

El conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos es fundamental para mejorar el diseño, planificación y gestión de los polígonos y sistemas de riego

Necesidades hídricas en cultivos hortícolas

■ ANTONIO MARTÍNEZ COB

*Laboratorio Asociado
de Agronomía y Medioambiente
macoan@eead.csic.es*

El conocimiento de las necesidades hídricas de los cultivos es fundamental para mejorar el diseño, la planificación y la gestión de los polígonos y sistemas de riego. Es necesario considerar tres definiciones distintas de necesidades hídricas para estimar adecuadamente los requerimientos de agua de los cultivos.

a) Necesidades hídricas brutas de los cultivos son el volumen de agua que un determinado cultivo consume para su desarrollo óptimo. Normalmente se denominan evapotranspiración.

Estación meteorológica automática en Montañana (Zaragoza), similar a las de la red SIAR.

b) Necesidades netas de riego de los cultivos; constituyen el volumen de agua que el sistema de riego debe suministrar a la zona radicular de los cultivos. Calculadas como la diferencia entre las necesidades hídricas brutas y los aportes naturales de agua (mayoritariamente, la precipitación).

c) Necesidades brutas de riego de los cultivos; corresponden con el volumen de agua que un determinado sistema de riego debe consumir al nivel de parcela. Todo sistema de riego sufre pérdidas de agua desde la entrada a la

parcela hasta la zona radicular del cultivo. La suma de estas pérdidas a las necesidades netas de riego constituyen las necesidades brutas de riego.

Este artículo describe brevemente los procedimientos utilizados para calcular esas necesidades. Se basan fundamentalmente en las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), descritas en Allen et al. (1998). Estos procedimientos suponen que los cultivos se encuentran en condiciones óp-



Cuadro 1:

Valores típicos de coeficientes de cultivo (Kc) en las fases inicial, media y final de cultivos hortícolas. Para prácticas culturales estándar y condiciones climáticas subhúmedas.

Cultivo	Kc _{ini}	Kc _{med}	Kc _{fin}	h _c (m)
Ajo	0,7	1,00	0,70	0,3
Alcachofa	0,5	1,00	0,95	0,7
Berenjena	0,6	1,05	0,90	0,8
Brócoli	0,7	1,05	0,95	0,3
Calabacín	0,5	0,95	0,75	0,3
Calabaza	0,5	1,00	0,80	0,4
Cebolla seca	0,7	1,05	0,75	0,4
Cebolla verde	0,7	1,00	1,00	0,3
Coliflor	0,7	1,05	0,95	0,4
Espárrago	0,5	0,95	0,30	0,2 - 0,8
Espinaca	0,7	1,00	0,95	0,3
Guisante	0,5	1,15	1,10	0,5
Haba verde	0,5	1,15	1,10	0,8
Judía verde	0,5	1,05	0,90	0,4
Lechuga	0,7	1,00	0,95	0,3
Patata	0,5	1,15	0,75	0,6
Pepino	0,6	1,00	0,75	0,3
Pepino (cosecha a máquina)	0,5	1,00	0,90	0,3
Pimiento	0,6	1,05	0,90	0,7
Repollo	0,7	1,05	0,95	0,4
Tomate	0,6	1,15	0,70 - 0,90	0,6
Zanahoria	0,7	1,05	0,95	0,3

Adaptado de Allen et al. (1998).

timas (están perfectamente sanos, bien suministrados de nutrientes y sin ningún tipo de estrés) y que el cultivo se realiza al aire libre.

Necesidades hídricas brutas

Las necesidades hídricas brutas de los cultivos se denominan normalmente como evapotranspiración. En una determinada parcela cultivada, el agua pasa a la atmósfera mediante: a) la evaporación de agua que se encuentra en la superficie del suelo y b) la transpiración, que es la evaporación de agua desde los tejidos vegetales a través de los estomas de las hojas. Debido a la dificultad de cuantificarlos por separado, ambos procesos se suelen estimar conjuntamente y de ahí el término de evapotranspiración.

