

En horticultura sin suelo, el agua es el factor más importante de la producción, y es conveniente adecuar su aporte a las necesidades hídricas de los cultivos

Dotaciones de riego en cultivos sin suelo

TEODORO MORENO INIESTA

Ing. Téc. Agrícola
morenote@wanadoo.es



En horticultura sin suelo, el sustrato es el lugar donde se desarrollan las raíces de los cultivos actuando como soporte físico y almacén que proporciona agua, oxígeno y nutrientes a la planta.

El agua es el factor más importante de la producción. La adecuación de su aporte a las necesidades hídricas de los cultivos tiene como objetivo no producir estrés hídrico ni déficit de oxigenación por falta o exceso de agua. Esta adecuación puede hacerse actuando sobre la dotación del riego o sobre su frecuencia. Para una misma cantidad de agua aportada en una jornada de riego, si se

El sustrato, donde se desarrollan las raíces de los cultivos en la horticultura sin suelo, actúa como soporte físico y almacén que proporciona agua, oxígeno y nutrientes a la planta.

disminuye la dotación habrá que aumentar la frecuencia y viceversa.

Por otro lado, la práctica del riego en los cultivos sin suelo tiene dos objetivos: por un lado, satisfacer la demanda hídrica del cultivo y, por otro, controlar la conductividad del medio en que se desarrolla el sistema radicular. Todo ion aportado por encima de su tasa de absorción tiende a acumularse en el sustrato. El aporte de agua en exceso es necesario para evitar que esta acumulación repercuta negativamente en los rendimientos del cultivo.

Por conveniencia, se adopta que el porcentaje de drenaje en

cultivos sin suelo es la relación entre cantidad de agua que se drena y cantidad que se aporta. Determinar el porcentaje de drenaje más adecuado a cada situación para optimizar los rendimientos del cultivo, está en función de la calidad del agua de riego, de la sensibilidad del cultivo a la salinidad y de la ontogenia del cultivo.

La cantidad total de agua que se aporta en un día está en función de la cantidad de agua que se aporta en un riego (dotación) y del número de veces que se aporta dicha cantidad (frecuencia).

La dotación de riego no debe de elegirse arbitrariamente. Son

Cuadro 1:

Cálculo de dotaciones de riego para perlita y lana de roca con variaciones de algunos de los parámetros influyentes en el resultado final.

SUSTRATO (Unidad de cultivo)	Saco de perlita B-12	Lana de roca $d = 70 \text{ gL}^{-1}$	Saco de perlita B-12	Lana de roca $d = 70 \text{ gL}^{-1}$
- Dimensiones (metro)	1,2x 0,2x 0,2	1x0,15x 0,1	1,2x 0,2x 0,2	1,2x0,2x0,1
- Volumen de sustrato (litro)	40	15	40	24
- Capacidad de contenedor (litros de agua)	20,0	9,0	20,0	14,4
HIPOTESIS DE TRABAJO				
- Nivel de agotamiento = 5% de C (litro)	1,0	0,45	1,0	0,72
- Porcentaje de drenaje = 25% de F (litro)	0,33	0,15	0,33	0,24
- Dotación de riego = D+E (litro)	1,33	0,60	1,33	0,96
INSTALACIÓN DE RIEGO				
- Caudal de cada gotero (Lh^{-1})	3	3	3	3
- Nº de goteros por unidad de cultivo	3	3	4	3
- Caudal instantáneo = $G \cdot H$ (Lh^{-1})	9	9	12	9
TIEMPO DE RIEGO				
- Dotación de riego = $(F/I) \cdot 60$ (minuto)	8,9	4,0	6,7	6,4

varios los factores que dependen de la determinación de la dotación de riego:

Respecto del sustrato: características físicas, volumen de sustrato por unidad de cultivo y geometría del contenedor, de la tabla o del saco. Estas tres cualidades determinan la Capacidad de Contenedor, definida como "la cantidad máxima de agua que puede retener o almacenar un sustrato en contenedor, tras saturación y drenaje hasta el equilibrio".

Respecto de la instalación de riego: caudal instantáneo de goteros y número de goteros por unidad de cultivo.

Respecto de los parámetros de manejo predeterminados: Porcentaje de drenaje, porcentaje de agotamiento de la reserva de agua para iniciar un nuevo riego. Es equivalente al consumo de agua que se ha producido en el periodo entre dos riegos.

