

DOSSIERTÈCNIC

N04 | GESTIÓN EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO (I)

Junio 2005

P02 Presentación **P03** Análisis de datos pluviométricos **P05** Cálculo del coeficiente de cultivo **P09** Gestión del agua de riego **P13** Caso práctico **P15** Sistemas de medición de agua en el suelo **P19** Herramienta de recomendaciones de riego **P21** Curso básico de riego **P24** La Entrevista



ruralCat

La comunitat virtual agroalimentària
i del món rural

www.ruralcat.net



Generalitat de Catalunya
**Departament d'Agricultura,
Ramaderia i Pesca**
www.gencat.net/darp





PRESENTACIÓN



Josep Pau i Pernau
Secretario General del Departamento
de Agricultura, Ganadería y Pesca

En Cataluña, la agricultura de regadío es un sector estratégico para el crecimiento y el equilibrio económico y social del territorio rural. Actualmente, representa un 25% de la superficie cultivada, la cual se incrementará con las transformaciones del Canal de Algerri-Balaguer, el Canal Segarra-Garrigues y la adecuación del Canal de Xerta-Sènia, que incorporarán alrededor de 80.000 nuevas hectáreas de superficie.

Asimismo, en todos los sectores de actividad existe una demanda creciente de los recursos hídricos del país. Al sector agrario le corresponde gestionar con eficiencia los medios que tiene para el regadío. Ésta es la principal consecuencia de la nueva cultura del agua que emerge en el conjunto de la sociedad. Se trata de hacer un uso del agua respetuoso con el medio ambiente

y solidario respecto al conjunto de demandantes.

Gestionar con eficiencia el agua de riego significa destinar a los cultivos los volúmenes de agua imprescindibles para garantizar las producciones y obtener la máxima calidad de los productos agrícolas. La gestión eficiente pasa por la movilización de recursos, ajustada a las necesidades y disponibilidades, por la disposición en redes modernas de distribución y por la aplicación del agua al cultivo con los medios técnicos que proporcionen el máximo ahorro.

Por lo tanto, se deben conocer las necesidades ajustadas de agua de los cultivos a lo largo de su ciclo productivo, y también el diseño y la utilización adecuada de las instalaciones de riego, con el fin de obtener el máximo rendimiento de la tecnología. Tener un buen conocimiento técnico y saber conjugar todos estos elementos es, en consecuencia, imprescindible.

En este contexto, dedicamos el cuarto número del DOSSIER TÈCNIC a la gestión eficiente del agua de riego. Así, pretendemos dar la máxima utilidad a las actuaciones del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca dirigidas a aumentar la eficiencia de nuestros regadíos: la investigación y el desarrollo del Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), el impulso de la construcción y modernización de los regadíos por parte de la Dirección General de Desarrollo Rural, el asesoramiento y

la formación impartida por la Dirección General de Producción, Innovación e Industrias Agroalimentarias y la contribución de las empresas públicas REGSA y REGSEGA.

En la misma línea, disponemos a menudo de la cooperación de otras instituciones, como las universidades públicas, las comunidades de regantes y las empresas tecnológicas, y también de modernos instrumentos de comunicación como el portal RuralCat (www.ruralcat.net), que permite a los regantes conocer puntualmente las dosis de riego necesarias para los diferentes cultivos y para las distintas parcelas de explotación.

Deseamos, por lo tanto, que este primer DOSSIER TÈCNIC de la serie dedicada al riego sea muy útil para los regantes actuales y futuros, y que al mismo tiempo contribuya a difundir el trabajo que la Consejería está impulsando para hacer que nuestros regadíos sean un instrumento de progreso y sostenibilidad del sector agrario.

Edita: Dirección General de Producción, Innovación e Industrias Agroalimentarias del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca.

dossier@ruralcat.net
www.ruralcat.net
www.gencat.net/darp

Foto portada: Inicio del canal Segarra-Garrigues. S. Planas

ANÁLISIS DE LOS DATOS PLUVIOMÉTRICOS RESPECTO AL RIEGO. CÁLCULO DE LA ET_0



Vista general de la estación agrometeorológica automática situada en Alcanar (Montsià). Todos los sensores están situados a las alturas que marcan las normas, como por ejemplo los medidores de velocidad y dirección del viento, que están a 2 metros del suelo.

Cabe mencionar también el sensor situado a la izquierda de la fotografía. Se trata de un radiómetro neto, colocado a un metro de altura, orientado al sur. Foto: A. Gázquez.



Vista general de la estación situada en los terrenos del IRTA en Cabrlis (Maresme). En primer término y en color gris, se puede ver un pluviómetro manual. Foto: A. Gázquez.

01 Las precipitaciones y la evapotranspiración. El balance hídrico. Primera aproximación.

El agua es imprescindible para la subsistencia de los seres vivos. También es un bien escaso y, por este motivo, hay que tomar conciencia de su importancia y de la limitación de recursos.

Si centramos el estudio en las necesidades de agua de los cultivos que sirven como alimento y como fuente de riqueza, deducimos que la cantidad de agua que se debe aportar a un cultivo es el resultado de la diferencia entre las precipitaciones (incluidas las aportaciones como el rocío) y el consumo de la propia planta y del suelo que la alberga. Este resultado es el **balance hídrico**, que será positivo si las precipitaciones superan las necesidades de consumo de las plantas y negativo en el caso contrario.

En las tierras donde las necesidades hídricas de las plantas son superiores a las aportaciones de las lluvias, conviene añadir el agua que constituye este déficit, sobre todo si se quiere tener una producción abundante y rentable. Esta situación se produce en territorios donde las lluvias son escasas o irregularmente repartidas, como es el caso de la mayor parte de las zonas agrícolas de Cataluña.

02 Las precipitaciones

Para poder determinar las necesidades de agua de los cultivos, se deben medir las precipitaciones con un sistema que resulte fiable. El pluviómetro es el instrumento meteorológico de

uso más extendido, que permite obtener esta medida de forma muy sencilla. Los pluviómetros son cilindros con un depósito en el fondo, en el cual se acumula el agua caída. Los depósitos tienen un estrecho orificio de entrada, para evitar la evaporación que pueda producirse después de la lluvia y antes de su recogida. Se trata de unos aparatos fáciles de utilizar y que apenas requieren mantenimiento.

Además de conocer la cantidad de las precipitaciones, también interesa saber el lapso de tiempo en el que caen, es decir, su intensidad. Este segundo parámetro de medición tiene mucha importancia –no siempre suficientemente valorada– a la hora de calcular la capacidad de retención de agua del suelo y la velocidad de escurrimiento de la misma. Para medir la **intensidad de precipitación**, son necesarios aparatos de registro continuo disponible (pluviógrafos) o sensores automáticos.

03 La evapotranspiración. Conceptos

Después de prever las aportaciones, hay que estudiar el consumo, aspecto que resulta más complejo. Aparece aquí el concepto de la **evapo-transpiración**, que se define como la suma de la pérdida de vapor de agua, como consecuencia de la **evaporación** sobre el suelo y sobre los vegetales, más la **transpiración** de la cobertura vegetal, que consiste en la eliminación por evaporación de una parte del agua absorbida por las plantas.

El proceso de evapotranspiración, con dos componentes, depende de diversos factores, como por ejemplo:

- Los meteorológicos o climáticos: la radiación solar que recibe la cubierta vegetal, la velocidad del viento a la altura de los cultivos (se ha tomado como medida estándar internacional la de dos metros sobre el suelo), la temperatura del aire y de la superficie y el contenido de vapor de agua de la atmósfera.
- Los factores de la planta, que pueden variar según el tipo de cubierta vegetal (aspectos morfológicos, tamaño, disposición y albedo de las hojas) o bien estar relacionados con la altura de la cubierta vegetal que condiciona la cantidad de energía absorbida y su transferencia o disipación.
- Los factores edáficos, como son el contenido y la disponibilidad de agua, el régimen térmico y el albedo.

04 Los cálculos para obtener los valores de evapotranspiración.

La mejor forma de calcular el consumo de agua de las plantas por evapotranspiración es la medición directa, que se puede hacer mediante lisímetros. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que son instrumentos complejos, que requieren atención continua, que son difíciles de instalar y, económicamente, de mantener.

Otros sistemas de medición directa (balance hidrológico, cámaras técnicas y mediciones del flujo de calor) también son costosos, complicados de mantener y, en algunos casos, poco estudiados y evaluados. Por este motivo, se ha impuesto el cálculo de la evapotranspiración mediante cálculos indirectos, basados en fórmulas obtenidas tras multitud

de pruebas de validación.

En consecuencia, se han establecido una serie de términos que deben conocerse, relacionados con el consumo de agua:

• **La evapotranspiración potencial (ETp).**

Es la cantidad de agua evaporada por unidad de superficie, en un tiempo determinado, por una vegetación que cubra totalmente el terreno y que tenga sus necesidades hídricas satisfechas. Este concepto fue introducido por Thornwaite (1948) y para su cálculo sólo son necesarios datos de temperaturas medias mensuales del lugar concreto; el mes es la unidad temporal habitualmente utilizada.

• **La evapotranspiración de referencia (ETo).**

Se trata de la cantidad de agua evaporada por unidad de superficie, en un tiempo determinado, en un cultivo considerado de referencia y que concretamente es un prado cubierto de césped o de raigrás con una altura comprendida entre 10 y 15 cm y con las necesidades satisfechas. Según las diferentes fórmulas utilizadas, los datos se pueden dar en horas, días o en totales mensuales.

• **La evapotranspiración real (ET).**

Se debe multiplicar el dato de ETo por los coeficientes de cultivo (Kc), que son propios de cada especie y variedad y dependen también del estado fenológico de la planta. Queda así patente la dependencia de la ET respecto al crecimiento y al desarrollo de la planta.

Con referencia al cálculo de la ETo, se han desarrollado distintas fórmulas empíricas que tienen en cuenta diversos parámetros y variables, tanto meteorológicos como de otros tipos (rugosidad del terreno, altura de la vegetación, etc.). La fiabilidad y exactitud de estas formulaciones están bastante relacionadas con las variables que toman en consideración y el tipo de clima propio de los lugares concretos en los que se quieren aplicar. Así, si se dispone únicamente de datos de temperaturas extremas diarias (máximas y mínimas), se pueden realizar los cálculos contenidos en la fórmula de Hargreaves. La fórmula de Blaney-Criddle utiliza datos de temperatura media y diferentes coeficientes que dependen de la latitud del lugar escogido.

Se han estudiado otras fórmulas que ofrecen diferentes grados de exactitud. No obstante, la más utilizada es la basada en el original de Penman (1949), que ha sido mejorada por diversos autores (Monteith, entre ellos) y que en el último enunciado que aparece publicado por la FAO (Allen *et al.*, 1998 (*) da como resultado valores

que se muestran bastante ajustados a la realidad, concretamente para el caso de Cataluña.

05 Las mediciones meteorológicas

La última fórmula de Penman-FAO (1998) es la que se utiliza en el entorno de programas de la Red Agrometeorológica de Cataluña (XAC), que gestiona el Servicio Meteorológico de Cataluña (SMC), entorno en el cual los usuarios pueden consultar los datos de ETo sin tener que realizar complicados cálculos. Las ventajas de esta formulación se deben al buen grado de correspondencia con la realidad, avalada por diversas experiencias y calibraciones, aunque se debe disponer de varios datos meteorológicos que obligan a instalar sensores de medición de distintas variables, algunas bastante usuales, como la temperatura, pero otras no tan habituales, como la radiación solar y la velocidad del viento a 2 metros de altura.

Hasta la última revisión de la fórmula de Penman era necesario disponer de datos directos de radiación neta. Para ello, surgía la dificultad de mantener en buen funcionamiento los aparatos de medición de esta variable y un entorno con césped o gramíneas en perfecto estado (cosa bastante difícil y cara en países semiáridos como es gran parte del nuestro), además del coste que supone. En la última fórmula, esta radiación neta se puede deducir de la global, y resulta mucho más sencilla y fiable en la medición.

Se debe hacer constar que, a diferencia de otros cálculos, la fórmula de Penman-FAO

permite obtener la ETo horaria, diaria y el total mensual.

Hay que mencionar, por último, que las unidades que se hacen servir son los mm o los m³/ha (1mm = 10m³/ha)

06 Algunos datos del balance hídrico de las zonas agrícolas de Cataluña

En el cuadro adjunto se pueden consultar los datos de precipitación, ETo y su relación (balance hídrico) de diferentes lugares situados en las principales zonas agrícolas de Cataluña.

Los valores se han obtenido, en cuanto a la ETo, de las estaciones automáticas de la XAC; se trata de series de 16 años como máximo. Aunque una serie se considera fiable a partir de los 30 años, se ha comprobado que la ETo no presenta grandes variaciones interanuales. El caso contrario es el de la precipitación y, por ello, los datos que se reflejan han sido obtenidos de estaciones próximas a las automáticas, pero de series mucho más largas.

Si se hace un rápido análisis del cuadro se puede comprobar que:

- La mayor parte de las zonas agrarias de Cataluña presenta un balance hídrico negativo, excepto la Garrotxa y algún punto de Osona, hecho que pone de manifiesto la necesidad de utilizar el agua de riego para completar las necesidades hídricas de los cultivos.
- Las comarcas de la demarcación de Gi-

PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA TOTALES ANUALES				
Datos de estaciones situadas en las principales zonas agrícolas de Cataluña				
ESTACIÓN	COMARCA	PRECIPITACIÓN	EVAPOTRANSPIRACIÓN	BALANCE HÍDRICO
		(en mm)		
Vallfogona de Balaguer	Noguera	420	850	-430
El Poal	Pla d'Urgell	400	835	-435
Raimat	Segrià	420	850	-430
La Granadella	Garigues	420	960	-540
El Canós - els Plans de Sió	Segarra	465	840	-375
Ulldedecona	Montsià	600	890	-290
Amposta	Montsià	565	810	-245
Benissanet	Ribera d'Ebre	455	980	-525
Constantí	Tarragonès	540	905	-365
Vinyols i els Arcs	Baix Camp	540	880	-340
Viladecans	Baix Llobregat	600	830	-230
Caldes de Montbui	Vallès Oriental	640	855	-215
Perafita	Osona	830	835	-5
Cabrils	Maresme	620	900	-280
Sant Martí Sarroca	Alt Penedès	510	940	-430
Cassà de la Selva	Gironès	690	810	-120
Mas Badia - la Tallada d'Empordà	Baix Empordà	670	805	-135
Sant Pere Pescador	Alt Empordà	660	805	-145
La Vall d'en Bas	Garrotxa	1020	800	220

rona son las que tienen el balance hídrico negativo menos acusado (entre 100 y 150 mm anuales).