El cálculo de la evapotranspiración se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c ET_0$$

donde: ET_c, evapotranspiración del cultivo en cuestión; ET₀, evapotranspiración de un cultivo de referencia; y K_c, coeficiente propio del cultivo. La ET_c y la ET₀ se expresan en unidades de altura de agua por unidad de tiempo; por lo general, mm/día; 1 mm/día equivale a 1 l/m² y día o a 10 m³/ha y día.

Evapotranspiración de referencia: La evapotranspiración de referencia se define como la eva-

potranspiración de un cultivo hipotético de referencia, similar a una pradera de gramíneas, que cubre uniformemente el suelo, con una altura de 12 cm y sin ningún tipo de estrés; este concepto representa el efecto del clima sobre el proceso de evapotranspiración.

Esta evapotranspiración de referencia se estima a partir de distintas variables meteorológicas para lo cual existen diferentes fórmulas. La FAO recomienda el método FAO Penman - Monteith (Allen et al., 1998) para calcularla a partir de valores diarios de temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar y velocidad de viento, registrados a 2.0 m de altura.

En los últimos años, el Ministerio de Agricultura ha instalado una red de estaciones meteorológicas automáticas en las principales zonas de regadío de la mayor parte de las Comunidades Autónomas. Esta red se denomina

La evapotranspiración representa las necesidades hídricas brutas de los cultivos. El agua pasa a la atmósfera mediante la evaporación de agua en la superficie del suelo y la transpiración o evaporación de agua desde los tejidos vegetales a través de los estomas de las hojas

Direcciones web de varios servicios de asesoramiento al regante

■ Andalucía

- Servicio de Asesoramiento al Regante:
www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/publico

■ Aragón

- Oficina del Regante:
www.eead.csic.es/oficinaregante

■ Castilla La Mancha

- Servicio de Asesoramiento al Regante:
<http://crea.uclm.es/~siar/index.php>

■ Castilla y León

- Sistema Inforiego de Castilla y León:
www.jcyl.es/jcyl/cag/dgdr/riac/inforiego_ie.html

■ Cataluña

- Servei Meteorològic de Catalunya:
<http://smc.gencat.net>

■ Extremadura

- Programa de Asesoramiento al Regante:
www.juntaex.es/consejerias/aym/riegos/principal.htm

■ Murcia

- Programa de Asesoramiento en Riegos:
www.carm.es/cagr/cida/siam.htm

■ Navarra

- Servicio de Asesoramiento al Regante:
www.riegosdenavarra.com/sar/regante1.htm

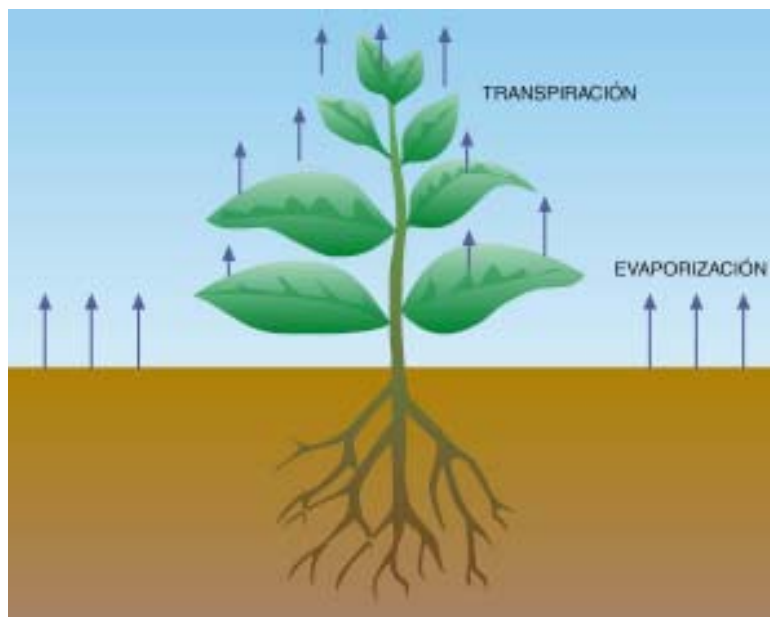
■ Valencia

- Servicio de Tecnología del Riego:
www.ivia.es/estacion
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR):
www.mappinginteractivo.com/plantilla.asp?id_articulo=177

Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (Siar) y su finalidad es registrar las mencionadas variables meteorológicas y calcular y difundir la evapotranspiración de referencia diaria estimada a través de los distintos Servicios de Asesoramiento al Regante existentes en esas Comunidades Autónomas.