Los factores relacionados con el sustrato y con la instalación de riego son constantes y característicos de la parcela de cultivo. Los parámetros relacionados con el manejo son más variables, pero también están muy ligados a las condiciones de parcela. Puede concluirse, por tanto, que la dotación de riego es un valor que hay que determinar en la parcela de cultivo y que, al ser constantes

los parámetros implicados, la dotación de riego debe de ser constante en el tiempo.

Un manejo adecuado de la operación de riego implica restituir al sustrato el agua consumida una vez que se ha agotado una cantidad predeterminada del total de agua que hay en el contenedor. El ritmo de consumo de agua de un cultivo depende de los parámetros climáticos que rodean al cultivo (E_{To}) y del coeficiente de cultivo (K_c).

Puesto que estos factores son variables, la frecuencia de riego debe de ser también un factor variable en el tiempo. En la práctica del día a día, es frecuente encontrarse con situaciones en las que

■ **El ritmo de consumo de agua de un cultivo depende de parámetros climáticos y del coeficiente del cultivo. Puesto que estos factores son variables, la frecuencia de riego debe de ser también un factor variable en el tiempo**

Figura 1.

Condiciones iniciales de riego

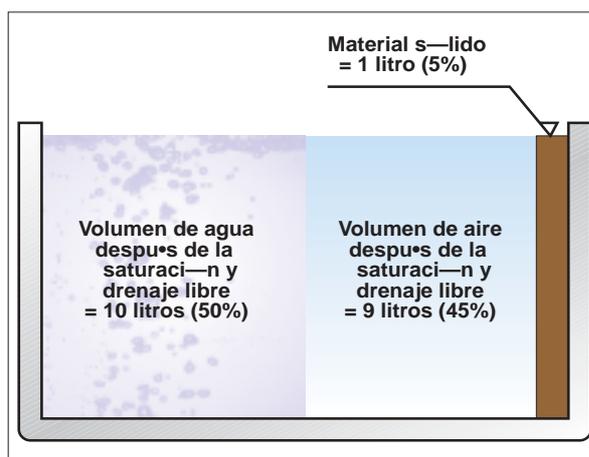
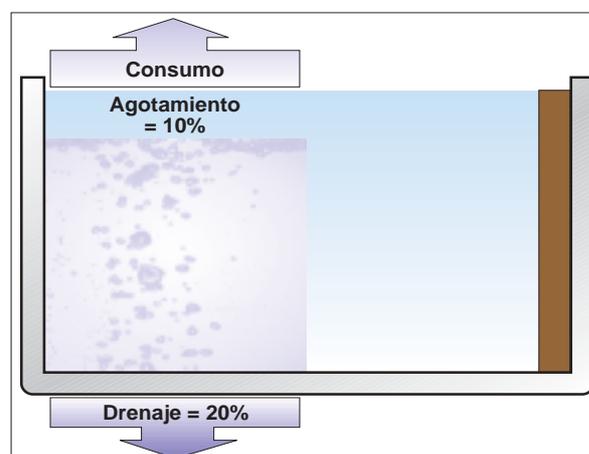


Figura 2.

Régimen de riego establecido



Cuadro 2:

Ensayo de diferentes porcentajes de drenaje para tomate de otoño en sacos de perlita con tres goteros de 3 l.h⁻¹ y una dotación de riego de 10 minutos

Tratamiento	Agua aportada (l.m ⁻²)	Drenaje (%)	C.E. drenaje (dSm ⁻¹)	Producción (kg.m ⁻²)	Agotamiento calculado (%)
A (1-10%)	336	11,9	6,2	10,80 a	6,00
B (10-20%)	374	20,1	4,2	11,13 a	5,45
C (10-20%) ⁽¹⁾	377	17,5	4,5	11,28 a	11,25
D (20-30%)	455	24,1	3,8	11,36 a	5,20

⁽¹⁾ Misma agua que en B pero con dotación de 20' y mitad de riegos.

no se aplican criterios racionales para fijar los parámetros que gobiernan el riego. Suele elegirse aleatoriamente una dotación de riego, medida como tiempo de riego y, mediante distintos sistemas de control, generalmente bandejas de demanda, automatizar la frecuencia de riego para obtener los porcentajes de drenaje deseados.