- En las comarcas de Barcelona, los resultados son bastante irregulares: la ETo es mayor en la Depresión Prelitoral (Alt Penedès) que cerca de la costa. Las lluvias, sin embargo, tienen un comportamiento contrario, hecho que refuerza estas diferencias (de 200 mm en la costa hasta más de 400 mm de balance negativo en el interior).

- En la demarcación de Tarragona, la Ribera d'Ebre presenta el balance más negativo, a causa de las precipitaciones poco abundantes y las evapotranspiraciones más altas de todo Cataluña. En el resto, sobre todo en el Delta de l'Ebre, el balance hídrico, a pesar de ser negativo, no consigue valores tan áridos.
- En la demarcación de Lleida, hay un máximo negativo en Les Garrigues, después del de la Ribera d'Ebre (más de 500 mm de media,

muy superior en los últimos años, bastante secos en estas comarcas). En las demás zonas agrícolas de Les Terres de Ponent, la ETo supera el total de precipitaciones, con más de 400 mm año de media.

(*) ALLEN, R et al (1998): *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Fao irrigation and drainage paper, 56.*

Antonio Gázquez Picón

Jefe de Equipo de Estaciones Meteorológicas. Servicio Meteorológico de Cataluña. Departamento de Medio Ambiente y Vivienda
agazquez@meteocat.com

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CULTIVO EN LISÍMETROS DE PESADA



Vista general del lisímetro. Foto: J. Girona.



Detalle del sistema de riego del lisímetro. Foto: J. Girona.

01 Introducción

Un aspecto crucial en el riego de plantaciones comerciales de frutales es la determinación del consumo y requerimientos de agua. El método de programación de riegos basado en el balance de agua (Doorenbos y Pruitt, 1977) propone definir los requerimientos de los cultivos (ETc) utilizando la evapotranspiración de referencia (ETo), la cual se puede determinar a partir de datos climáticos y representa la evapotranspiración (ET) de una cubierta de césped de 4 a 10 cm de altura. La evapotranspiración de cultivo es, por lo tanto, el resultado de multiplicar ETo por un parámetro que ajusta la ETo a cada condición específica de cultivo. Este parámetro es el coeficiente de cultivo (Kc).

$$ETc = ETo * Kc.$$

Se trata de un método que se aplica habitualmente en el sector agrícola, pero se debe tener en cuenta que presenta dos puntos débiles:

1. Las determinaciones de ETo obtenidas en estaciones agroclimáticas pueden ser poco precisas si las estaciones no están instaladas de acuerdo con unos requerimientos estandarizados o si el mantenimiento y la calibración de los sensores no se realiza con una periodicidad adecuada.
2. Los coeficientes de cultivo utilizados (que cambian temporalmente, según una escala semanal o quincenal) no se ajustan suficientemente bien a las condiciones específicas de cultivo: variedad utilizada, marco de plantación, orientación del cultivo, tamaño y forma del árbol, manejo del suelo y carga del fruto, entre otros.

En este sentido, con referencia a la complejidad para determinar el Kc, la FAO publicó un monográfico específico sobre este tema (FAO-056) (Allen et al., 1998). Los Kc no específicos para árboles frutales divulgados con anterioridad (FAO-024) (Doorenbos y Pruitt, 1977) sólo diferenciaban dos grandes grupos, los frutales de hoja caduca

y los de hoja perenne. Esta excesiva simplicidad en el uso de los Kc dio en ciertos casos resultados insatisfactorios. En un experimento de campo con perales con formación en palmeta, en el cual se utilizaron los coeficientes de cultivo según FAO-024, las aportaciones de agua de riego de un 70% de los requerimientos calculados daban producciones significativamente superiores a las regadas según el 100% de los requerimientos hídricos (Marsal et al., 2002). En este estudio se subrayó que la discrepancia entre producciones máximas y la aplicación de los requerimientos hídricos podía deberse: 1) a un error en el cálculo de los consumos de agua o 2) al hecho de que el máximo consumo hídrico no coincidiera con la máxima producción (Marsal et al., 2002).

Con el objetivo de clarificar aspectos tan básicos, se construyó un lisímetro de pesada de gran capacidad para medir consumos de agua reales de perales con formación en palmeta. Los resultados publicados en este artículo son los primeros datos relevantes obtenidos, con relación al peral.



Vista general interior del lisímetro. Foto: J. Girona.



Detalle de célula de carga. Foto: J. Girona.

02 Material y métodos

02.01 Descripción del lisímetro

La estación lisimétrica del IRTA, localizada en los campos experimentales del EEL-IRTA en Mollerussa, consta de dos lisímetros y una estación climática automatizada. El equipamiento está situado en dos parcelas diferentes (peral y manzano), en cuyo centro se construyeron los lisímetros. La parcela de peral se plantó en 1999 utilizando el cv. Conference sobre portainjerto M-A y los árboles se plantaron en un marco de 4 m x 1,6 m. La estación climática se situó sobre una cubierta de césped a 20 m de distancia de los lisímetros. Todo el conjunto comprende un área total de casi 2 ha (**figura 1**).

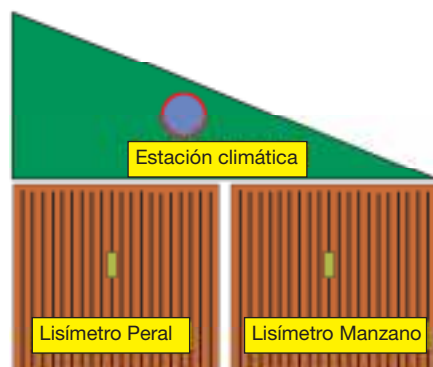


Fig. 1. Estación lisimétrica del IRTA. Distribución de los elementos.

Los coeficientes del cultivo (K_c) se determinan de la siguiente forma, ya que la E_{Tc} se obtiene directamente de los lisímetros y la E_{To} a partir de la estación climática (de acuerdo con la ecuación Pen-man-Monteith):

$$K_c = E_{Tc} / E_{To}$$

Cada lisímetro de pesada tiene un volumen de contenedor de 17 m³, con una dimensión de 1,70 m de profundidad y una superficie real exterior de 9,5 m² (2 x 4,8 m). La profundidad del

espacio habitable es de 2,40 m. El sistema de pesada está formado por 4 células de carga, con una capacidad de 15 tm, de tal forma que el conjunto puede pesar hasta un total de 60 tm. El sistema tiene una sensibilidad de 0,5 kg, que permite detectar consumos de agua tan reducidos como 0,053 mm.

El conjunto se sustenta sobre una construcción de cemento, con un espacio central abierto dentro del suelo donde está situado el contenedor lisimétrico, y una zona adyacente de proporciones inferiores que permite el acceso a la zona habitable. La tierra desplazada por esta cavidad se ha utilizado para rellenar y reconstruir el perfil de suelo en el contenedor lisimétrico. La disposición de las capas de suelo originales se preservaron durante el procedimiento de carga del contenedor, pero la densidad aparente del suelo original no se reprodujo para evitar posteriores problemas de compactación. Cada contenedor tiene espacio suficiente para plantar tres árboles con el mismo marco que los de la parcela (**figura 2B**).

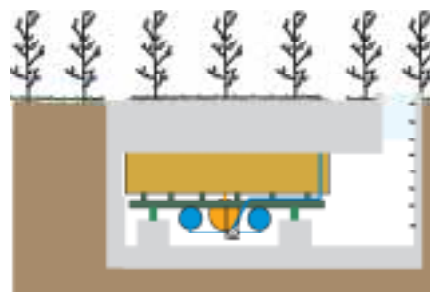


Fig. 2. Sección transversal del lisímetro. B). Acceso a la zona no habitable.

Las células de carga están conectadas a un equipo que controla y almacena los datos, y que lee de forma continua los valores de peso de cada contenedor. La diferencia de peso entre horas seguidas indica la cantidad de agua consumida en una hora concreta (incluye transpiración y evaporación). Ambos valores, peso y consumo de agua, se graban con periodicidad horaria.

El agua de drenaje y la destinada al riego están almacenadas en recipientes diferenciados (200 l en el recipiente de drenaje, 100 l en cada uno de los dos recipientes de riego), que cuelgan del contenedor lisimétrico. Los recipientes de riego se rellenan diariamente, cada noche, según la cantidad de agua consumida el día anterior, que después se utiliza para regar el lisímetro (**figura 2A**).

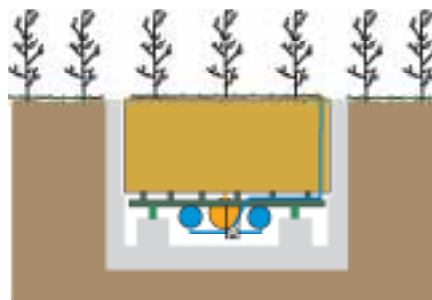


Fig. 2. Sección transversal del lisímetro. A). Detalles del equipamiento (contenedor, sistema de riego, células de carga, recipientes, etc.).

ceptómetro (Accupar, Decagon Devices Inc., Pullman, Wash., USA), también de forma semanal. Se recogen los datos del ceptómetro a partir de treinta y cuatro lecturas; treinta y dos en posiciones predeterminadas bajo los árboles y dos, encima de la cubierta.

De esta forma, el sistema permite la determinación de los consumos de agua sin ninguna interferencia del agua drenada y el agua utilizada para regar.

De esta forma, el sistema permite la determinación de los consumos de agua sin ninguna interferencia del agua drenada y el agua utilizada para regar.

02.02 Procedimientos de control

Los datos grabados se verifican a diario y se comprueba todo el sistema una vez por semana, para garantizar la precisión de las mediciones. Además, se determina la interceptación de luz de los árboles en el lisímetro (LI) con un

03 Resultados y discusión

La evolución diurna de los valores observados de ETC y de ETo en peral resultaron muy similares (figura 3), especialmente cuando parte de la variabilidad en los valores de ETC fue ajustada a una línea cuadrática. Los valores de Kc

derivados de los cálculos diarios de ETC y de ETo presentaron un patrón estacional muy bien definido (figura 4). Este patrón se obtuvo siguiendo el método de Allen *et al.* (1998), según el cual sólo se incluyen en el ajuste los valores inferiores de Kc, de forma que el componente de evaporación comprendido en el consumo

total para el cultivo queda minimizado. Los días de lluvia la evaporación del suelo aumenta, hecho que supone que también aumente el Kc. Los valores de Kc correspondientes al periodo invernal se cifraron en 0,22, mientras que, a partir de la fase de aparición de hojas y desarrollo vegetativo, se incrementaron paulatinamente hasta 0,85.

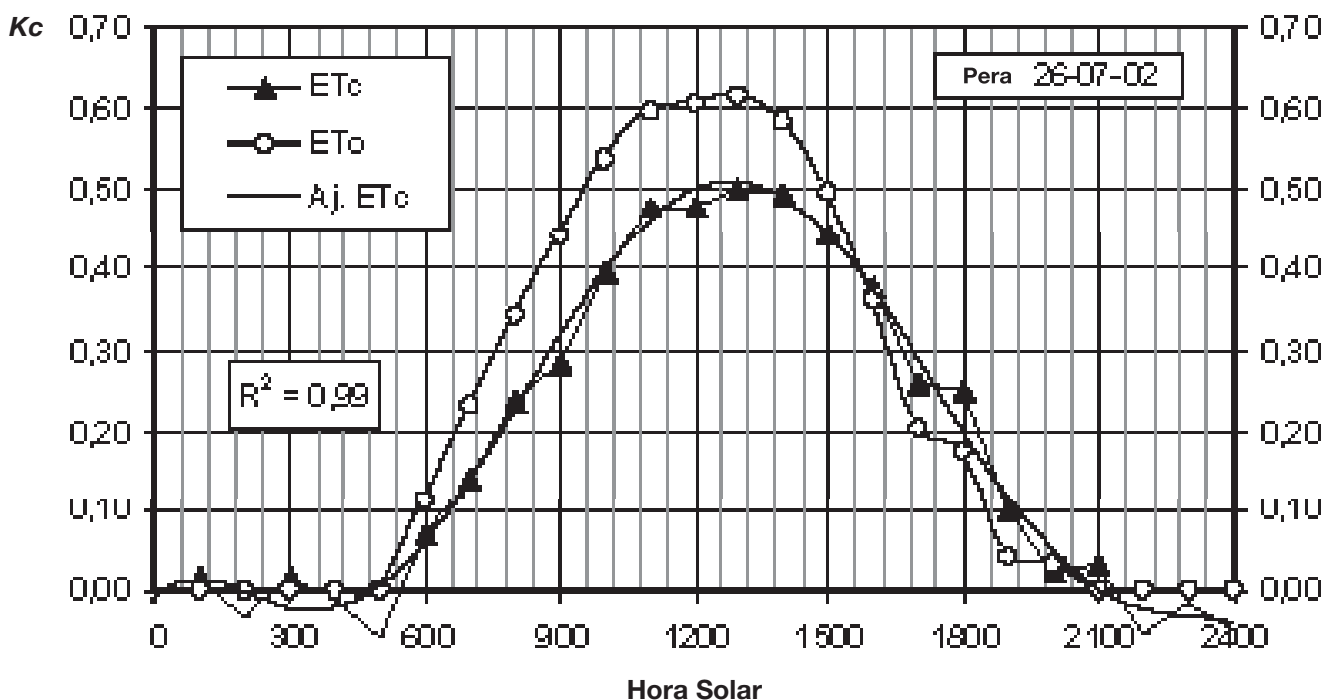


Fig. 3. Evolución diurna de la evapotranspiración de referencia (ETo) (a partir de los datos de la estación climática), evapotranspiración de cultivo (ETc) (a partir de los datos del lisímetro) y ETC ajustada (Adj. ETC).