Coefficiente de cultivo: El coeficiente de cultivo (K_c) representa el efecto del cultivo sobre el proceso de transpiración. Por tanto, el coeficiente depende de las

La evapotranspiración comprende la evaporación de agua del suelo y la transpiración del cultivo.



características del cultivo: especie, variedad, grado de desarrollo, arquitectura foliar, etc.

Para el cálculo del mismo, la FAO recomienda dividir el ciclo del cultivo en cuatro fases fenológicas: a) inicial, desde la siembra o transplante del cultivo hasta que éste cubre aproximadamente un 10 % de la superficie del suelo; b) desarrollo, desde el fin de la fase inicial hasta que el cultivo cubre aproximadamente un 70-80 % del suelo (es decir, hasta que se alcance una cobertura efectiva del suelo); c) mediados, desde el fin de la fase de desarrollo hasta que el cultivo muestra los primeros síntomas de senescencia; y d) final, desde el final de la fase de mediados hasta que se alcanza la madurez fisiológica del cultivo o, en cultivos hortícolas, hasta la fecha de cosecha.

Durante la fase inicial, la mayor parte de la evapotranspiración se debe a la evaporación de agua del suelo; por ello, los valores del coeficiente en la fase inicial suelen ser relativamente bajos. Durante la fase de desarrollo, la transpiración se va convirtiendo en preponderante y el coeficiente de cultivo aumenta hasta que se alcanza un máximo durante la fase de mediados.

Por último, durante la fase final este coeficiente el K_c va dis-

minuyendo hasta alcanzar la fecha de cosecha o de madurez fisiológica. El Cuadro 1 lista valores típicos de K_c para distintos cultivos hortícolas para unas prácticas culturales estándar y unas condiciones climáticas subhúmedas (humedad relativa mínima de alrededor de 45 % y velocidad media del viento de 2 m/s).

Estos valores pueden variar en función de determinadas prácticas culturales; por ejemplo, en casos como el cultivo de tomates o pimientos sobre tutores de 1,5-2,0 m de alto, los coeficientes de cultivo de la fase de mediados deben incrementarse un 5-15 %.

En consecuencia, los pasos a seguir para determinar los coeficientes de cultivos apropiados son:

a) Establecer la duración aproximada (en días) de las tres/cuatro fases de cultivo, tomando valores medios generales. Por lo general, los Servicios de Asesoramiento al Regante obtienen esta información mediante encuestas en las Oficinas Comarcales de Extensión. En la medida que sea posible, lo más conveniente es el uso de valores locales y representativos de las diferencias varietales más importantes dentro de un determinado cultivo.

b) Escoger los valores de los coeficientes en las fases inicial ($K_{c_{ini}}$), mediados ($K_{c_{med}}$) y final

(Kc_{fin}), procedentes de tablas. Estos valores deben luego ajustarse en función de diversos factores, tales como frecuencia e intensidad de lluvias y riegos, fracción de suelo humedecida por el sistema de riego, humedad relativa, velocidad del viento y altura aproximada del cultivo.

c) Construir la curva diaria de los coeficientes de cultivo. Esto se realiza estimando los valores reales en fases y momentos claves del cultivo - fase inicial y de mediados, y último día del ciclo -, y realizando luego interpolaciones lineales entre esos valores, para lo cual se utilizan una serie de ecuaciones establecidas.