La fuerza de la costumbre ha terminado por implantar un manejo de riego en el que priman tiem-

pos de riego muy cortos (entre 3 y 8 minutos) y riegos de muy alta frecuencia. En general los tiempos de riego muy cortos que obligan a aumentar el número de riegos no son aconsejables porque originan una serie de problemas colaterales como los que a continuación se mencionan:

- Mayor número de riegos empeoran la uniformidad de riego y esto ocurre porque los tiempos de recarga y descarga de las tube-

rías de la instalación de riego son constantes e independientes del número de riegos.

- Al aumentar el número de arranques de los motores de riego y de los elementos de inyección los consumos energéticos aumentan.

- Hay un tiempo mínimo y constante para que los autómatas de fertirrigación estabilicen los parámetros programados de las soluciones nutritivas (pH y C.E.). Así que los desajustes entre las soluciones nutritivas obtenidas y las programadas serán mayores cuanto menor sea el tiempo de riego.

- A mayor número de arranques mayores desgastes mecánicos de los distintos elementos del equipo de fertirrigación y por lo tanto mas averías y menor vida útil de los mismos.

Cálculo de la dotación de riego

Con las consideraciones realizadas se ilustra un ejemplo prác-

tico de cómo puede ser calculada la dotación de riego para una situación concreta.

Condiciones iniciales (Figura n° 1): Supóngase un sistema de cultivo sin suelo formado por contenedores de 20 l de capacidad y que dichos contenedores están rellenos con un sustrato que tiene un 5 % de material sólido. Por las características del sustrato y la geometría del contenedor se determina que la capacidad de contenedor es del 50 %. En esta situación la distribución de volúmenes, después de someter el sustrato a saturación y tras dejarlo drenar libremente, será de 10 l de agua retenida, 9 l de aire y 1 l de material sólido.

Hipótesis de trabajo (Figura n° 2): Dadas las características del cultivo y la calidad del agua de riego que se va a utilizar se toma la decisión de mantener un porcentaje de drenaje del 20 % y regar cuando el cultivo haya consu-

mido el 10 % del agua retenida en el contenedor.

Cálculo del volumen de la dotación de riego (Figura n° 3): Con estos antecedentes se sabe que, cuando se riegue, habrá que reponer el consumo producido, que será de 1 l (10% de 10 l), más el drenaje necesario. Siendo Ad el agua drenada, Ap el agua aportada y Ac el agua consumida, el cálculo del agua drenada y del agua aportada se obtendrá de la siguiente manera:

- Por definición el % de drenaje = $(Ad/Ap) \times 100$. Por lo tanto:

■ La costumbre ha terminado por implantar un manejo de riego en el que priman tiempos de riego muy cortos y de muy alta frecuencia. En general, los tiempos de riego muy cortos no son aconsejables, ya que originan algunos problemas colaterales

$$20 = (Ad/Ap) \times 100; Ap = Ad/0,2$$

- Por otro lado se debe de cumplir que $Ap = Ac + Ad$. Sustituyendo se tiene que $Ad/0,2 = 1 + Ad$; y operando se calcula que $Ad = 0,25$ l.

- Sustituyendo por sus valores $Ap = 1 + 0,25$. Por lo tanto la dotación de riego es de 1,25 l.

Cálculo del tiempo de riego (Figura n° 4): En la mayoría de las situaciones los sistemas de riego disponibles requieren que las dotaciones de riego sean programadas por tiempos. Es necesario, por lo tanto, transformar el valor volumétrico de la dotación por su equivalente en tiempo de riego.

Para ello es preciso conocer el caudal instantáneo que abastece a la unidad de cultivo. Para el ejemplo que se está viendo se dispone de dos goteros por contenedor con un caudal de 3 l/h por cada gotero. Así, el caudal instantáneo de la unidad de cultivo es de 6 Lh^{-1} o su equivalente de 100

Cuadro 3:

Influencia del volumen de sustrato y la dotación de riego sobre las producciones de pepino en otoño y tomate en primavera.

Cultivo	PEPINO DE OTOÑO				TOMATE DE PRIMAVERA			
	Saco de 40 l.		Contenedor 20 l.		Saco de 40 l.		Contenedor 20 l.	
Volumen de sustrato								
Tiempo de riego (minutos)	7'	28'	7'	28'	7'	28'	7'	28'
Producción (Kgm ⁻²)	11,1a	11,0a	10,9a	9,7b	8,36a	8,78a	8,35a	7,92a
C.E. del drenaje (dSm ⁻¹)	3,38	3,49	3,37	2,82	4,75	4,88	4,71	4,43
Drenaje medido (%)	34,8	30,9	29,6	34,8	27,0	24,8	25,9	25,8
Agotamiento calculado (%)	3,5	14,8	5,0	18,6	3,9	16,1	5,3	21,2

Figura 3.

