Pero más allá del efecto sobre las plantas, el gran problema asociado al uso de aguas de este tipo es la acumulación de sales en el suelo, algo que no es evidente de forma inmediata pero que a medio y largo plazo suponen una pérdida de fertilidad del suelo a veces con efectos irreversibles. Lamentablemente el uso de aguas de baja calidad en el riego no suele ser un capricho del sector agrícola, sino una necesidad ante la falta de recursos hídricos no salinos, pero debemos ser muy precavidos a la hora de utilizar este tipo de aguas, y hacerlo siempre mezcladas, si es posible, con aguas de buena calidad que impidan los efectos acumulados de las sales en el suelo. Además de las mezclas, la gestión del agua salina también precisa del riego con una fracción de lavado extraordinaria que facilite el drenaje y la limpieza de las sales del medio radicular. Otra aproximación realizada en nuestro departamento en este sentido ha sido la propuesta de un "Riego Dual" en donde se plantea el uso de dos fuentes de aguas de distinta

calidad (una buena y otra mala) que se van alternando en su aplicación a lo largo del ciclo de cultivo, ya que como ocurre en el riego deficitario controlado hay fases fenológicas en donde los efectos de las sales sobre las plantas son menos perjudiciales que otras. Este riego dual también favorece que el lavado de sales en el suelo se produzca de modo más eficiente. En cualquier caso, el problema asociado a la salinidad de los suelos probablemente sea el reto más importante al que nos enfrentamos en la agricultura intensiva de zonas semiáridas como la nuestra (Región de Murcia). Si queremos mantener la sostenibilidad de nuestros sistemas de riego a medio y largo plazo, necesitamos utilizar aguas no salinas, y ello pasa por desarrollar nuevos sistemas de desalación eficientes y económicamente rentables, sistemas de depuración que permitan la reutilización con aguas de buena calidad, o el uso de fuentes de agua no salinas procedentes de cuencas con mayor nivel de recursos hídricos que el nuestro.

#### **4. Conclusión**

Existen en la actualidad herramientas que permiten al agricultor hacer un uso más eficiente del agua de riego contestando de manera precisa a las tres preguntas básicas de la programación del riego “cuánto”, “cuándo” y “cómo” regar. El procedimiento de estima de las necesidades hídricas sobre la base de la información climática ( $ET_0$  y  $Kc$ ) debe emplearse en primera instancia para cuantificar los volúmenes de riego a aplicar. Sin embargo, para tener un mejor control del riego aplicado a nivel de parcela, los sensores de determinación de la humedad del suelo posibilitan un mejor control del contenido de agua en el perfil del suelo. Un excelente complemento son las medidas de potencial hídrico de tallo, que permiten cuantificar el estado hídrico real de los árboles y, por lo tanto, asegurar que la estrategia de riego que se está empleando es la adecuada. Finalmente, en caso de escasez de recursos hídricos, puede emplearse el riego deficitario controlado, siendo, en este caso, fundamental utilizar las herramientas aquí descritas para cuantificar el estado hídrico del suelo o mejor aún de la planta, a fin de evitar que un estrés hídrico potencialmente beneficioso pueda convertirse en dañino repercutiendo negativamente sobre la producción. Además de la eficiencia en el uso del agua a nivel de parcela, tenemos que trabajar en la búsqueda de nuevas fuentes de agua de riego con bajos niveles de salinidad que permitan el mantenimiento sostenible de un sistema de agricultura intensiva a medio y largo plazo.

## Fotos y figuras

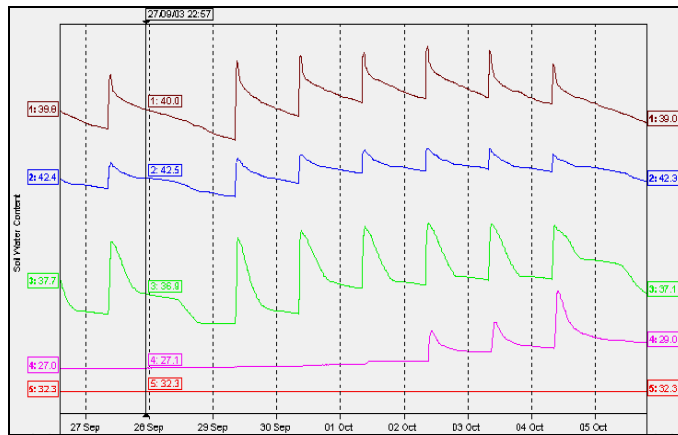


Figura 1.- Pauta adecuada de riego. El agua no percola y la humedad no disminuye.