Cuando no se produce una cobertura efectiva del suelo, como suele ser el caso en muchos cultivos hortícolas y frutícolas, debe realizarse una corrección de los coeficientes medios y finales (Kc_{med} y Kc_{fin}) antes de usarlos en interpolaciones.

El Sistema de Información Agroclimática para el Regadío registra las variables meteorológicas, calcula y difunde la evapotranspiración de referencia diaria estimada a través de los distintos Servicios de Asesoramiento al Regante

En cultivos hortícolas y frutícolas es común la existencia de bastante separación entre filas consecutivas de plantas. Es decir, aun cuando el cultivo se encuentre en condiciones óptimas, en muchas plantaciones no se alcanza nunca una cobertura efectiva del suelo (más del 70-80 % del suelo sombreado por el cultivo).

Necesidades netas de riego

Como se ha indicado anteriormente, la evapotranspiración (o necesidades hídricas brutas) de

un cultivo constituye el volumen de agua que ese cultivo necesita para su desarrollo óptimo. Parte de ese volumen debe ser suministrado por el riego y se conoce como necesidades netas de riego (NR_n). Las NR_n de un cultivo se calculan como la diferencia entre la evapotranspiración ET_c y los aportes naturales de agua (Ap_n):

$$NR_n = ET_c - Ap_n$$

donde todos los términos de esta ecuación se expresan en mm por unidad de tiempo (día, semana, mes, etc.).

Los aportes naturales de agua pueden tener diversas fuentes: a) la precipitación, la más importante de todas; b) el agua almacenada en el suelo de las precipitaciones de invierno/primavera; este aporte puede ser relativamente importante en zonas con suelos con gran capacidad de retención de agua y clima relativamente hú-

QUEEN GIL INTERNATIONAL®

La cinta de riego por goteo que ahorra agua y aumenta la producción

Disponible toda la gama de accesorios



- Goteros cada 10 cm.
- Importante ahorro de agua.
- Doble laberinto con microfiltros de entrada para evitar obstrucciones.
- Tiradas laterales de hasta 300 metros de longitud.
- Total uniformidad en la emisión de agua.
- Reduce los tiempos de riego.



Aumenta el rendimiento

Importador:
Zoberbac Nutrición de cultivos

Pol. Industrial Vilanoveta C/ dels Ferrers, G/ 14 - 16
08810 Sant Pere de Ribes (Barcelona) Spain
Tel. 93 811 54 00 - Fax 93 893 99 07
E-mail: zoberbac@zoberbac.com • http://www.zoberbac.com

Cuadro 3:

Estimaciones de evapotranspiración (ET_c) y necesidades netas de riego (NR_n) de un cultivo de patata tardía en Jiloca (Teruel) para distintos niveles de probabilidad de ocurrencia.

MES	NIVEL DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA									
	20%		50%		80%		90%		95%	
	ET_c (mm)	NR_n (mm)	ET_c (mm)	NR_n (mm)	ET_c (mm)	NR_n (mm)	ET_c (mm)	NR_n (mm)	ET_c (mm)	NR_n (mm)
Mayo	33	0	39	6	42	25	44	33	44	36
Junio	92	32	99	67	107	89	115	97	124	108
Julio	187	155	206	182	222	209	233	215	240	221
Agosto	159	125	171	160	189	177	196	191	199	194
Septiembre	78	45	94	71	102	93	109	106	111	111
Total	549	357	609	486	662	593	697	642	718	670

medo, al menos en invierno/prima-vera; c) el ascenso capilar de agua desde capas subterráneas de agua; este aporte sólo es significativo si esta capa está relativamente cerca de la superficie; d) el rocío, la niebla, etc.; en climas como los de la inmensa mayoría de los regadíos españoles, estos aportes tampoco son significativos.

Por lo general, sólo la aportación de la precipitación se considera de importancia. Se denomina precipitación efectiva (o lluvia útil, PE) a la proporción de agua procedente de la precipitación que se almacena en el suelo y contribuye a satisfacer las necesidades hídricas brutas de los cultivos.