Cálculo volumen de dotación de riego

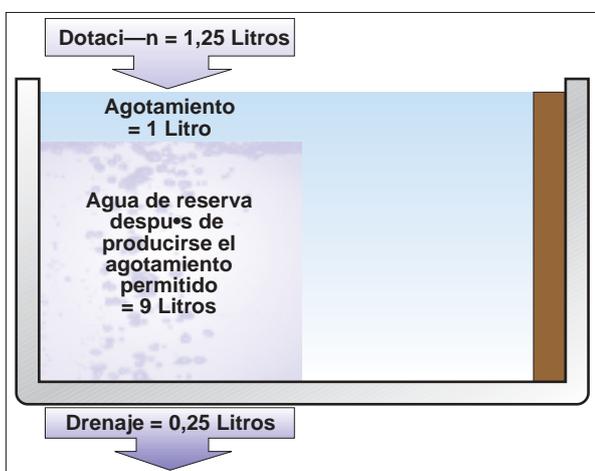
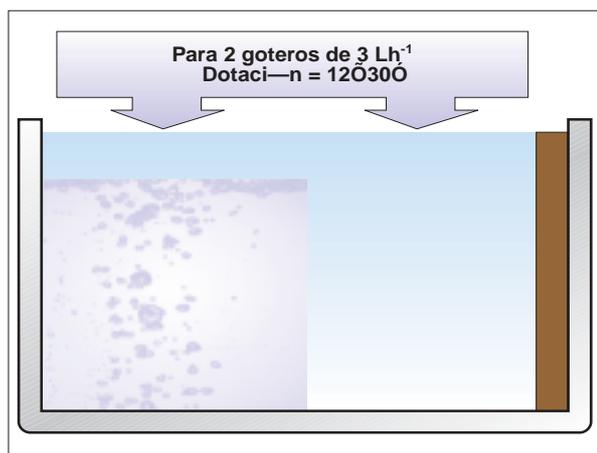


Figura 4.

Cálculo de tiempo de riego



mL por minuto. Para una dotación de 1,25 l, o su equivalente de 1.250 mL, la dotación de riego será de 12,5 minutos, es decir 12' y 30".

Para resaltar la importancia que tienen la correcta adecuación de la dotación de riego a las condiciones de parcela, en el cuadro

1 se muestran cuatro ejemplos que ilustran esta afirmación. En las dos primeras columnas se han calculado las dotaciones de riego para dos sustratos y sistemas muy estandarizados.

Se han tomado como criterios de manejo permitir un agotamiento de la reserva de agua del 5% y mantener un drenaje del 25%. Permaneciendo constantes el resto de parámetros, la dotación de riego para la perlita es de 8,9 minutos y para lana de roca de 4 minutos, es decir menos de la mitad. Aparentemente estos datos concuerdan con la práctica generalizada de dar riegos más cortos para la lana de roca que para la perlita.

Céntrese ahora la atención en las dos columnas de la derecha. Se han calculado las dotaciones de riego para estos dos mismos sustratos pero introduciendo alguna variante cuyo valor ha sido resaltado en negrita. En perlita se ha supuesto que el saco tiene cuatro goteros en vez de tres, resultando por lo tanto un caudal instantáneo en la unidad de cultivo 12 Lh⁻¹.

Para el caso de la lana de roca se ha sustituido la tabla de 100x15x10 por la de 120x20x10 (en cm.) por lo que la dotación volumétrica pasa de 0,60 l a 0,96 l. Resulta por lo tanto que las dotaciones de riego son de 6,7 minutos para la perlita y de 6,4 minutos para la lana de roca, es decir, dotaciones de riego prácticamente iguales a pesar de ser sustratos diferentes. Las diferencias de dotación no están por lo tanto en función de las diferencias entre los sistemas sino a las diferencias entre los parámetros que los definen a pié de parcela.