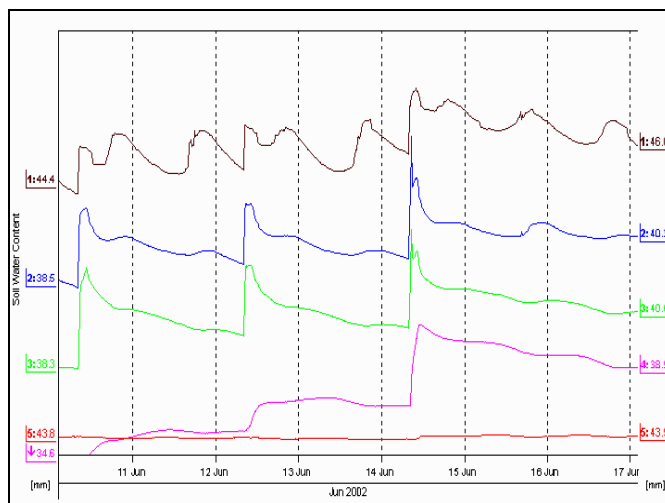
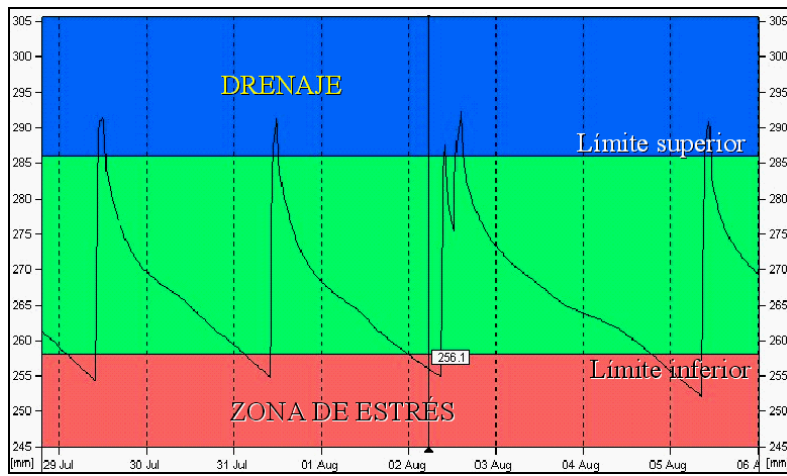


Figura 2.- Exceso de riego. Humedad en aumento a 50 cm (línea morada).

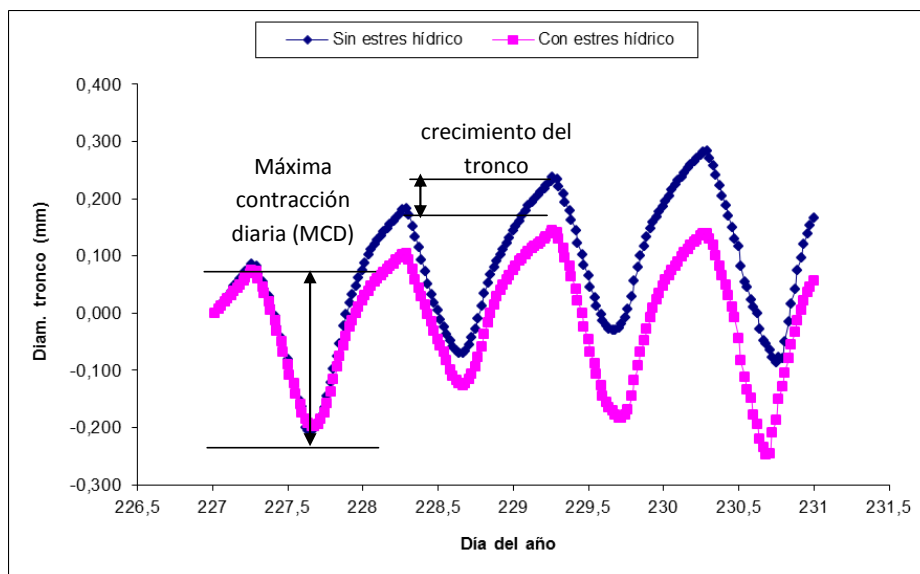




**Figura 3.-** Zona óptima para el manejo del riego.



**Foto 1.-** Detalle de un dendrómetro instalado en el tronco de un naranjo.



**Figura 4.** Esquema representativo de la variación del diámetro del tronco durante varios días consecutivos.

#### **Bibliografía**

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage* paper 56. FAO, Rome.
- Conejero W., Alarcón J.J., Ortuño M.F., Nicolás E., Torrecillas A., García-Orellana Y. 2007. Programación del riego del melocotonero mediante medidas de las variaciones del diámetro del tronco. Aproximación a la estima de las necesidades hídricas. *Agricultura* 897: 442-446.
- Fereres E, Goldhamer D, Parsons L. 2003. Irrigation water management of horticultural crops. *Hort Science* 38:1036-1042.
- González-Altozano P., Castel J.R., 2003. Riego deficitario controlado en 'Clementina de Nules'. I Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 1:81-92.
- Mirás-Avalos JM, Pérez-Sarmiento F, Alcobendas R, Alarcón JJ, Mounzer O, Nicolás E. 2016. Using midday stem water potential for scheduling deficit irrigation in mid-late maturing peach trees under Mediterranean conditions. *Irrigation Science* 34: 161-173.
- Nicolás E, Alarcón JJ, Mounzer O, Pedrero F, Nortes PA, Alcobendas R, Romero-Trigueros C, Bayona JM, Maestre-Valero JF. 2016. Long-term physiological and agronomic responses of mandarin trees to irrigation with saline reclaimed water. *Agricultural Water Management* 166: 1-8.
- Pedrero F, Maestre-Valero JF, Mounzer O, Nortes PA, Alcobendas R, Romero-Trigueros C, Bayona JM, Alarcón JJ, Nicolás E. 2015. Response of Young 'Star Ruby' grapefruit trees to regulated deficit irrigation with saline reclaimed water. *Agricultural Water Management* 158: 51-60.
- Vélez J.E., Intrigliolo D.S., Castel J.R. 2007. Programación del riego deficitario en Clementina de Nules mediante dendrómetros. *Levante Agrícola* 387: 313-317

Con formato: Inglés (Estados Unidos)