No toda la precipitación contribuye a satisfacer dichas necesidades ya que parte se puede perder por escorrentía superficial, por drenaje por debajo de la zona radicular, etc. Por tanto, comúnmente, el término Ap_n en la ecuación anterior se sustituye por el término PE, correspondiente a lluvia útil.

Existen distintos métodos de estimación de la precipitación efectiva para períodos semanales, decenales o incluso mensuales. Algunos métodos son relativamente sofisticados en los que la precipitación efectiva se calcula como función de la precipitación, la ET_c y el intervalo de riegos. Otros métodos simplemente estiman la precipitación efectiva como un porcentaje fijo de la precipitación registrada. Como aproximación muy general, se podría considerar que la precipitación efectiva en los re-



Cultivo de guisante en riego por aspersión en Ejea de los Caballeros (Zaragoza). Foto: Miguel Gutiérrez, Centro de Técnicas Agrarias de la Diputación General de Aragón.

gadíos españoles es, a grandes rasgos, el 75 % de la precipitación (semanal o mensual) registrada.

En aquellos casos en que se requieren cálculos de necesidades netas de riego diarias, la precipitación efectiva se puede estimar mediante cálculos de balances hídricos en el suelo.

Necesidades brutas de riego

Como se ha indicado anteriormente, las necesidades netas de riego representan el volumen de agua que el sistema de riego debe suministrar a la zona radicular de un cultivo para satisfacer sus necesidades hídricas brutas.

Todo sistema de riego está sujeto a unas pérdidas de agua de forma que su eficiencia de aplicación es siempre menor del 100 %. Estas pérdidas pueden deberse a una evaporación directa de la lámina libre de agua (como ocurre en el riego por inundación), a la

evaporación de las gotas de agua en su camino hacia el cultivo o a su arrastre por el viento (como ocurre con el riego por aspersión), a escorrentía superficial cuando el terreno no está perfectamente nivelado, a drenaje de agua por debajo de la zona radicular, etc.

La eficiencia de aplicación de un sistema de riego depende de muchos factores; aparte de los ya mencionados, se pueden citar el diseño y el manejo del sistema de riego. La determinación de la eficiencia de aplicación de un sistema de riego concreto, en una zona o parcela concretas, precisa de una evaluación de campo detallada que se debe realizar por personal cualificado.

Por ello, en muchas ocasiones, no se conocen de forma ade-

El cultivo experimenta síntomas de estrés hídrico antes de que el volumen de agua en el suelo descienda hasta el punto de marchitez. Esto define el nivel de agotamiento permisible como el contenido de agua en el suelo por debajo del cual el cultivo empieza a sufrir estrés hídrico

cuada las eficiencias de aplicación de los sistemas de riego en los diferentes polígonos de riego españoles. No obstante, a grandes rasgos, se pueden considerar los siguientes rangos de eficiencias de aplicación: a) riego por superficie, eficiencia de aplicación (E_a) de 55 a 85 %; b) riego por aspersión, E_a de 65 a 90 %; c) riego por goteo, E_a de 75 a 90 %.

Además, algunos suelos pueden presentar ciertos niveles de salinidad que serán más o menos perjudiciales según sean la tolerancia del cultivo a la salinidad y la calidad de las aguas de riego. Se denomina fracción de lavado (FL) al exceso de agua de riego que se debe aplicar para producir el lavado de sales y evitar su acumulación en la zona radicular del cultivo. Esta fracción depende de los factores que se han mencionado anteriormente.

En consecuencia, las necesidades brutas de riego (NR_b) se

calculan con la siguiente expresión:

$$NR_b = 100 \frac{NR_n}{E_a (1-FL)}$$

donde la eficiencia de aplicación E_a se expresa en tanto por ciento; la fracción de lavado FL, como fracción; y las necesidades brutas y netas, NR_b y NR_n , en milímetros por unidad de tiempo.

La expresión señala que las necesidades brutas serán mayores

a mayores necesidades netas y menores cuando la eficiencia de aplicación es mayor. Una mayor necesidad de agua para lavar sales (fracción de lavado, FL), también incrementa las necesidades brutas de agua.