Ensayos sobre dotaciones de riego

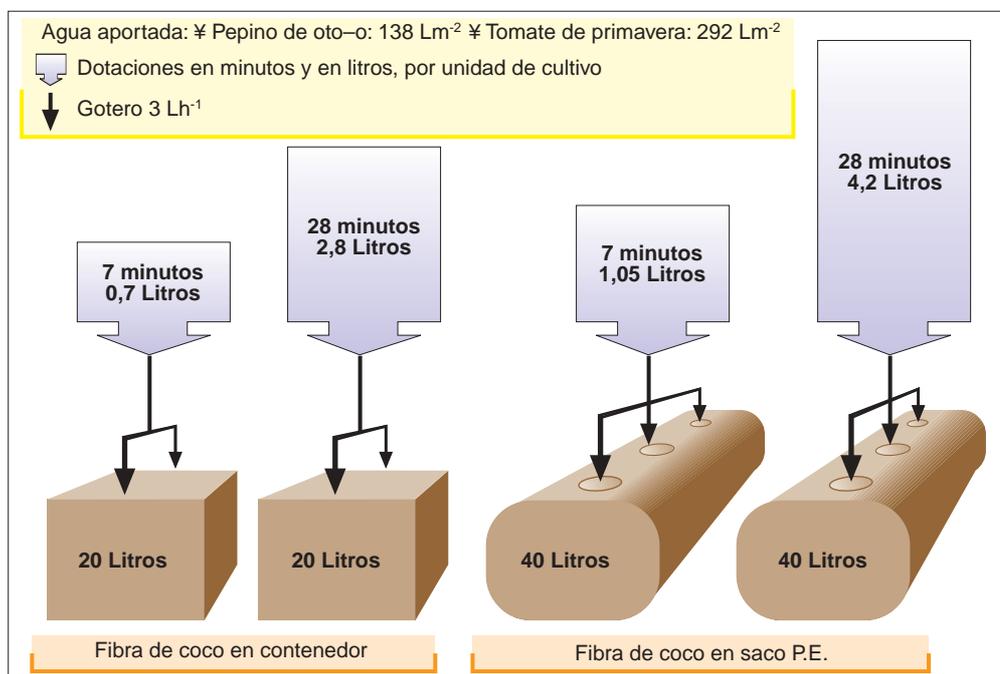
El porcentaje de agotamiento de la capacidad de contenedor ha sido hasta ahora un parámetro poco utilizado en el manejo del riego. El problema a resolver es por lo tanto que porcentaje de agotamiento puede ser utilizado con fines de manejo en una buena práctica de la operación de riego.

A la luz del presente ensayo, el mayor agotamiento de la capacidad de contenedor se produce en el cultivo de tomate de primavera, en donde se llegó al 21,2%; también en el contenedor de 20 l y con 28 minutos de riego

El Cuadro 2 muestra los resultados de un ensayo publicado por Lorenzo P., Medrano E. y García M. (1992), sobre porcentajes de drenaje para cultivo de tomate en sacos de perlita realizado en el C.I.F.A. de La Mojonera (Almería) en la campaña 1991/92. La propuesta inicial era mantener tres tratamientos de drenaje (10%, 20% y 30 %) con riegos de 10'. Se introdujo una variante al tratamiento del 20% de drenaje consistente en, manteniendo la misma cantidad de agua aportada, doblar la dotación y disminuir a la mitad el número de riegos.

Figura 5:

Ensayo de dotaciones de riego



Los datos de producción no muestran diferencias estadísticamente significativas para las condiciones en que se ha desarrollado el ensayo. Los datos de la última columna de la derecha, referentes al porcentaje de agotamiento producido en la reserva de agua, no aparecen en el trabajo original.

Han sido calculados por el autor de este artículo aplicando la metodología descrita anteriormente. Para las condiciones en las que se ha desarrollado el ensayo puede afirmarse que, con fines de manejo del riego, pueden fijarse niveles de agotamiento de la capacidad de contenedor en el entorno del 10 % sin que ello produzca diferencias de producción frente a niveles de agotamiento del 5%.

Otro trabajo muy interesante se ha realizado en la finca experimental de La Nacla que la Caja Rural de Granada tiene en Motril (Granada). Éste sí es un ensayo específico sobre dotaciones de riego. Se cultivó pepino en el otoño del año 2000 y tomate en la primavera del año 2001 en un sistema de cultivo sin suelo formado por fibra de coco en contenedores y sacos de cultivo.