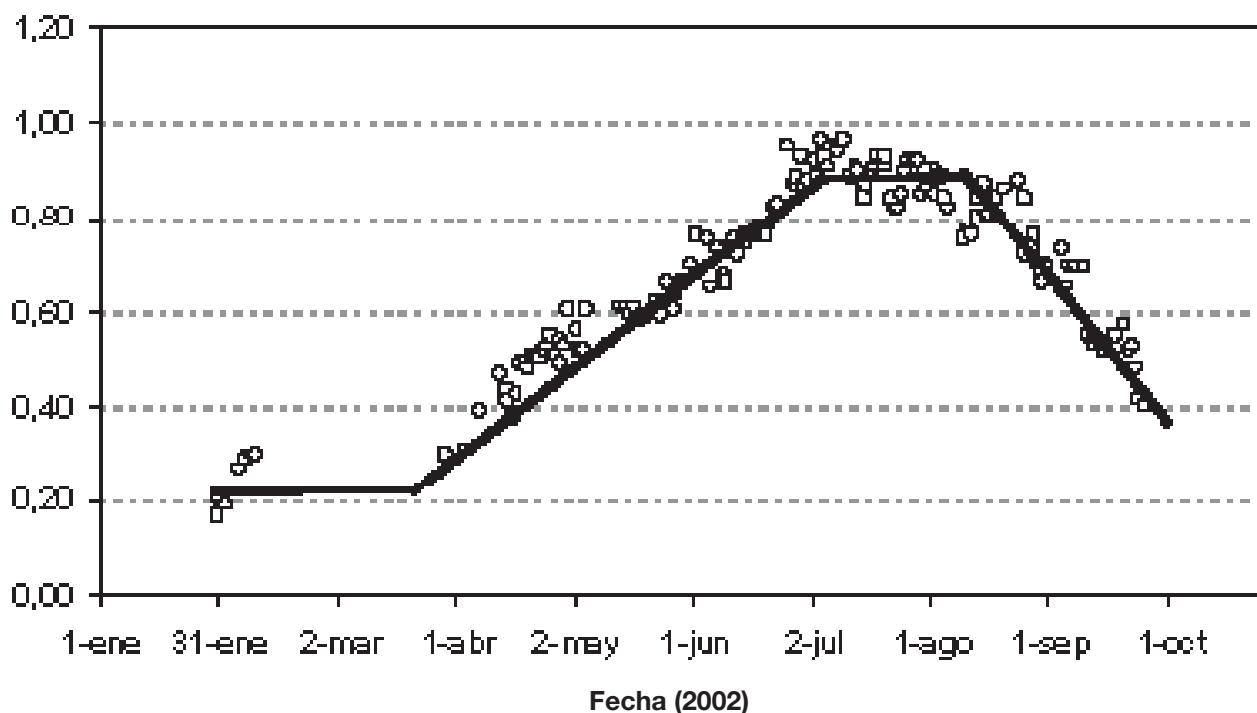


Fig. 4. Patrones estacionales de los Kc en peral según los datos del año 2002. Valores obtenidos del lisímetro (círculos) y Kc0 (líneas).

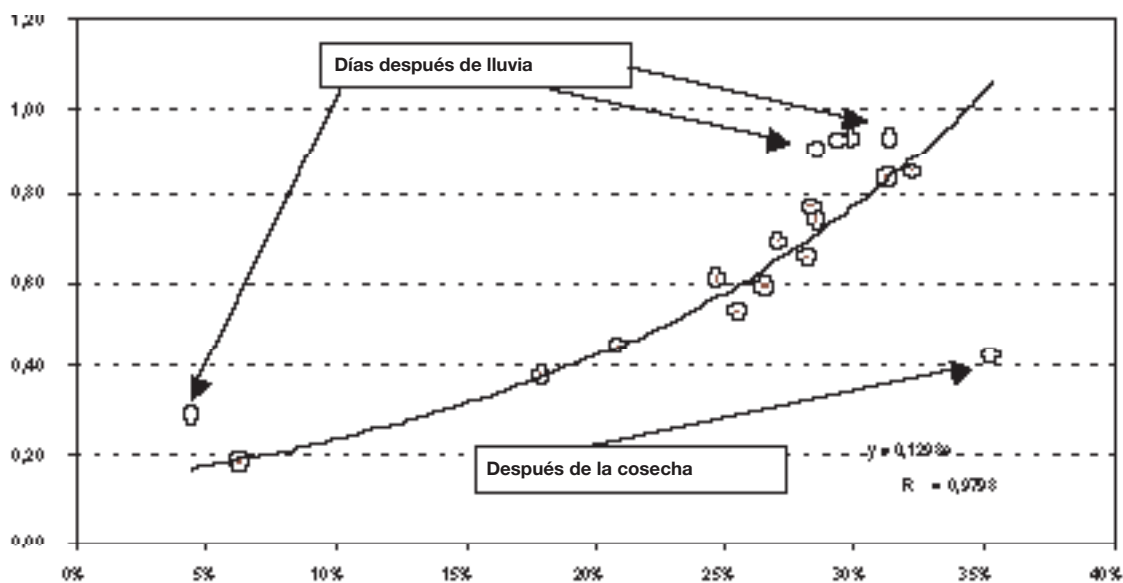


Fig. 5. Relación entre Kc e intercepción de radiación (IR) durante el año 2002.

Durante el periodo de verano, con los consumos mayores de agua, los valores de Kc resultaron un 30% inferior al valor de 1,1 propuesto por la FAO para el mismo periodo (Doorenbos y Pruitt, 1977). Estos valores inferiores de Kc podrían deberse a la poca cobertura que normalmente tienen los árboles formados en palmeta y también a las características de arquitectura específicas de una cubierta de este tipo, comparadas con otras como las de un árbol formado en vaso. Aunque en el cultivo, durante el año 2002, tuviera unos valores de intercepción de radiación (35%) muy similares a los referenciados en parcelas de peral formadas en palmeta (38%) (Marsal et al., 2002), se debe tener en cuenta que los árboles eran de 4 años y quizás los valores máximos de Kc se podrían haber incrementado ligeramente durante el verano.

Otra forma de considerar los efectos de la cubierta sobre los valores de Kc es el sistema propuesto por Johnson et al. (2000, 2002). Estos autores han encontrado en melocotonero una correlación muy significativa entre la intercepción de radiación medida con ceptómetro y el Kc real medido con lisímetro, válido para diferentes momentos del desarrollo del cultivo.

En nuestro estudio, el Kc y la intercepción de radiación han resultado también altamente correlacionados (figura 5), aunque en algunos días específicos, después de la cosecha y de días con lluvia, esta buena relación se rompe. Esto sucede porque después de la cosecha, cuando no hay frutos en el árbol, las hojas de peral bajan considerablemente su ritmo de trabajo y transpiran menos agua (bajan los Kc) pero mantienen



Estación climática adjunta a la estación lisimétrica. Foto: J. Girona

los valores de superficie de hoja muy altos y, por lo tanto, la intercepción de radiación continúa siendo alta. Cuando los valores correspondientes a días lluviosos y días posteriores a la cosecha no se consideran en la relación, se obtiene una correlación altamente significativa entre ambos parámetros, de acuerdo con una función exponencial ($R^2 = 0,9798$) $Kc = 0,1298 e^{5,9481 \cdot IR}$. Los resultados confirman que la intercepción de radiación (IR) puede ser muy útil para estimar los Kc, tanto para melocotonero como para peral.

04 Bibliografía

- Allen, R.W., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. 300 págs.

- Doorenbos and Pruitt, 1977. *Crop Evapotranspiration*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. 180 págs.

- Fereres, E., Pruitt, W.O., Beutel, J.A., Henderson, D.W. Holzappel, E., Schulbach, H., and Uriu, K., 1981. *Evapotranspiration and drip irrigation scheduling*. En: *Drip Irrigation Management*. Fereres E. Tech. Ed., Division of Agricultural Sciences, University of California: (8-13).

- Johnson, R.S., Ayers, J., Trout, T., and Hsiao, T. C., 2002. *Modelling young peach tree evapotranspiration*. *Acta Hort.* 584:107-113.

- Johnson, R.S., Ayers, J., Trout, T., Mead, R., and Phene, C., 2000. *Crop coefficients for mature peach trees are well correlated with midday canopy light interception*. *Acta Hort.* 537:455-460.

- Marsal, J., Mata, M., Arbonés, A., Rufat, J., and Girona, J., 2002. *Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young trees: an evaluation based on vegetative and productive response*. *European Journal of Agronomy*, 17:111-122.

J. Girona, J. Marsal, M. Mata, i J. del Campo
 Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA)
 Área de Tecnología Frutícola. Centro UdL-IRTA, Lleida.
 joan.girona@irta.es

LA GESTIÓN DEL AGUA DE RIEGO



Tanque evaporimétrico y radiómetro neto para estimar la demanda evaporativa del ambiente, utilizados para la programación de riegos. Foto: J. M. Villar



Sistema de riego Pivote en la zona regada por el Canal de Aragón y Cataluña con problemas de uniformidad por la presencia de un viento moderado. Foto: J. M. Villar

01 Las necesidades de agua de los cultivos

En la agricultura se utilizan grandes cantidades de agua de riego, necesaria para aumentar la obtención de alimentos, de fibra y, cada vez más, de energía. Por un lado, el uso de agua de riego hace posible mantener los niveles actuales de productividad conseguidos en Cataluña; por otro lado, el sistema productivo, con unos precios muy condicionados por la economía mundial, está en fase de progresiva modernización y no podría soportar un encarecimiento del agua. Por este motivo, uno de los principales retos de la agricultura actual es modernizar los sistemas de riego y utilizar técnicas de programación, con la ayuda de asesoramiento técnico, con la finalidad de hacer un buen uso del agua, que responda a la demanda social.

Las directrices de la Organización de las Naciones Unidas sobre la alimentación y la agricultura, publicadas hace ahora 30 años (Doorenbos y Pruitt, 1975), se han utilizado para determinar las necesidades de agua de los cultivos en todo el mundo. La reciente publicación de la FAO (Allen *et al.*, 1998) es la referencia actual sobre el tema.

La metodología FAO permite hacer estimaciones de las necesidades de agua de los cultivos labrados en campos grandes, en condiciones de disponibilidad de agua en el suelo y de manejo excelentes. Se basa en el uso de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y de un coeficiente de cultivo (K_c).

La ET_o es una medida de la capacidad que tiene un ambiente para evaporar el agua a través de una cubierta vegetal, y está condicio-

nada por la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad ambiental y la velocidad del viento. Actualmente, el Servicio Meteorológico de la Generalitat de Catalunya suministra esta información mediante la red de estaciones meteorológicas automáticas. La ET_o se calcula a partir de la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), según la cual también se han recalculado los datos históricos del Servicio Meteorológico anteriores al año 1998.

El coeficiente de cultivo (K_c) representa una integración de los efectos de cuatro características básicas: la altura del cultivo, el albedo (reflectancia de la radiación solar) de la superficie suelo-planta, la resistencia a la salida del vapor de agua desde las hojas y la evaporación directa del agua desde el suelo. Es un valor que cambia a lo largo del ciclo del cultivo y requiere una investigación local, contrastada por los servicios de asesoramiento del riego. En Cataluña, la Unidad de Riegos del Centro UdL-IRTA, que dirige el Dr. Girona, está realizando este trabajo con unos resultados muy interesantes y de gran valor práctico.

Por lo tanto, la fórmula es:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

El cálculo de la evapotranspiración de un cultivo (ET_c) proporciona una estimación del agua que se evapora a la atmósfera desde un campo de cultivo, e incluye el agua transpirada (T) y el agua que se evapora desde el suelo (E). La evapotranspiración (ET) se expresa en milímetros de altura de agua, igual que la lluvia (mm o litros por metro cuadrado) o en metros cúbicos de agua por hectárea (m³/ha).

Esta metodología se utiliza para conocer las necesidades de agua de los cultivos y hacer programaciones de riegos semanales (muy útil en sistemas de riego por aspersión y de riego localizado) y también para hacer calendarios de riego del año medio y para diferentes niveles de probabilidad de incidencia.

En años excepcionalmente secos, como este primer semestre del año 2005, en el cual el suministro de agua de riego puede ser limitado, las técnicas de programación ayudan a establecer estrategias de riego o a decidir si es necesario disminuir la superficie de regadío, como se ha hecho en algunas zonas regables del Valle del Ebro.

02 La programación de riegos

La programación de riegos tiene por objetivo determinar:

1. ¿Cuánto agua hay que aplicar? Es decir, permite definir las cantidades de agua de riego a aportar (dosis de riego).
2. ¿Cuándo hay que regar? Permite definir el intervalo entre riegos, es decir, la frecuencia de riegos.

En el momento de programar los riegos, en los cultivos y plantaciones de Cataluña, es muy importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **La salinidad.** Si la calidad del agua de riego no es la adecuada (por ejemplo, a partir de conductividades eléctricas superiores a 0,6 dS/m) o hay sales solubles en el suelo (cloruro sódico o sulfato sódico), se deben prever las necesidades de lavado y eliminar este exceso de agua mediante drenajes.

- **El contenido de agua en el suelo en el momento de la germinación.** Por ejemplo, durante la emergencia del maíz o de la cebolla, según el tipo de suelo y las condiciones ambientales de viento y humedad, es necesario regar con dosis bajas, pero muy a menudo, para evitar el encostramiento.
- **El contenido de agua en el suelo en el momento de la cosecha.** Para facilitar la recogida de la alfalfa o del maíz, o de cualquier otro cultivo, el suelo debe estar en las condiciones adecuadas y, por lo tanto, hay que adaptar la programación de riegos.
- **El régimen de lluvias.** También se debe adaptar la programación de riegos al régimen de lluvias, ya que en los ambientes semiáridos de Cataluña la variabilidad de la lluvia es superior a la de la ETo.
- **La textura del suelo.** En suelos de texturas gruesas y moderadamente gruesas (franco-arenosos) se debe evitar un lavado excesivo, que provocaría la pérdida de nutrientes. Conviene, por lo tanto, disminuir las dosis de riego y aumentar su frecuencia.
- **El coste energético es un factor clave en la gestión del agua en las comunidades de regantes.** En este sentido, la programación de riegos contribuye al diseño de la instalación para que sea más eficiente.

Las estrategias de la programación de riegos también dependen de los objetivos que se plantea el empresario:

- Optimizar la distribución del agua disponible entre los cultivos a regar.
- Maximizar los rendimientos (cantidad y/o calidad).
- Buscar un rendimiento económico máximo.
- Minimizar los costes del riego.
- Regar únicamente en los momentos críticos (de utilidad en los riegos de apoyo).
- Minimizar la contaminación ambiental.
- Optimizar los rendimientos con una disponibilidad limitada de agua.