Como ejemplo, supóngase que se ha estimado que las necesidades netas NR_n de un cultivo de tomate en una determinada zona durante la semana del 5 al 11 de julio son de 50 mm. Supóngase que el cultivo se riega por aspersión y que la eficiencia de aplicación de este sistema en este cultivo y zona concretos es del 85 %. Asimismo, supóngase que la fracción de lavado se estima en 0,15. Entonces, aplicando la ecuación anterior, las necesidades brutas NR_b de esa semana, cultivo, zona y sistema de riego concretos se estiman en:

$$NR_b = 100 \frac{50}{0,85 (1-0,15)} = 69 \text{ mm}$$

■ Por lo general, sólo la aportación de la precipitación se considera de importancia. Se denomina precipitación efectiva (o lluvia útil) a la proporción de agua procedente de la precipitación que se almacena en el suelo y contribuye a satisfacer las necesidades hídricas brutas de los cultivos

TUBERÍA CON GOTERO INTEGRADO



GEOFLOW: Reutilización de EFLUENTES URBANOS



ADI - ADO GOTERO AUTOCOMPENSANTE



Riego por goteo BAJO SUPERFICIE
GEODRIP: Tecnología ROOTGUARD



IDL
GOTERO TURBULENTO



AGROMETZER S.A



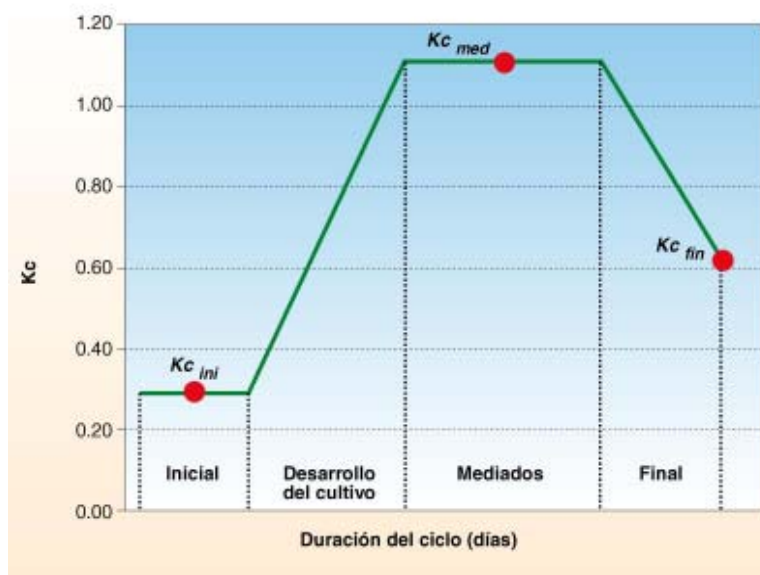
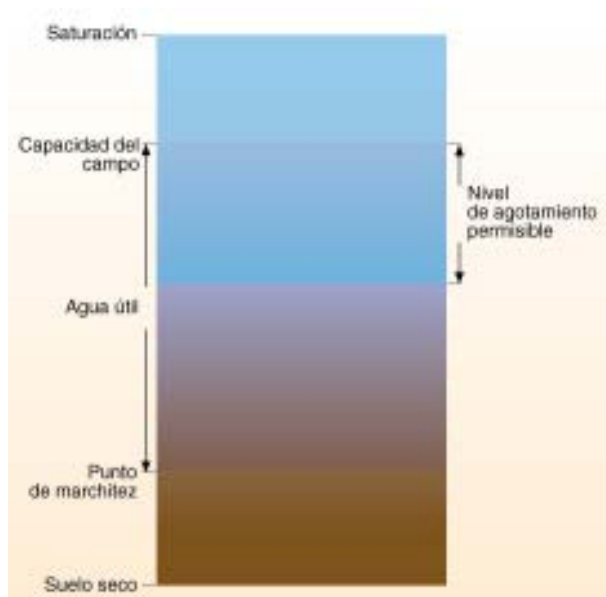