Los datos y resultados de estos ensayos han sido presentados en el IX Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas celebrado en Pontevedra del 26 al 30 de mayo del 2003 por García M., Escobar I., Berenguer J.J. y Moreno T. Los diferentes tratamientos aparecen esquematizados en la figura nº 5.

Los contenedores con fibra de coco tenían una capacidad de 20 l y disponían de dos goteros de 3Lh⁻¹. Los sacos de cultivo eran de 40 l y tenían tres goteros de 3Lh⁻¹ en cada saco. A cada uno de estos sistemas se le aplicó un manejo de riego gobernado por bandeja de demanda y una dotación de 7 minutos, resultando unas dotaciones volumétricas de 0,7 l por cada riego para el contenedor y 1,05 l para el saco de cultivo. En

Quizás una propuesta recomendable para adaptar a las actuales costumbres de riego sea la de fijar porcentajes de agotamiento de la reserva de agua en el intervalo del 7,5 al 10%

otras parcelas del ensayo se aplicaba un riego de 28 minutos cuando las anteriores habían acumulado 4 riegos resultado unas dotaciones volumétricas de 2,8 l y 4,3 l respectivamente. Los cuatro tratamientos recibieron por lo tanto la misma cantidad de agua pero distinto número de riegos.

En el cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos en este ensayo. Se calcularon los porcentajes de agotamiento producidos y se muestran en la última fila del cuadro. Puede apreciarse la agresividad de los distintos tratamientos puesto que se han producido niveles de agotamiento que varían entre el 3,5 % y el 21,2 %. Es digno también de resaltar que los porcentajes de drenaje no se ven influidos por las distintas dotaciones de riego, o lo que es lo mismo, por los distintos porcentajes de agotamiento de la reserva, lo cual desvanece la falsa creencia de que tiempos de riego largos producen mayores porcentajes de drenaje.

El único tratamiento que ha visto influida su producción con significación estadística ha sido el cultivo de pepino de otoño con una dotación de 28 minutos en el contenedor con 20 l de sustrato que produjo un agotamiento de la reserva de agua del 18,6 %.

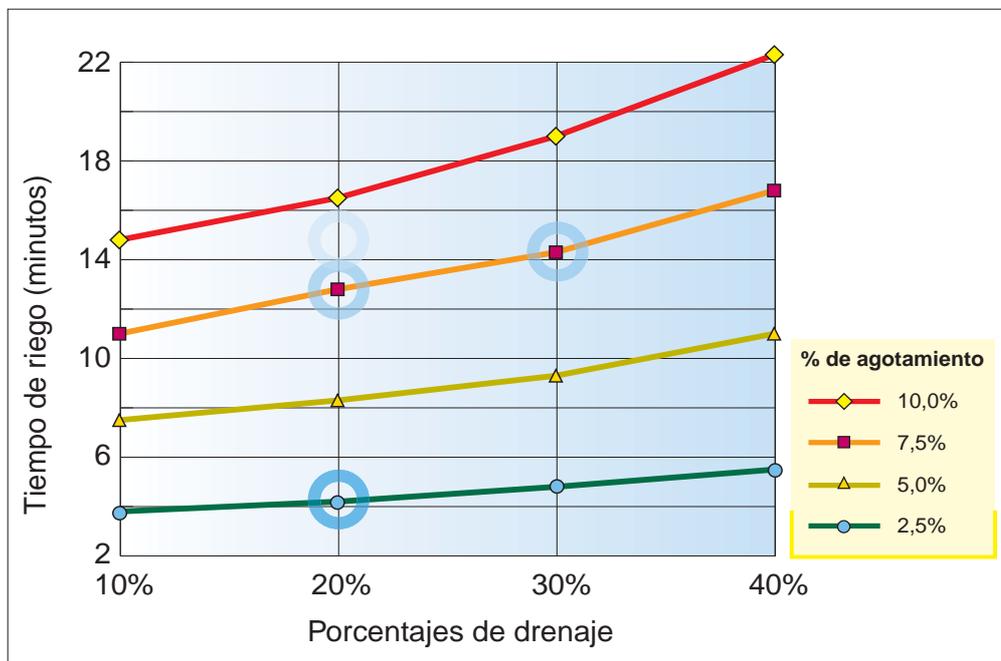
El mayor agotamiento de la capacidad de contenedor se produce en el cultivo de tomate de primavera en donde se llegó al 21,2 %, también en el contenedor de 20 l y con 28 minutos de riego. Sin embargo las diferencias de producción no muestran significación estadística en ninguno de los tratamientos de tomate aunque la producción es menor precisamente en ese tratamiento.