Los riegos deficitarios controlados son, por ejemplo, una estrategia que permite optimizar la producción de fruta y su calidad, sin tener que aplicar la máxima cantidad de agua, hecho que permite ahorrar agua. El Centro UdL-IRTA está desarrollando trabajos de gran interés práctico en este campo.

03 El balance de agua en el suelo

Para hacer la gestión del agua de riego, es fundamental conocer la cantidad de agua que



Implantación de un sistema de cobertura total por aspersión sobre un suelo con horizontes cálcicos y petrocálcicos. Estos suelos, poco productivos en condiciones de seco, son bastante productivos con un manejo adecuado del agua de riego y de la fertilidad. Foto: J. M. Villar

contiene el suelo, de donde las raíces de las plantas extraen los nutrientes que necesitan. Hay que tener en cuenta que cuando el agua entra en el suelo (infiltración), se redistribuye y sólo queda disponible una cierta cantidad en la zona radicular, que será utilizada por las plantas de una forma más o menos inmediata, o a más largo plazo.

El agua en el suelo está sometida a diferentes fuerzas que condicionan su movilidad, de las cuales la fuerza de la gravedad es la más importante. Cuando el contenido de agua es bajo, ocupa poros más pequeños y es atraída, aunque débilmente, por la matriz del suelo. Con el tiempo, las fuerzas de la gravedad provocarán que vaya saliendo de la zona radicular y, si no se realiza una aportación externa, el contenido de agua en el suelo tenderá, a largo plazo, a ser prácticamente nulo.

Hacer un balance del agua en el suelo, mediante la ecuación de conservación del agua, tiene la finalidad de predecir el contenido de agua en la zona de raíces.

Para realizar una programación de riegos con la aplicación del balance de agua en el suelo, se debe determinar:

- La capacidad de retención de agua disponible (CRAD)
- La profundidad de enraizamiento.
- El nivel de agotamiento de agua al que se quiere llegar.
- La evapotranspiración del cultivo (ETc).

04 La capacidad de campo (CC)

El concepto de capacidad de campo (CC) fue definido como "la cantidad de agua que queda en el suelo después de que un exceso de agua haya drenado y haya disminuido de forma importante el movimiento en profundidad, hecho que tiene lugar entre dos y tres días después de una lluvia o de un riego en un

suelo con textura y estructura uniforme".

La CC se determina por el contenido de agua en el suelo que corresponde a un potencial mátrico de -33 kPa (*). En suelos arenosos, se utiliza el contenido de agua que se corresponde con un potencial mátrico de -10 kPa. Normalmente, se determina en laboratorios que dispongan de platos de presión, pero sería más preciso determinar el contenido de agua en el suelo dos días después de lluvias abundantes o de un riego, evitando la evaporación desde la superficie.

05 El punto de marchitez permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente (PMP) se determina por el contenido de agua en el suelo a -1.500 kPa (**) de potencial mátrico. Es un valor característico y constante para un suelo determinado. Por debajo de este límite se considera que las plantas no pueden extraer agua.

06 La capacidad de retención de agua disponible (CRAD)

La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) se determina por la diferencia entre los contenidos de agua a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP).

Este concepto se calcula en mm/m o en mm cuando se conoce la profundidad efectiva del suelo (la profundidad efectiva, a veces, se denomina profundidad útil). La textura del suelo es la característica que más determina el valor de la CRAD. Por este motivo, y como orientación, se presenta la Tabla 1.

Los laboratorios de suelos especializados fijan estos parámetros, que son de mucha utilidad para gestionar el agua de riego.

(*) -0.033MPa = -33 kPa \approx -0.33 bar

(**) -1,5MPa = -1.500 kPa \approx -15 bar

Taula 1. Valores aproximados de la CRAD para diferentes texturas del suelo

Textura del suelo	Intervalo mm/m	Media mm/m
Arenosa gruesa	50-70	60
Arenosa fina	75-95	85
Arenosa franca	90-110	100
Franco arenosa	105-125	115
Franco arenosa fina	120-140	130
Franco arenosa muy fina	130-150	140
Franco arcillosa y arcillosa	120-180	150
Franco arcillosa limosa y arcillosa limosa	140-180	160
Franco limosa	160-210	185
Turbas y estiércoles	160-250	210

07 El nivel de agotamiento permisible de agua (NEP)

El nivel de agotamiento permisible de agua (NAP) es un porcentaje de la capacidad de retención de agua disponible (CRAD), que se establece como referencia en la programación de riegos.

Es un concepto de mucha utilidad en los riegos por aspersión y en los riegos de superficie, si se pueden escoger los intervalos de riego. En ocasiones, está relacionado con el contenido de agua del suelo, por debajo del cual puede afectar al rendimiento o a la calidad de la producción y, por lo tanto, es variable según el cul-

Ejemplo de cálculo

Un laboratorio de suelos nos informa de que tenemos un suelo uniforme, muy profundo y sin pedregosidad, con los siguientes datos de los contenidos de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

$$\theta_{CC} = 0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}; \theta_{PMP} = 0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$$

La CRAD en mm/m se estima como:

$$\theta_{CC} - \theta_{PMP} = 0,31 - 0,14 = 0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}; \text{equivalente a } 170 \text{ mm/m}$$

Si la profundidad de enraizamiento (P_r) es 1 m:

$$CRAD = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) P_r = 1000 (0,31 - 0,14) * 1 = 170 \text{ mm}$$

CRAD (Contenido de agua disponible en el suelo en la zona radicular) en mm; θ en $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$; P_r en m

En el suelo del ejemplo anterior se quiere regar, por aspersión, un cultivo de espinacas (*Spinacia oleracea*) que tiene una profundidad máxima efectiva de enraizamiento (Z_r) de 0,4 m. La altura de agua (d) nos indica la cantidad de agua que almacena el suelo respecto a la profundidad efectiva que exploran las raíces de las plantas cultivadas. El uso de estas unidades es muy práctico, puesto que permite la comparación directa con las medidas del agua de lluvia o de la evaporación, que normalmente se expresan en alturas de agua.

Si el nivel de agotamiento permisible (NAP) es del 30%, la cantidad de agua disponible, en mm, se calcularía de la siguiente forma:

$$d = 170 \frac{\text{m}}{\text{m}} * 0,4 \text{ m} = 68 \text{ mm}$$

$$D_{netas} = 68 \text{ mm} * \frac{30}{100} = 20,4 \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$$

La condición para regar sería que la disminución acumulada de agua en el suelo desde capacidad de campo llegara a los 20 mm. Esta cantidad se corresponde con el volumen neto de agua a aplicar (D_{netas}) y equivale a 200 m^3/ha .



Plantación de melocotoneros con sistema de riego por goteo encima de un suelo con baja capacidad de retención de agua por la presencia de un horizonte petrocálcico cerca de la superficie. La programación de riegos permite ajustar la frecuencia y dosis de los riegos y hacer que este suelo sea muy productivo. Foto: J. M. Villar.

tivo. Este parámetro es la base estratégica para tomar decisiones en cuanto a la programación de riegos, ya que determina la dosis (cuánto regar) y la frecuencia (cuándo regar). En cultivos extensivos como el maíz, es un valor entre un 40% y un 60% y que varía a lo largo del ciclo del cultivo.

En los sistemas de riego localizado, donde se puede dar más de un riego al día, este concepto no es de mucha utilidad.

El contenido de agua en el bulbo húmedo se procura mantener cerca de la capacidad de campo. Como las necesidades de agua de los cultivos (ET_c) pueden variar mucho de una semana a la otra, las necesidades de agua de riego, también. Esto obliga a modificar cada semana los programadores y a ajustar los tiempos de riego a la capacidad de suministrar agua del sistema.

08 Las necesidades de riego

Los servicios de asesoramiento al regante también informan de las cantidades de lluvia y aportan una estimación de la lluvia efectiva (P_e); lluvia que realmente se almacena en el suelo. Para realizar una programación semanal, que es lo más frecuente, se debe calcular la diferencia entre la ET_c y la P_e ($ET_c - P_e$). Las necesidades de riego netas (D_{netas}) represen-

tan la cantidad de agua que se almacena en la zona de las raíces para ser utilizada por el cultivo.

$$D_{netas} = CRAD * Pr * NEP$$

Las necesidades brutas de agua de riego (D_{brutas}) dependen de la eficiencia de aplicación de agua a nivel de parcela (Ea), en tanto que para u.

$$D_{brutas} = \frac{D_{netas}}{Ea}$$

Taula 2. Intervalos típicos de eficiencias de aplicación de agua

Sistema de riego	Eficiencia media durante todo el periodo de riego	Eficiencia en los momentos punta de riego
Superficie	0,55-0,84	0,70-0,87
Aspersión	0,67-0,90	0,55-0,90
Goteo	0,74-0,95	0,74-0,95

a nivel de parcela (Martin et al., 1990).

Por ejemplo, en el caso de un riego por goteo, con una $Ea = 0,95$ y una suma semanal de $(ETc - Pe) = 38$ mm, la dosis bruta de agua diaria a programar sería:

$$D_{brutas} = \frac{38}{7} * \frac{1}{0,95} = 5,7 \text{ mm/día}$$

La condición para el riego, en el caso de riegos por aspersión y de riegos de superficie, se cumple cuando:

$$\sum_{i=1}^n (ET_c - P_e) = D_{netas} = CRAD * Pr * NEP$$

El intervalo entre riegos, I_R , viene dado por la relación:

$$I_R = \frac{D_{netas}}{(ET_c - P_e)}$$

Por ejemplo, si $D_{netas} = 48$ mm y las condiciones de un día medio son $(ETc - Pe) = 8$ mm, el intervalo de riegos sería de 6 días. El intervalo de riegos se utiliza cuando se dispone de un calendario de riegos para hacer los ajustes necesarios.

09 La programación de riegos de acuerdo con la metodología FAO

Para hacer una programación de riegos de acuerdo con la metodología FAO, en el caso de cultivos extensivos, los pasos a seguir son:

- Calcular la ET_0 .
- Determinar el coeficiente de cultivo según

la fase del cultivo (Kc). En caso de establecer calendarios de riego para un año medio, hay que tener muy bien definidas las fases del cultivo en la zona donde se quiere hacer la programación; es muy diferente, por ejemplo, el ciclo de un cultivo de maíz en el Baix Empordà del ciclo de este mismo cultivo en el Pla d'Urgell.

- Determinar la ET_c .
- Determinar la lluvia efectiva (Pe).
- Determinar las necesidades de riego netas. Para hacer este cálculo, se debe tener información de un laboratorio sobre las características del suelo, como la textura y la capacidad de retener agua en forma disponible.
- Determinar las condiciones para efectuar el riego.
- Determinar las necesidades de riego brutas. Para ello, se deben conocer aspectos como la calidad del agua, y hay que tener evaluado el sistema de riego.

En el caso de plantaciones de frutales, el cálculo es un poco más complicado, porque hay que ajustar el Kc según la variedad y el portainjerto, el marco y el sistema de plantación. Los servicios de asesoramiento al regante deben dar directrices de los riegos a realizar para los distintos cultivos y sistemas utilizados en cada zona.

En algunas explotaciones es recomendable utilizar sensores para hacer un seguimiento y control de los contenidos de agua en el suelo, del estado hídrico de la planta o para tener datos meteorológicos registrados localmente, especialmente en condiciones microclimáticas determinadas, o cuando hay una variabilidad muy alta de los tipos de suelos.

En los próximos años, los avances en precisión y exactitud de las mediciones y en automatización permitirán ajustar los programadores de riegos con estos instrumentos.

10 La gestión del agua de riego en Cataluña

Los regadíos de Cataluña, que ocupan cerca de 256.000 ha, se caracterizan por una gran diversidad de sistemas de riego: de superficie, por aspersión y localizado.

Los sistemas de riego por aspersión y de riego localizado suponen un 31% del total, es decir, unas 79.000 ha. En las nuevas zonas de regadíos (como la zona Algerri-Balaguer o la comunidad de regantes de Carrassumada), el 100% de los sistemas de riego son a presión, más eficientes, hecho que permite programar los riegos, ajustar los intervalos y las dosis a

las necesidades reales de agua y mejorar, en definitiva, la gestión del agua. La modernización de los regadíos tradicionales permitirá transformar los sistemas de riego y aplicar las nuevas técnicas de programación.

En este sentido, el Servicio de Transferencia Tecnológica del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca, a través RuralCat, establece recomendaciones y contribuye a mejorar el uso del agua de riego.

Hacer programaciones de riego no es fácil; conviene que haya personal preparado y con formación para realizar este trabajo. Las comunidades de regantes, que hacen la distribución del agua a nivel de parcela, son las instituciones mejor posicionadas para dar este servicio.

Para mejorar el sistema de recomendaciones, sobre todo en lo que se refiere a las plantaciones de frutales, se debería establecer una fuerte interacción entre los regantes, dada su experiencia, y el servicio de asesoramiento, ya que de otra forma no sería de mucha utilidad.



Tomate para industria con cubierta de PE negro por debajo del cual va el sistema de riego por goteo. Este sistema permite que la mayor parte del agua aplicada sea transpirada por la planta y se reduzca la evaporación de agua desde el suelo. Al mismo tiempo, permite unas buenas condiciones microclimáticas. Foto: J. M. Villar.

11 Bibliografía

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 300 pp.
- Doorenbos, J. Pruitt, W. O. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 179 p.
- Martin D.L.; Stegman E.C.; Fereres, E. 1990. Irrigation scheduling principles. In Hoffman, G.J.; Howell, T.A.; Solomon, K.H. (eds.). Management of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph, St Joseph.

Josep M. Villar Mir

Catedrático de Universidad. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universitat de Lleida. jmvillar@macs.udl.es

CASO PRÁCTICO DE PROGRAMACIÓN DE RIEGOS, CÁLCULO DE LAS HORAS DE RIEGO A PARTIR DE LAETC

01 Introducción

Supongamos que queremos establecer y programar las necesidades de riego de nuestro cultivo. Para ello, contaremos con dos ejemplos: un cultivo extensivo (alfalfa) con riego por aspersión, y un cultivo intensivo frutícola (melocotonero) con riego localizado por goteo.