Barcelona:
93 729 44 47
barcelona@agro-systems.com

Madrid:
91 630 06 53
madrid@agro-systems.com

Sevilla:
95 418 52 50
sevilla@agro-systems.com

Valencia:
96 166 89 23
valencia@agro-systems.com



Por tanto, al nivel de parcela, el sistema de riego de este ejemplo debe consumir 69 mm para conseguir que en la zona radicular del cultivo lleguen 50 mm que unidos al aporte de la precipitación efectiva satisficieran las necesidades hídricas de ese cultivo.

Calendarios de riego a tiempo real

Hasta ahora no se ha introducido el factor suelo en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos. Este factor se debe incluir cuando el regante está interesado en realizar, por ejemplo, calendarios de riego a tiempo real y para ello lleva a cabo balances hídricos diarios simplificados del contenido de agua en el suelo. Para realizar estos cálculos, el suelo se considera de forma simplificada como una caja en la que cabe un determinado volumen máximo de agua, la capacidad de campo.

Asimismo, existe un límite inferior de contenido de agua en el suelo, por debajo del cual el cultivo se marchita permanentemente y muere, el punto de marchitez. El volumen de agua entre estos dos límites se denomina agua útil o agua extraíble por las plantas (AU), que se expresa en milímetros. Los valores de capacidad de campo y del punto de

Agua útil y nivel de agotamiento permisible en el suelo.

Curva típica de coeficiente de cultivo.

marchitez dependen del tipo de suelo, siendo más elevados para suelos más pesados.

Generalmente, el cultivo experimenta síntomas de estrés hídrico antes de que el volumen de agua en el suelo descienda hasta el punto de marchitez. Esto define el nivel de agotamiento permisible como el contenido de agua en el suelo por debajo del cual el cultivo empieza a sufrir estrés hídrico. El nivel de agotamiento permisible -NAP, en mm- se calcula como una fracción del agua extraíble por las plantas.

A la hora de establecer calendarios a tiempo real, se trata, pues, de realizar balances hídricos diarios para determinar en cada día el nivel de agotamiento de agua en el suelo de forma que cuando éste iguale o supere al valor de nivel de agotamiento permisible (NAP), se debe realizar un riego. Por razones de espacio, no se discute más a fondo la for-

ma de realizar este tipo de balances hídricos para establecer calendarios de riego a tiempo real.

Recomendaciones generales de riego

El establecimiento de calendarios de riego a tiempo real requiere de un conocimiento detallado de la parcela, del cultivo y del sistema y manejo del riego del caso concreto de interés; es decir, representa un nivel de asesoramiento personalizado al regante. Pero en general este nivel no se puede llevar a cabo más que en contadas ocasiones.

Más habitualmente, los Servicios de Asesoramiento al Regante realizan recomendaciones de riego más generales y en los que no se tienen en cuenta, por tanto, algunos aspectos como el tipo de suelo, diferencias varietales significativas, marcos de plantación, etc.

■ **El establecimiento de calendarios de riego a tiempo real requiere un conocimiento detallado de la parcela, del cultivo y del sistema y manejo del riego, es decir, un nivel de asesoramiento personalizado al regante**

Para saber más...

- El lector interesado puede leer la versión no resumida de este artículo en Internet: www.horticom.com?56341.

En esta página se presentan ejemplos de cálculos que la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón realiza para dar recomendaciones generales de riego y cómo esos cálculos se podrían utilizar por los regantes.



Planta ornamental

Substratos especiales Klasmann que aseguran el éxito en el enraizamiento, multiplicación y cultivo.

KLASMANN
We make it grow!




VALIMEX S.L.

DISTRIBUIDOS EXCLUSIVO EN ESPAÑA

C/. Palleter, 2, 1ª • 46008 Valencia • Tif. 96 385 3707 • Fax 96 384 4515 • e-mail: ventas@valimex.es • www.valimex.es