Conclusiones

A la vista de los resultados del ensayo realizado en la finca de La Nacla parece que se puede concluir que porcentajes de agotamiento de la reserva de agua por encima del 15 % pueden empezar a tener una influencia negativa sobre las producciones. El ensayo del C.I.F.A. de La Mojonera es

Gráfico 1:

Tiempos de riego para saco de cultivo de 40 litros con perlita B-12 y 3 goteros de 3 l.h⁻¹



menos agresivo y no arroja información sobre los límites en los que pueden aparecer problemas de disminución de la producción por agotamiento de la reserva de la capacidad de contenedor. Puede asegurarse, no obstante, que llegar a un agotamiento del 10 % no tuvo influencia negativa sobre la producción.

Los tiempos de riego comúnmente utilizados en la práctica del manejo de los cultivos sin suelo oscilan entre los 3 y los 8 minutos que producen agotamientos de la reserva de agua en el entorno del 2 al 4 %, dependiendo del valor de los distintos parámetros implicados.

Puede afirmarse, por lo tanto, que es ésta una forma de manejo excesivamente conservadora por lo alejada que está de los límites que pueden causar problemas en las producciones de los cultivos. Sin ánimo de plantear un manejo de riego radicalmente distinto a la práctica impuesta por la fuerza de la costumbre, quizás una propuesta recomendable sea la de fijar porcentajes de agotamiento de la reserva de agua en el intervalo del 7,5 al 10 %.

Para el sistema de cultivo en sacos de 40 l con perlita B-12 y tres goteros de 3 Lh⁻¹ en cada saco se ha elaborado el gráfico n° 1 a partir de una hoja de cálculo en la que se han fijado unos rangos de valores comprendidos entre el 10 y el 40 % para los porcentajes de drenaje y entre el 2,5 y el 10% para los porcentajes de agotamiento de la reserva de agua. En el eje de ordenadas aparecen los tiempos de riego relacionados con los parámetros anteriores.

Estos gráficos pueden ser utilizados para especular fácilmente sobre distintas posibilidades de manejo de la operación de riego. Por ejemplo un usuario que

Si la propuesta de manejo del riego pasa por no alterar el porcentaje de agotamiento de la reserva de agua para iniciar un nuevo riego, entonces habrá que disminuir el tiempo de riego hasta conseguir el 20 % de drenaje deseado

aplica una dotación de 4 minutos y mantiene un porcentaje de drenaje del 20 % (resaltado con un círculo rojo en el gráfico) riega cuando se ha agotado el 2,5 % de la reserva de agua y puede afirmarse que está realizando un manejo excesivamente cauteloso.

En el supuesto de manejar bandejas de demanda para el control de la frecuencia de riego, el gráfico puede ser utilizado para comprobar lo que ocurre al actuar sobre las mismas. Si se supone una situación inicial de manejo del riego con una dotación de 14 minutos y la bandeja está calibrada para mantener un porcentaje de drenaje del 30 %, el agotamiento de la reserva de agua que se está produciendo es del 7,5 % como queda reflejado en el gráfico (resaltada con un círculo de color verde). Si por necesidades de manejo se estima que debe bajarse el porcentaje de drenaje al 20 %, puede actuarse de dos formas distintas.

Manteniendo el tiempo de riego y bajando la altura de los electrodos de la bandeja de demanda, hasta conseguir el deseado 20 % de drenaje, se llega al punto resaltado con un círculo de color amarillo. En esta situación se habría aumentado el nivel de agotamiento de la reserva de agua hasta el 8,4 %. Obsérvese que las bandejas de demanda son sistemas que controlan el riego por ajuste del porcentaje de agotamiento de la reserva de agua.

Si la propuesta de manejo del riego pasa por no alterar el porcentaje de agotamiento de la reserva de agua para iniciar un nuevo riego, entonces habrá que disminuir el tiempo de riego hasta conseguir el 20 % de drenaje deseado. Para llegar al punto resaltado en el gráfico con el círculo de color azul habrá que programar un tiempo de riego de 12,5 minutos. En este caso no se actúa sobre la altura de los electrodos de la bandeja de demanda y por lo tanto el porcentaje de agotamiento permanece constante e igual al 7,5 %.