Para encontrar las cantidades de agua que hay que aportar, haremos uso de la conocida fórmula:

$$ETc = Kc \cdot ETo$$

En primer lugar, desglosamos estos factores:

- La ETc o evapotranspiración de cultivo equivaldrá a sus necesidades netas de agua; entendemos que, por balance hídrico, la cantidad de agua que evapotranspira nuestro cultivo es la que le tenemos que restituir. Ahora bien, cuando realicemos los cálculos de aportación de agua, deberemos incrementar esta cantidad porque la planta no aprovechará todo el agua del riego (una parte se perderá por evaporación, escorrentía y/o percolación).
- El Kc o coeficiente de cultivo es un valor corrector que varía a lo largo del ciclo de



Comptador volumètric d'agua. Foto: J. S. Minguet

cultivo. Está tipificado en tablas para cada tipo de cultivo. En el ejemplo frutícola efectuaremos, además, una segunda corrección (utilizando un Kc' corregido), ya que, para un mismo marco de plantación, no puede ser igual el consumo de agua de una plantación joven de frutales que el de una plantación adulta (se debe tener en cuenta la masa foliar de cada uno de ellos).

- La ETo o evapotranspiración de referencia es el valor de evapotranspiración de un cultivo (césped) que se toma como referencia.

Para encontrarlo, si bien existen métodos simples basados en datos de horas de luz y de temperaturas medias mensuales (método Blaney-Criddle), utilizaremos los resultados facilitados por la Red Agrometeorológica de Cataluña, en particular de la estación meteorológica que tengamos más cercana (y, por tanto, más representativa). Estos resultados vendrán expresados en mm/semana (que corresponden, lógicamente, a los días anteriores a la consulta).

Ejemplo 1 – Cultivo extensivo de alfalfa, con riego por aspersión.

Disponemos de los siguientes datos:

- Cultivo de alfalfa, en el momento actual su Kc = 1,10.
- La evapotranspiración de referencia de la semana anterior (ETo) = 25,9 mm (litros por cada metro cuadrado).
- La precipitación efectiva de la semana anterior es 0,0 mm.
- El sistema de riego es por aspersión con cobertura, marco de aspersión 18 m x 18 m, con un caudal unitario por aspersor de 1.000 l/h.
- Tenemos un único sector de riego que cubre una superficie de 0,81 ha.

(En caso de tener más de un sector, escogeremos el de mayor número de aspersores. Así encontraremos también el caudal mínimo necesario de la bomba de riego.)

Queremos hallar las necesidades de riego de la semana y el tiempo de riego diario.

Primero, calculamos las necesidades hídricas de la semana (o necesidades netas) que, por balance hídrico, deben corresponder a la ETc semanal. Así:

$$ETc = 1,10 \cdot 25,9 = 28,5 \text{ mm} = \text{Necesidades netas de riego totales a la semana.}$$

(Nota: Como la precipitación efectiva de la semana es 0 mm, las necesidades netas continúan valiendo lo mismo; necesidades netas = ETc - precipitación efectiva)

Si tenemos en cuenta que la planta no aprovechará todo el agua que aportamos, estimaremos una eficiencia del riego de un 80% (éste, lógicamente, variará según los condicionantes articulares), y entonces las necesidades brutas de riego (o agua realmente aportada) serán:

$$28,5 \text{ mm} / 0,8 = 35,6 \text{ mm}$$

(litros que hay que aportar en un metro cuadrado en una semana).

Después, queremos hallar el caudal específico de nuestro sistema de riego:

$$18 \text{ m} \cdot 18 \text{ m} = 324 \text{ m}^2$$

(superficie que le corresponde a un aspersor).

$$8.100 \text{ m}^2 / 324 \text{ m}^2 = 25 \text{ aspersores.}$$

$$25 \cdot 1.000 \text{ l/h} = 25.000 \text{ l/h}$$

(caudal de nuestro sistema de riego; se entiende que disponemos de una bomba que debe ser capaz de darlo -caudal mínimo necesario-)

$$25.000 \text{ l/h} / 8100 \text{ m}^2 = 3,1 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$$

(caudal específico; litros que es capaz de aportar el riego en una hora en un m²).

Ahora bien, si queremos regar cada día, debemos aportar al terreno:

$$35,6 / 7 \text{ días semana} = 5 \text{ mm al día.}$$

$$5 / 3,1 = 1,6 \text{ h}$$

(horas de riego diarias que debemos poner en el programador esta semana).

Ejemplo 2 – Cultivo intensivo de melocotonero, con riego localizado por goteo

Disponemos de los siguientes datos:

- Cultivo de melocotonero de agosto en formación de palmeta y marco de plantación 4 m x 3 m.
- En el momento actual, su $K_c = 1,10$.
- La evapotranspiración de referencia de la semana anterior (ET₀) = 20,8 mm (litros por cada metro cuadrado).
- La precipitación efectiva de la semana anterior es 0,0 mm.
- El sistema de riego es localizado por goteo con 6 emisores por árbol y un caudal unitario de 4 l/h
- Tenemos un único sector de riego que cubre una superficie de 1,5 ha (en caso de tener más de un sector, escogeremos el de mayor número de goteros. Así obtendremos también el caudal mínimo necesario de la bomba de riego).

Queremos hallar las necesidades de riego de la semana y el tiempo de riego diario.

En el caso de plantaciones de frutales, si bien el planteamiento de cálculo es el mismo que en el ejemplo anterior, haremos una corrección del K_c del cultivo, y lo transformaremos en un K_c' adaptado al espacio ocupado por la vegetación en función de su edad y el tipo de formación. Una plantación joven de melocotoneros, que haga sombra a un 20% del suelo, evapotranspirará menos agua que la misma plantación adulta (en el mismo marco) que cubra un 70% o más. La primera, en el balance hídrico, consumirá menos agua. Con referencia a este aspecto, el IRTA ha desarrollado un factor de sombreado en Cataluña:

$$F = -0,0194 * SO^2 + 2,8119 * SO - 1,0080.$$

SO es el porcentaje (%) de superficie que ocupa la proyección en el suelo de los árboles. Así:

Plantación en palmeta

$$SO = \frac{100 * a}{a + c}$$

a = anchura de la hilera de árboles (m)
c = anchura de la calle entre hileras de árboles (m)

Plantación en vaso

$$SO = \frac{100 * \Pi (d/2)^2}{m}$$

m = marco plantación en m²
d = diámetro medio de la copa de los árboles
La K_c' resultante será:

$$K_c' = K_c * \frac{F}{100}$$

En el ejemplo:

$$SO = \frac{100 * 0,5}{0,5 + 4} = 11,11 \%$$

$$F = -0,0194 * 11,11^2 + 2,8119 * 11,11 - 1,0080 = 27,84$$

$$F/100 = 0,2784 \quad K_c' = 0,66 * 0,2784 = 0,18$$

$$ET_c = 0,18 * 20,8 = 3,82 \text{ mm (en una semana)}$$

Nuestro cultivo necesita 3,82 l/m² en una semana. Como no hay precipitación efectiva, lo tenemos que aportar todo con el riego localizado. Si consideramos una eficiencia de riego del 90%:

$$\frac{3,82}{0,9} = 4,24 \text{ mm}$$

(l/m² a aportar en una semana)

Como tenemos:

$$\begin{aligned} & \mathbf{6 \text{ emisores / árbol}} \\ & \mathbf{Caudal unitario emisor = 4 \text{ l/h}} \\ & \mathbf{1 \text{ árbol equivale a } 4 * 3 = 12 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\frac{24 \text{ l/h}}{12 \text{ m}^2} = 2 \text{ mm / hora}$$

(caudal específico del riego)

Por tanto,

$$\frac{4,24 \text{ mm}}{2 \text{ mm / h}} = 2,1 \text{ h (tiempo de riego esta semana)}$$

Si regamos diariamente:

$$\frac{2,1}{7} = 0,3 \text{ h} = \mathbf{18 \text{ minutos al día}}$$

El caudal mínimo necesario de la bomba será:

$$2 \text{ mm/hora} * 15.000 \text{ m}^2 = \mathbf{30.000 \text{ l/h}}$$

Para saber la cantidad de agua que aportaríamos diariamente a la parcela de 1,5 ha esta semana:

$$\frac{4,24}{7} * 15.000 \text{ m}^2 = \mathbf{9.086 \text{ litros al día}}$$

El resultado es particularmente útil si los goteros no son totalmente uniformes en la aportación de su caudal unitario de 4 l/h. Sólo hay que programar el sector en forma de volumen en lugar de tiempo y así, hasta que no se descarguen los litros prefijados, no parará la bomba.

02 Observaciones

- Se pueden hacer manualmente los dos ejemplos, si disponemos de la ET₀ semanal y del K_c correspondiente, y también se puede consultar la aplicación de recomendaciones de riego del portal www.ruralcat.net; sólo hay que introducir los datos que pide nuestro cultivo y, automáticamente, la estación meteorológica más cercana realiza los cálculos y da los resultados por hectárea de cultivo.
- Se entiende que estos cálculos se deben hacer cada semana para aplicar las dosis correspondientes actualizadas. En este sentido, es adecuado trabajar con una

hoja de cálculo, con los resultados en una plantilla, y actualizar los datos de la estación meteorológica. La aplicación de **ruralcat** también envía por SMS las dosis actualizadas de riego, si se desea.

- No se debe olvidar que las dosis y los tiempos de riego obtenidos tienen un valor de referencia. Así, con la experiencia, cada uno podrá ajustar la eficiencia y el margen en los cálculos. Hay que tener en cuenta también que, para que se pueda aplicar con fiabilidad este método de balance hídrico, es conveniente que inicialmente el terreno se encuentre próximo a su capacidad de campo. Si no es así, es necesaria una aportación inicial de agua.

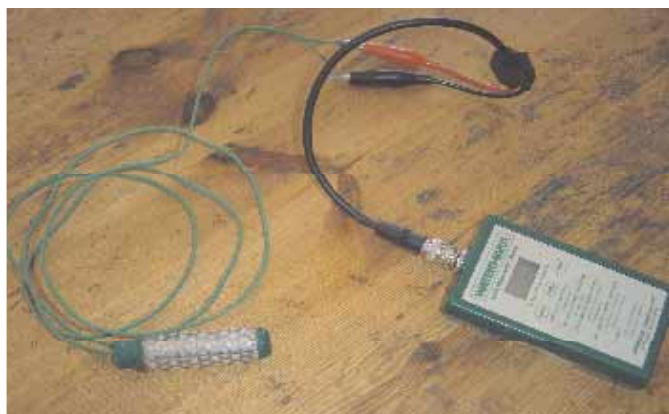
- En terrenos con altas concentraciones de sales, se puede aportar con el riego por goteo una cantidad extra de agua. Esta "fracción de lavado" se añade a las necesidades brutas diarias de riego.
- En caso de tener más de un sector, el tiempo total de riego resulta de la suma de todos los tiempos parciales, y tiene que estar dentro de la jornada diaria prevista para el riego (si es posible, fuera de las horas de más insolación).

Josep Esquerda Baiget
Profesor de la Escuela de Capacitación Agraria de Alfarràs. DARP
jesquerda@gencat.net

SISTEMAS DE MEDICIÓN DE AGUA EN EL SUELO



Material para determinar el contenido volumétrico de agua en el suelo por gravimetría. Foto: J. R. Gisbert



Sensor eléctrico y lector para medir el agua en el suelo. Foto: J. R. Gisbert

01 Introducción

Para realizar una programación del riego correcta, es fundamental determinar cuál es el momento idóneo para regar y definir cuál es la cantidad de agua adecuada que se debe aportar al cultivo, para que éste esté bien irrigado.

Los avances y conocimientos tecnológicos que se han conseguido en las últimas décadas, respecto a la programación del riego, llevan a considerar que el agua en el suelo, la fisiología de la planta y el microclima del medio son procesos altamente relacionados.

Un buen ejemplo de ello es el **Método del Balance Hídrico (MBH)**, muy utilizado en la actualidad en diversos sistemas de programación informatizada, básicamente en cultivos intensivos y en sistemas de riego por microirrigación.

La expresión simplificada de este método hace un balance de las necesidades efectivas o netas de agua de un determinado cultivo, en función de las pérdidas por evaporación desde el suelo y por transpiración del propio cultivo, respecto a las aportaciones por lluvia útil o efectiva más el agua de reserva almacenada en el suelo.

$$N_n = P_e - ET_c \pm R_w$$

N_n = Necesidades netas del cultivo (mm o l / m²).

P_e = Lluvia efectiva (mm o l / m²).

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm o l / m²).

R_w = Reserva de agua en el suelo (mm o l / m²).

En un clima xerotérmico-mediterráneo, cálido y seco (clasificación bioclimática UNESCO-FAO), como el que tenemos en general en Cataluña, las aportaciones pluviométricas efectivas (P_e) no son suficientes para satisfacer la demanda evapotranspirativa del cultivo (**Gráfico 1**).

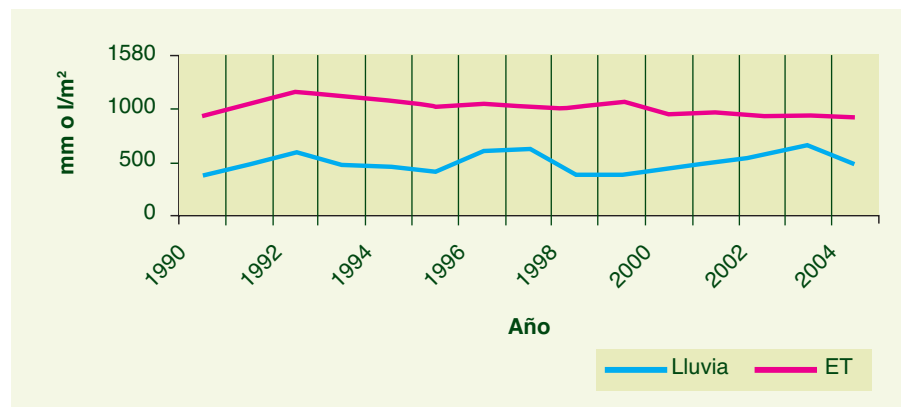


Gráfico 1. Evolución anual (1990-2004) de la lluvia (mm) y la ET_c (mm) en la comarca del Tarragonès. (Estación Agroclimática de Mas Bové).

Por este motivo, hay que tener en cuenta que el agua presente en el suelo en forma de reserva (R_w) tiene un papel muy importante en este balance y ocasiona grandes posibilidades de ahorro en la programación del riego. En este sentido, un estudio comparativo (**Tabla 1**) indica un ahorro superior al 50%.

Periodo / Lugar	Reus		el Prat de Llobregat	
Junio	T_1 (mm)	T_2 (mm)	T_1 (mm)	T_2 (mm)
Julio	50	78	66	74
Agosto	69	95	47	92
Septiembre	56	69	54	68
Total (mm)	191	292	185	283

Tabla 1. Consumo (mm) de agua de riego en dos jardines públicos (Reus y El Prat de Llobregat), durante el periodo de junio a septiembre de 2004.

T_1 : Control de reserva de agua en el suelo.

T_2 : No control de reserva de agua en el suelo.

(Estudio experimental sobre necesidades hídricas en la jardinería municipal. Datos no publicados. Gispert, J.R, Savé, R; Biel, C; García, J.A ; 2004).

El suelo es un medio poroso con características físicas, químicas y biológicas muy diferentes, determinadas por sus procesos formativos y por la frecuencia e intensidad en que éstos han sucedido a lo largo de su historia.

Es por ello que los suelos presentan una amplia variabilidad respecto al tamaño de sus componentes (elementos grandes, arena, limo, arcilla) que, mezclados en diferentes proporciones, generan una diversa colección de clases texturales de porosidad.

Asimismo, según los tipos de agregados constituidos, la estructuración puede variar desde los suelos sin estructura a los suelos con bloques muy cohesionados.

Cabe recordar, también, que el suelo presenta una mayor o menor presencia de sales (naturales o aportadas) y materia orgánica (fresca o madura) que da lugar a procesos o situaciones muy diferentes de cohesión y compacidad.

Si a todo esto le añadimos que el suelo es un medio anisotrópico, donde todas estas características acostumbran a cambiar en profundidad, se puede intuir que su comportamiento respecto al agua también será altamente variable o poco previsible.

Esta situación obliga a disponer de medios técnicos altamente cualificados, que se deben saber manejar e interpretar de forma correcta, con el fin de obtener el mejor beneficio de las propiedades hidrológicas de cada suelo.

02 Parámetros hidrológicos

Cuando se aporta agua al suelo mediante un sistema de riego localizado de alta frecuencia o de microirrigación, ésta se desplaza tanto en sentido vertical (en profundidad) como en sentido horizontal (en superficie), a partir de un irrigador (goteador, difusor, microaspersor, exudación).

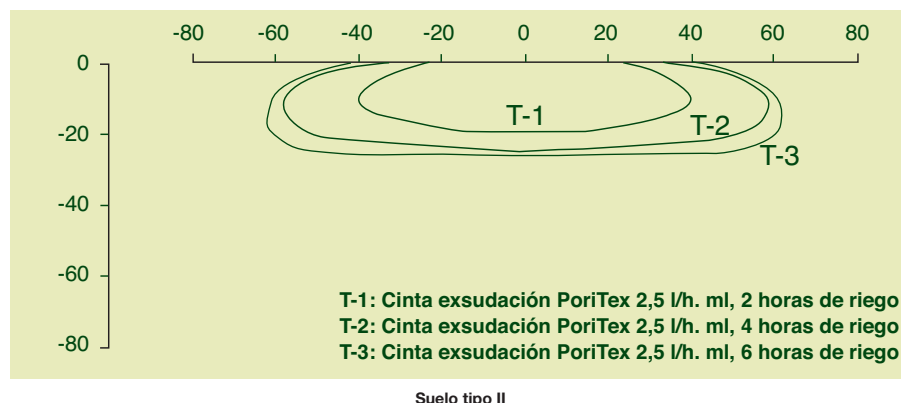
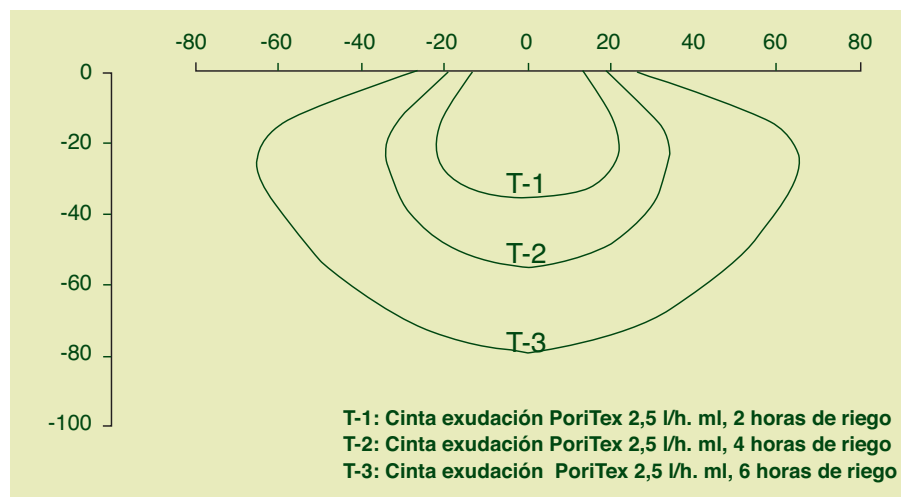
El volumen de suelo húmedo (VSH) generado tendrá dimensiones variables según las características fisicoquímicas del propio suelo, la humedad inicial antes de empezar el riego, el tipo de irrigador instalado (por goteo o pulverización), el caudal aplicado (l/h) y el volumen total aportado (litros) (Gráfico 2).

El agua, en su proceso de desplazamiento, queda retenida en los pequeños poros (microporos) según un **Potencial mátrico** (Ψ_M), que es la fuerza con la que se adhiere la película de agua sobre las partículas del suelo. Cuando éstas son finas (limo, arcilla) presentan una mayor superficie de contacto y el nivel de retención es superior.



Tensiómetro con transductor para evaluar de forma automatizada el contenido de agua en el suelo. Foto: J. R. Gisbert

Gráfico 2. Volumen de suelo húmedo (VSH) generado con cinta de exudación de 2,5 l/h ml, durante diferentes tiempos de riego (2, 4 y 6 horas) y 2 tipos de suelo (I y II). (I = Suelo profundo de textura fina, II = Suelo con horizonte petrocálcico). Estudio comarca de Les Garrigues. (Gispert, J.R.; García, J.A; 1995)



Asimismo, el grado de retención también depende de la cantidad de sales que hay en las diferentes capas del suelo. Esta fuerza de retención de agua por las sales del suelo se denomina **Potencial osmótico** (Ψ_s).

Los **potenciales** (Ψ_M , Ψ_s) o fuerzas de retención de agua en el suelo se miden mediante las unidades de presión o tensión (cbar = centibar).

Un suelo se encuentra en el punto llamado de **Capacidad de campo (CC)** cuando, después de 1 a 3 días de haberse regado, ha finalizado su proceso de eliminación de agua sobrante o drenaje y sus microporos están llenos de agua, que es retenida por el suelo con una tensión de 10 a 30 cbares (10 cbares = suelos arenosos; 20 cbares = suelos francos; 30 cbares = suelos arcillosos). Cuando este suelo llega a una tensión de 1.500 cbares, por un proceso de reducción de agua, y el cultivo sufre una situación de estrés irreversible, se dice que el suelo se encuentra en el **Punto de marchitez permanente (PMP)**. Cabe decir, sin embargo, que los problemas reales para el cultivo empiezan en tensiones muy inferiores (70-80 cbares en suelos de textura gruesa y 80-100 cbares en los de textura media).

Cada tipo de suelo puede retener diferente cantidad de agua en 10 – 30 cbares (CC) y a 1.500 cbares (PM), según su textura (**Gráfico 3**). Es por ello que se deben conocer muy bien las características de un suelo para interpretar correctamente los datos recogidos mediante cualquier instrumento que mida su potencial de retención y su contenido de agua.

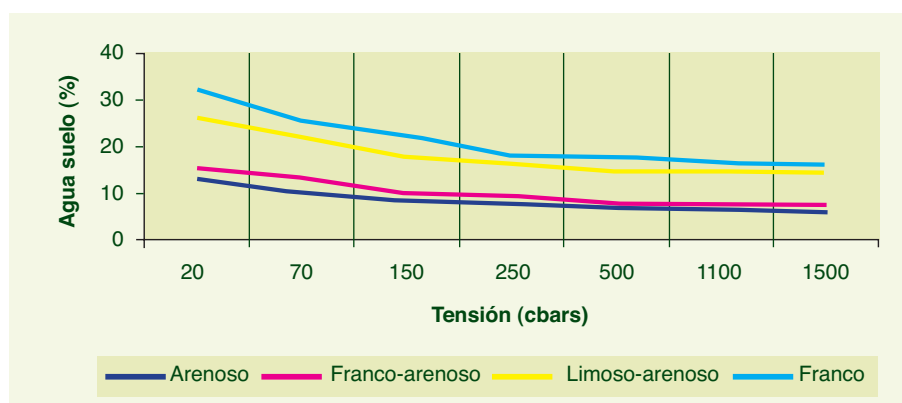


Gráfico 3. Curva de tensión / humedad para distintos tipos de suelos entre 20 cbares (CC) y 1.500 cbares (PM). Caracterización hidrológica del suelo. Datos no publicados (Gispert, J.R.; 2004)

03 Sistemas de medición de agua en el suelo

A continuación se hace una descripción de los instrumentos y de los métodos más utilizados para medir el contenido volumétrico de agua en el suelo.

03.01 Gravimetría

La gravimetría es probablemente la metodología más utilizada para medir el agua del suelo, y es la referencia para calibrar las demás técnicas de determinación.

El proceso consiste en recoger una muestra húmeda del suelo para analizarla y pesarla en un envase previamente tarado. El conjunto se seca en la estufa (80°C) durante 24 horas. Se debe determinar, también, la densidad aparente de la muestra seca, preferiblemente en el campo, mediante la relación entre su peso y el volumen del envase que la contiene.

El contenido volumétrico de agua en el suelo se calcula por la siguiente expresión:

$$\% \text{ agua} = \frac{P_H - P_S}{P_S - E_T} \cdot D_{ap} \cdot 100$$

P_H = Peso de la muestra húmeda del suelo con el envase que la contiene (gramos)

P_S = Peso de la muestra seca del suelo (24 horas a 80°C) con el envase (gramos)

E_T = Peso del envase que contiene la muestra de tierra (gramos)

D_{ap} = Densidad aparente de la muestra seca (gramos/cm³)

A pesar de la sencillez de esta metodología, cabe considerar que es poco operativa en la programación del riego por la lentitud del proceso (24 horas) y la gran cantidad de muestras que se deben recoger, con una determinada frecuencia, a lo largo de la campaña.



Sensor eléctrico y lector instalado en campo para lecturas no automatizadas de contenido de humedad. Foto: J. R. Gispert

03.02 Potencial del suelo

Para medir el potencial matricial del agua en el suelo y conocer el esfuerzo que deben realizar las raíces para obtener la humedad que necesita el cultivo se utiliza el **tensiómetro**. Este aparato no mide el porcentaje de humedad en la tierra, sino la tensión (cbares) en la que ésta es retenida.

Se trata de un instrumento mucho más indicado para suelos con una textura gruesa (arenosa y franco-arenosa) que para suelos de textura fina (arcillosa, limosa). Se debe recordar que las lecturas de tensión superiores a 80 cbares se acercan al límite superior de la escala de los tensiómetros (100 cbares) y, en cambio, hay una gama de suelos (texturas medianas y finas) con un importante contenido de agua (20-25%) que casi no se puede evaluar por falta de escala.

El aparato consta de un tubo de plástico con capacidad suficiente para almacenar agua de diversos ciclos de riego. Se puede llenar de un líquido de color verde que facilita el control del nivel y sirve de protección de la cápsula cerámica contra la formación de hongos, algas y la incrustación de sales.

Un vacuómetro, anexo lateralmente, permite hacer lecturas hasta 100 cbares e indica el nivel de tensión en el cual es retenida el agua en el suelo. La tierra seca extrae líquido del tensiómetro y produce un vacío parcial en el tubo, que se detecta con el vacuómetro. Como más seca es la tierra, mayor es el valor registrado en el dial del vacuómetro.

El movimiento de la humedad se hace a través de una cápsula porosa de cerámica situada en la parte inferior del tubo de plástico. Cuando la tierra se humedece por el efecto de la lluvia o del riego, el tensiómetro vuelve a absorber humedad del suelo y la tensión (cbares) baja; el vacuómetro señala un valor inferior.

LECTURA (cbars)	INTERPRETACIÓN
0-10	Indican un suelo saturado de agua. Puede ser una lectura frecuente durante las 24 horas posteriores al riego.
10- 20	El suelo tiene los microporos llenos de agua y los macroporos con aire. Es el estado que se denomina de capacidad de campo.
20 -60	En este rango la planta tiene una buena oxigenación y el suelo dispone de más o menos agua en función de su textura. En suelos arenosos se recomienda empezar a regar entre 30 y 45 cbares.
60- 80	Indican que la planta está sufriendo estrés y se acerca al punto de marchitez en suelos de textura gruesa.

Tabla 2. - Interpretación de las lecturas de tensión (cbares) mediante un tensiómetro.

Según la lectura de la tensión matricial se puede programar el riego (Tabla 2).

La automatización del tensiómetro puede realizarse mediante:

a. Tensiómetro eléctrico

Permite la lectura visual y dispone de un relé eléctrico. El usuario determina la humedad del suelo en la que quiere poner en marcha y detener el riego. Cuando el tensiómetro llega a la tensión (cbar) correspondiente a la humedad predeterminada, el relé permite el paso de un señal eléctrico a la electroválvula o al programador y se pone en marcha y más tarde se detiene el riego.

b. Tensiómetro transductor

Traduce una lectura de tensión (cbar) en una señal analógica (1-5 VCC). Está diseñado para informatizar las lecturas del contenido de humedad en el suelo, por cable o módem telefónico.

03.03 Resistencia eléctrica

Los instrumentos que utilizan la resistencia eléctrica de un suelo como indicador del contenido de agua son muy conocidos y populares.

Constan de un sensor con dos electrodos concéntricos, introducidos en un conglomerado especial, cubierto por una membrana sintética con una funda de acero inoxidable. Están provistos de un disco amortiguador para reducir la influencia de la salinidad y se pueden ajustar a la temperatura del suelo para obtener una mayor exactitud en las lecturas.

La conexión del lector al sensor se realiza mediante los cables de éste con las pinzas de cocodrilo del lector. En un instante se evalúa la resistencia eléctrica (ohms) entre los dos electrodos y se traduce esta lectura a la ten-

LECTURA (cbars)	INTERPRETACIÓN
0 - 10	Suelo saturado.
10 - 30	Suelo con suficiente humedad (CC).
30 - 60	Margen normal para iniciar el riego, excepto en suelos de textura fina.
60 - 90	Margen normal para iniciar el riego en suelos de textura fina.
+ 90	El suelo está bastante seco. Los de textura media (francos) pueden haber agotado más de la mitad de su reserva de agua.

Tabla 3. - Interpretación de las lecturas de tensión (cbares) mediante un sensor de resistencia eléctrica.

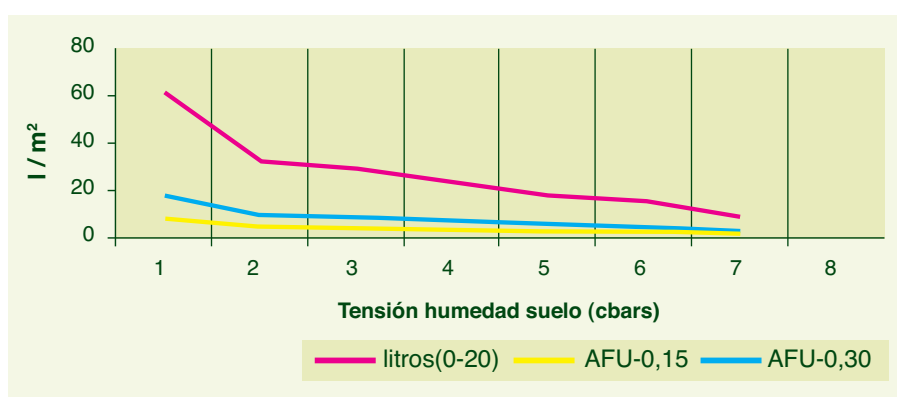


Gráfico 4. Contenido de agua en el suelo (mm) hasta 20 cm de profundidad y agua fácilmente utilizable (AFU) en dos fracciones de agotamiento (15% y 30%) y diferentes tensiones (cbar). Estudio con sensor eléctrico en jardinería pública (Gispert, J.R.; Savé, R.; Biel, C.; García, J.A.; 2004).

sión de humedad del suelo (cbares). Un único lector permite la lectura digital entre 0 y 200 cbares de cualquier número de sensores y, de acuerdo con ésta, se puede programar el riego (Tabla 3).

Asimismo, en función del valor de la lectura de tensión (cbares) del agua en el suelo se puede evaluar el nivel de la reserva y programar el riego por el método del balance hídrico (Gráfico 4).

Con un lector remoto se pueden evaluar diversos sensores eléctricos y facilitar el proceso de recogida de datos. Para ello, se instala en un lugar accesible y se conecta con un cable permanente a los sensores, que normalmente son seis.

Este sistema permite la automatización de electroválvulas (24 VCA), controladas por un programador, a partir de la lectura de la humedad del suelo en una zona caracterizada hidrológicamente, mediante dos sensores conectados en serie. El sistema actúa en función del nivel de humedad del suelo, predeterminada por el usuario.

Se deben colocar correctamente los sensores para que las lecturas sean lo más representativas posibles de cada zona.

03.04 Otros sensores

Por último, además de los sensores mencionados, existen en el mercado diversas sondas (neutrones, TDR, FDR) y sensores (capacitivos, etc.), mucho más utilizados como instrumentos de control y medición en los estudios de investigación que como elementos habituales en las explotaciones agrarias. Se puede considerar, por lo tanto, que no son objeto de descripción en un documento como éste, de orientación más práctica y finalista que científica.

Joan R. Gispert Folch
Ingeniero Agrónomo. Especialista en riegos, suelos y abonos.
Departamento de Arboricultura Mediterránea.
Centro de Mas Bové - IRTA. Reus-Constantí
joanramon.gispert@irta.es

HERRAMIENTA DE RECOMENDACIONES DE RIEGO EN ruralCat

01 Introducción

Los regadíos son uno de los motores de las zonas rurales, pero también los principales consumidores de un recurso tan escaso en el área mediterránea como es el agua. No deben ahorrarse esfuerzos para mejorar la eficiencia de su gestión y de su uso.

02 Presentación

El Servicio de Transferencia Tecnológica ha desarrollado una nueva herramienta para calcular las necesidades hídricas de los cultivos de una forma ágil y sencilla.

Este nuevo servicio de recomendaciones de riego quiere facilitar la programación del riego a nivel de parcela, con la voluntad de ofrecer semanalmente a los técnicos y regantes una herramienta de apoyo a la decisión de **cuánto y cuándo** regar.

Las necesidades hídricas se calculan en función de los datos meteorológicos medidos a lo largo de la semana anterior por la estación de referencia que cada usuario escoja al caracterizar su explotación. Los datos meteorológicos son la evapotranspiración de referencia (ET_o) (mm) y la precipitación registrada (mm). Las necesidades de riego se calculan como diferencia entre la demanda evapotranspirativa (ET_c) y la lluvia efectiva (P_e) para cada periodo en concreto.

Conviene dejar claro que las recomendaciones son genéricas, ya que sólo consideran algunos de los factores implicados en el riego, y que la decisión final queda siempre en manos de los técnicos y agricultores, de acuerdo con su experiencia y las peculiaridades específicas de cada parcela o comunidad de regantes.

La herramienta no tiene en cuenta la reserva de agua en el suelo; por lo tanto, es necesario que los regantes, antes de regar, hagan una estimación previa del estado de humedad del suelo.

La herramienta de riego es de libre acceso para todos los usuarios y gratuita, y se encuentra disponible en el portal temático del DARP, www.ruralcat.net, en Recomendaciones de riego.



Riego por goteo

03 Cultivos disponibles

El número de cultivos disponibles es de 40, que se desglosan a continuación:

- **Cultivos extensivos:** alfalfa, trigo y maíz.
- **Cultivos leñosos:** albaricoquero, almendro, avellano, cerezo, cítricos, nectarina, nogal, peral, pistacho, manzano, melocotonero, ciruelo, olivo y vid.
- **Cultivos hortícolas:** berenjena, ajo, apio, bróquil, calçot, calabacín, cebolla, cebolla tierna, col, coliflor, lechuga, escarola, espinacas, melón, judía, zanahoria, patata, pimiento, guisante, puerro, sandía y tomate.
- **Césped**

04 Datos meteorológicos

El sistema utiliza los datos diarios meteorológicos de la Red Agrometeorológica de Cataluña (XAC). En este momento, hay un total de 27 estaciones meteorológicas repartidas en 22 comarcas (**Figura 1**).



Figura 1.- Estaciones de la XAC disponibles

Con el fin de precisar los cálculos de programación de riego a nivel de parcela, se recomienda a los usuarios avanzados la aplicación del software PACREG (www.gencat.net/darp/reg.ht), desarrollado por la Sección de Evaluación de Recursos Agrarios del Servicio de Producción Agrícola.

05 Facilidad de uso

El funcionamiento de la herramienta es fácil y comprensible. La introducción de los datos se realiza mediante menús desplegables y los valores que se solicitan son perfectamente conocidos por agricultores y técnicos.

Para saber exactamente cómo hay que utilizar la herramienta y sacarle el máximo rendimiento, se puede acceder a una pequeña ventana explicativa (Figura 2).



Figura 2.- Ventana explicativa respecto a cómo utilizar la herramienta de recomendaciones de riego en RuralCat

Los parámetros que cada usuario debe introducir a la hora de configurar una recomendación de riego para su parcela se incluyen en la Tabla 1.

Parámetro a introducir	Descripción Parámetro
PAS 1. DATOS CLIMÁTICOS	
Comarca	Se debe seleccionar la comarca donde se encuentra ubicada la parcela
Estación XAC	Selección de la estación XAC más próxima
PAS 2. DATOS CULTIVO	
Cultivo	Se puede seleccionar el cultivo entre un total de 40 cultivos
Ciclo del cultivo (Floración, Cosecha, etc.)	Aquí se deben introducir los datos del inicio y del final del ciclo de cultivo
¿Enherbado?	Se tiene que especificar si las calles (en caso de cultivos arbóreos) tienen o no tienen hierba
Selección plantación	
Conducción cultivo	El tipo de formación se refiere a si se trata de una formación en vaso o en palmeta
Anchura calles	Distancia que hay entre las calles de la plantación
Distancia entre árboles (de una misma hilera)	Dentro de una misma hilera de árboles, la distancia que hay entre árbol y árbol
Diámetro de copa o edad de plantación	El diámetro de copa es el diámetro medio de copa de los árboles que configuran la parcela, y la edad de plantación se refiere a los años que tiene la plantación
PAS 3. DATOS TIPO DE RIEGO	
Define el sistema de riego	
Localizado	Número de emisores por árbol
	Caudal por emisor
Superficie	Riego a manta
Aspersión	Número de aspersores por árbol
	Caudal por aspersor

Tabla 1. Parámetros que se deben introducir para configurar una recomendación de riego en RuralCat

06 Recomendaciones de riego semanales

Cada semana se actualiza el fichero de datos climáticos asociado a cada una de las estaciones agrometeorológicas disponibles. De esta manera, el usuario sólo deberá introducir los parámetros de configuración una única vez y después ya recibirá semanalmente las recomendaciones de riego. Estos cultivos introducidos, por otra parte, quedan también registrados dentro de un Administrador de cultivos, de forma que el usuario podrá modificar los parámetros en cualquier momento.

El sistema permite al usuario recibir cómodamente la recomendación de riego en el correo electrónico. Para recibir estas recomendaciones, lo único que tiene que hacer es configurar los parámetros de sus cultivos y darse de alta en el servicio. Además, todos los usuarios registrados pueden recibir en su móvil las recomendaciones de riego a través de mensaje de texto (SMS), también cada semana. En este sentido, cabe mencionar que sólo podrán recibir 3 recomendaciones de riego vía SMS, ya que el texto de un mensaje no acepta la introducción de un mayor número de caracteres.

El valor de la dosis de riego se da en metros cúbicos/ha y semana. Al definir el sistema de riego, esto permite que se pueda calcular también el número de horas de riego semanales que son necesarias para un cultivo determinado.

07 ¿Por qué se debe utilizar la herramienta de recomendaciones de riego?

La herramienta de recomendaciones de riego sirve para tener una referencia a la hora de saber la dosis de riego a aplicar. Como se basa en datos de las estaciones meteorológicas de la Red Agrometeorológica de Cataluña, permite adaptar el riego a la climatología semanal y aprovechar una información existente como son los datos climáticos que estas estaciones nos ofrecen. Además, la herramienta también saca partido de las nuevas tecnologías de las que disponemos actualmente, como son los correos electrónicos, Internet y los mensajes SMS a móviles. Estas tecnologías proporcionan, sobre todo, una gran inmediatez, y están al alcance de un gran número de usuarios.

09 Destinatarios de esta herramienta de recomendaciones de riego

Esta herramienta está destinada tanto a técnicos como a agricultores, puesto que no es ne-



cesario tener unos conocimientos previos para poder configurar los cultivos de los cuales se quiere recibir una recomendación de riego.

10 Contacto

Para aclarar cualquier duda sobre el funcionamiento de esta herramienta o hacer llegar vuestros comentarios o sugerencias para ir mejorándola, podéis dirigirlos al Servicio de Transferencia Tecnológica a través de la dirección de correo electrónico reg@ruralcat.net.

La Unidad de asesoramiento en riego, dentro del Servicio de Transferencia Tecnológica, está ubicada en la Escuela de Capacitación Agraria de Tàrraga, Av. Tarragona, s/n - 25300 Tàrraga (Lleida), Telf.: 973 31 03 50 - 973 31 07 15, Fax: 973 50 18 75.

Carme Trigueros Vilella

Unidad de Asesoramiento en Riego. Servicio de Transferencia Tecnológica. Escuela de Capacitación Agraria de Tàrraga.
carme.trigueros@gencat.net

CURSO BÁSICO DE RIEGO COMO HERRAMIENTA DE FORMACIÓN PARA EL REGANTE, EN RuralCat



01 Formación. Escuelas y Centros de Capacitación Agraria.

El Servicio de Formación Agraria del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de

la Generalitat de Catalunya integra catorce escuelas y centros repartidos por toda la geografía catalana.

Las Escuelas de Capacitación Agraria (ECA) centran su actividad en la formación reglada y

en la formación continua, y amplían su campo de actuación con la organización de jornadas técnicas que se incluyen en el Plan anual de Transferencia Tecnológica del Departamento.

En cuanto a la formación reglada, la oferta educativa consta de distintos ciclos de grado medio y superior de la familia agraria, algunos de la familia alimentaria y uno de la familia química. Estos estudios ofrecen titulaciones oficiales, reconocidas por el Departamento de Educación.

Respecto a la formación continua, la oferta de cursos se dirige a las personas que están trabajando en el sector agroalimentario o que se quieren incorporar al mismo. Los cursos están agrupados de acuerdo con los campos siguientes: incorporación, fitosanitarios, medio ambiente, tecnológicos, gestión, pluriactividad e informática.

Tradicionalmente, la formación se impartía de forma presencial, tanto la reglada como la no reglada. Hace pocos años, sin embargo, se ha iniciado una línea de trabajo de cursos no reglados a distancia, algunos en formato papel y otros on-line, a través de Internet y del portal RuralCat.



Estación agrometeorológica. Foto: J.S. Minguet

El Curso básico de riego, a distancia, preparado por el Servicio de Formación Agraria, es un ejemplo de esta nueva línea de trabajo a través de Internet.

02 El Curso básico de riego

El Curso de tecnología básica del riego quiere aportar conocimientos teóricos y aplicados, referentes al riego, y las herramientas para poder hacer los cálculos correspondientes.

La duración es de 50 horas, que se cursan íntegramente a través de Internet.

Actualmente, ya se han celebrado tres ediciones, una en el año 2004 y las otras dos en el año 2005. Lo han seguido un total de 102 alumnos.

Cabe remarcar que la formación a distancia tiene grandes ventajas, entre las cuales destacan las siguientes: el estudiante es el protagonista, hay una gran interactividad con los materiales del curso, se dispone de una total flexibilidad horaria, cada uno puede adaptar su ritmo de trabajo y se cuenta

con el apoyo de un tutor, que ayuda a los estudiantes.

El curso se desarrolla en el entorno del portal RuralCat. La información se encuentra en www.gencat.net/darp y en www.ruralcat.net

El Curso básico de riego se realiza gracias a la intervención de diferentes figuras, creadas para el funcionamiento de los cursos a distancia. Hay un coordinador y diversos tutores. Cada tutor tiene asignado un grupo de estudiantes, en un aula virtual, y es quien se encarga de su seguimiento y les proporciona la información necesaria. También hay otras figuras que han intervenido en la creación y edición del curso: editor, director en fase de producción y en fase de impartición, expertos para elaborar materiales,...

El curso está estructurado en un módulo de aprendizaje en el entorno RuralCat, taller Cómo aprender, y cinco módulos de contenidos y ejercicios del Curso básico de riego. Además, se programa también una visita técnica para finalizar el curso.

Está diseñado de tal forma que se avanza a medida que se completan las actividades de autoaprendizaje y, cuando se ha superado una actividad, se puede pasar a la siguiente. Al final del curso, se realiza una prueba de evaluación general.

Para poder seguir el programa, conviene leer atentamente los contenidos en el orden establecido y se recomienda una dedicación mínima de seis horas a la semana. Se deben realizar y superar las actividades de autoaprendizaje para ir avanzando en el curso.

02.01 Contenidos del curso

Todos los temas del Curso básico de riegos responden al mismo esquema de estructuración:

- Unos objetivos que indican los conocimientos, los procedimientos y las actitudes que se deberían conseguir en cada tema.
- Una introducción que sitúa al estudiante en el tema que empieza a trabajar.
- Un desarrollo de los contenidos propiamente dichos.
- Unos recursos gráficos que facilitan el estudio y el aprendizaje.
- Unas actividades de autoevaluación para comprobar el grado de conocimientos alcanzados de cada tema.

En cada módulo hay, también, un glosario y una bibliografía básica.

El curso está estructurado en distintos módulos. Para iniciarlo, hay que realizar un taller para conocer su funcionamiento en este entorno virtual.

El programa de contenidos es el siguiente:

Módulo 1: Introducción al riego

1. El suelo y el agua
2. El agua en la planta
3. La climatología y la planta
4. Diseño agronómico de un riego
5. Programación de riego

Módulo 2: Tipologías de riego

1. Riego superficial
2. Riego por aspersión
3. RLAF. Material de campo
4. RLAF. Material de cabecera

Módulo 3: Fertirrigación

1. Fertirrigación
2. Aparatos de fertirrigación
3. Programación de la fertirrigación

Módulo 4: Manejo y mantenimiento

1. Manejo y mantenimiento de material de campo y material de cabecera

Módulo 5: Cierre del curso

1. Evaluación: caso práctico
2. Visita práctica

02.02 Herramientas de apoyo

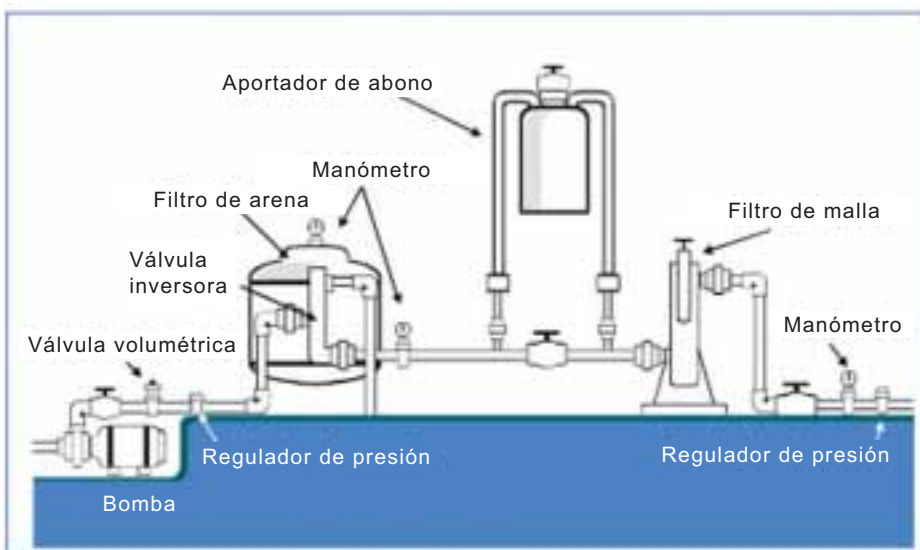
La comunicación entre los tutores y el estudiante se realiza a través de las herramientas siguientes:

- El foro
- El tablón
- El buzón

El foro es un espacio al cual pueden acceder todos los estudiantes y que sirve como vía de comunicación para todo el grupo. Tanto el tutor como los alumnos pueden participar en él y todos los miembros del aula virtual visualizan y pueden responder a las informaciones que en él se generan.

El tablón es una herramienta que utiliza el tutor para dejar informaciones o documentos para el grupo y los estudiantes sólo los pueden descargar.

El buzón es el medio que los alumnos utilizan para comunicarse entre ellos o con el tutor de forma particular. Todos lo pueden utilizar y sólo los destinatarios seleccionados ven los mensajes.



Imágenes del Curso básico de riego en RuralCat

Ramon Cuadros i Claria
 Director de la Escuela de Capacitación Agraria de Tàrraga.
 rcuadros@gencat.net

Joan S. Minguet i Pla
 Área de Comunicación y Difusión de la Subdirección General de Innovación Rural. Director de la creación del Curso de tecnología básica del riego.
 jsminguet@gencat.net

02.03 Aplicaciones

A lo largo del curso se explica paso a paso la programación de riego con el PACREG. Este programa se puede descargar gratuitamente desde la web www.gencat.net/darp/reg.htm. Se trata de un programa que permite realizar los cálculos de riego a partir de datos de parcela, datos edáficos y datos agroclimáticos.

También se posibilita la conexión con el portal del mundo agrario www.ruralcat.net y la visualización de las recomendaciones para los principales cultivos, a partir de la herramienta de asesoramiento en riego. Se ofrece una recomendación de dotación semanal de riego según los datos climáticos, de cultivo y el sistema de riego.

Se aprende a realizar el cálculo del coeficiente de uniformidad.

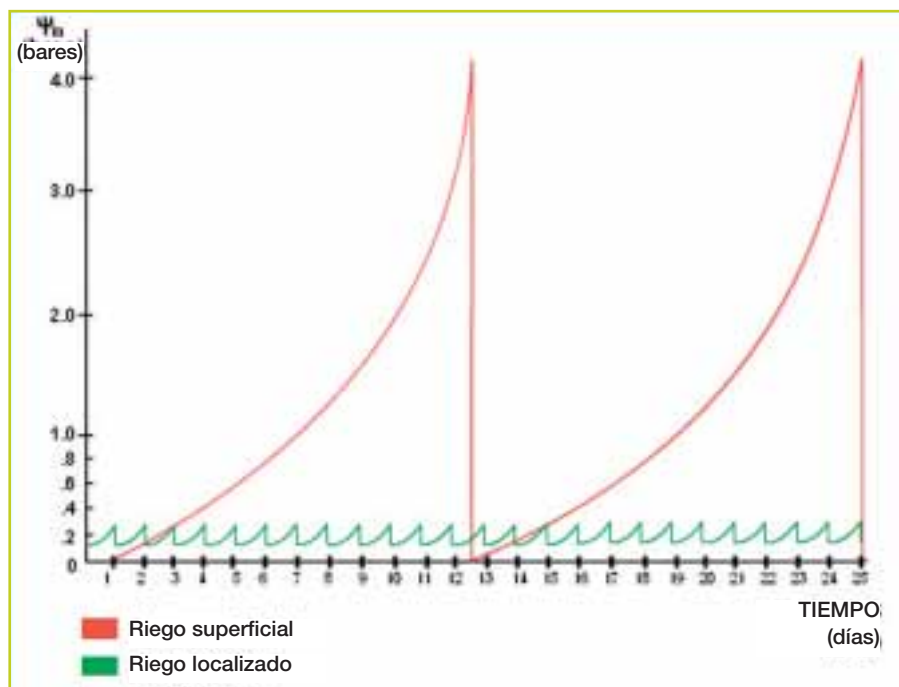
Se trabaja con un ejemplo práctico de fertirrigación a través del programa ubicado en la web www.ruralalleida.com/cat/

También se solicita que se realicen otras actividades, como por ejemplo: calcular la porosidad de un suelo, identificar la textura de un suelo, calcular la reserva de agua disponible y la reserva de agua fácilmente disponible para la planta, calcular la humedad disponible en el suelo, identificar los periodos críticos de las plantas, calcular las necesidades de riego de un cultivo, calcular la evapotranspiración de referencia, hacer un balance mensual para acumular las necesidades de agua de riego para un cultivo concreto, calcular la dosis de riego de una plantación, obtener una recomendación semanal actualizada de riego en el portal RuralCat, calcular el tiempo de infiltración, estructurar la instalación de riego lo-

calizado, reconocer los aparatos y los equipos de mantenimiento y de control de una instalación de riego, conocer las características de los materiales que nos permiten trabajar con soluciones fertilizantes, distinguir los trabajos de manejo y mantenimiento de una instalación de riego.

02.04 Precio y acreditación

El curso tiene un coste de 60 €. Los estudiantes que superen todos los módulos obtienen un certificado emitido por el Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca.





ROSA M. MIRÓ TRABAJA COMO AGENTE DE OCUPACIÓN DE DESARROLLO LOCAL EN EL AYUNTAMIENTO DE TORRES DE SEGRE. ES LA TÉCNICA DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DE CARRASSUMADA, FORMADA POR 380 PARTICIPES Y QUE DISPONE DE UN TOTAL DE 1.495 HECTÁREAS. EL OBJETIVO DE LA COMUNIDAD ES GESTIONAR UNA CONCESIÓN DE 900 LITROS POR SEGUNDO Y GARANTIZAR EL SUMINISTRO DE AGUA Y DE PRESIÓN NECESARIAS, CONTROLANDO EL CONSUMO Y REDUCIENDO EL COSTE POR METRO CÚBICO. SOBRE ÉSTAS Y OTRAS CUESTIONES, NOS HABLA ROSA M. MIRÓ.

¿Por qué es importante la presencia de un técnico en las comunidades de regantes?

Precisamente porque gestionar bien el agua no es un trabajo sencillo, puesto que las comunidades de regantes están cada vez más tecnificadas. La propia junta no puede, por sí misma, controlar todos los elementos anteriores (garantía de caudal, presión, optimización del coste del agua). Esta actividad de gestión que realiza el técnico requiere una dedicación que los miembros de la junta no pueden aportar.

¿Cuál es el sistema de programación de riego en Carrassumada?

Es un riego a la demanda, pero controlado. Es decir, el regante puede decidir cuánto y cuándo quiere regar, pero siempre supeditado a las condiciones de la comunidad, que básicamente tienen como objetivo fomentar el ahorro energético. La comunidad de regantes cuenta con una red automatizada de control de riego por cable, con la cual se hacen los programas de riego previamente concertados y se controla el volumen de agua consumido y el caudal instantáneo circulante.

“La labor de un técnico es dar apoyo a los regantes, minimizar costes, provocar y fomentar el uso eficiente del agua y de la energía”

LA ENTREVISTA

Rosa M. Miró

Ingeniera Agrónoma. Torres de Segre (Segrià)

“GESTIONAR BIEN EL AGUA NO ES UNA FAENA SENCILLA”

¿Cuál debería ser la labor de un técnico de una comunidad de regantes?

Pues asesorar e informar a los regantes, así como velar por las garantías que la comunidad les ofrece en cuanto al suministro de agua. También, minimizar costes, provocar y fomentar el uso eficiente del agua y de la energía.

¿Utilizas las estaciones agrometeorológicas para desarrollar tus funciones? ¿Y la herramienta de asesoramiento en riego de RuralCat?

Sí; de hecho, antes de existir RuralCat, utilizaba los datos de las estaciones del Segrià, observaba la ETo y la pluviometría para hacer recomendaciones a través de una hoja de cálculo, ya que las recomendaciones son más precisas si se realizan a partir de los datos reales semanales, en lugar de datos medios de muchos años.

Después, con RuralCat, creé los perfiles más frecuentes de cultivos y ahora hago un seguimiento de ambos métodos.

“El empresario debe conocer la dotación y las condiciones de suministro de agua, el funcionamiento de la instalación y las dosis de riego que se deben aplicar”

¿Qué cuestiones crees que debe conocer el empresario agrario para regar correctamente?

En primer lugar, la dotación y las condiciones de suministro de agua, para saber si tiene limitaciones en el cultivo que quiere hacer. En este caso, la comunidad de regantes le facilita la información.

En segundo lugar, la instalación de riego, que debe obedecer a las directrices marcadas por la comunidad y debe estar bien dimensionada; se deben conocer los materiales instalados y cómo se utilizan correctamente. Sobre esto, puede pedir asesoramiento a los instaladores profesionales.

En tercer lugar, a la hora de aplicar las dosis de riego, debe saber discriminar la información que

recibe de distintas fuentes, hecho que se consigue con el apoyo técnico adecuado.

¿El agricultor está concienciado de la importancia de gestionar correctamente el agua de riego?

En comunidades donde el riego es a presión y se paga el metro cúbico consumido, sí. En riegos tradicionales a manta quizás no tanto, ya que no se es consciente del volumen consumido y, como éste no tiene un coste económico directo, es muy difícil valorar el agua mientras se tiene. Ya veremos este año.

¿La automatización del riego facilita la gestión del agua?

Sí, porque permite tener control y medida del agua consumida, tanto a nivel de comunidades como a nivel de particulares. En la comunidad de Carrassumada, estos automatismos son imprescindibles, ya que parte de la superficie se riega con bombeo directo, hecho que implica trabajar en franjas horarias de tarifa eléctrica en las que es necesario controlar el consumo. Además, permiten controlar el caudal consumido por cada regante y, según la programación de riegos, saber cuándo se utilizará el agua.

¿Cómo ves el futuro de las instalaciones de riego en el Canal Segarra-Garrigues?

Una transformación como ésta, sin duda, conlleva dificultades y, según lo que se puede leer actualmente, tiene tres importantes: la definición de las ZEPAS, la inversión a cargo del agricultor y el coste por metro cuadrado que tendrá que pagar durante su funcionamiento.

Por último, creo que es básico un trabajo de formación e información desde esta etapa, para que el agricultor esté bien asesorado en el momento de decidir qué debe plantar y cómo tiene que hacer el riego interior.

Ruralcat.
redacció@ruralcat.net



Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura,
Ramaderia i Pesca
www.gencat.net/darp



RuralCat

La comunitat virtual agroalimentària
i del món rural
www.ruralcat.net