

# Consumos hídricos en cultivos hortícolas sin suelo bajo invernadero

ANTONIO L. ALARCÓN<sup>(1)</sup> & CONSUELO EGEA<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. Producción Agraria, Área Edafología y Química Agrícola, ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena (Murcia).

<sup>(2)</sup> Dpto. Química Agrícola, Geología y Edafología, Universidad de Murcia, Murcia.

*La escasez de agua, un tema actual, será en el futuro aún más acuciante. En la Universidad de Cartagena se desarrollan ecuaciones para predecir con más exactitud esas necesidades.*



En el Sureste español, el agua constituye el principal factor limitante de la agricultura intensiva. Los continuos avances tecnológicos en materia de fertirrigación, hidroponía, control climático de invernaderos, riego por demanda, etc., han situado a esta zona a la vanguardia mundial en cuanto a la tecnología y gestión del agua de riego; además el cultivo sin suelo permite un máximo aprovechamiento de los recursos hídricos (Alarcón y Madrid, 1997; De Graaf, 1988). La cantidad de agua necesitada dependerá de la zona, cultivo y estado fenológico del mismo, con-

**La cantidad de agua necesaria para un cultivo es afectada por gran cantidad de factores : estado fenológico, condiciones y control climático del invernadero, tipo de sustrato, salinidad del agua de riego, etc**

*Cultivo de tomate en lana de roca en sistema recirculante.*

diciones climáticas, época del año, control climático del invernadero, tipo de sustrato y su contenedor, nivel salino del agua de riego, sobre todo en zonas áridas, etc. (Jensen y Malter, 1995). El grado de transpiración del cultivo es el factor más determinante a la hora de establecer el consumo de agua por parte del cultivo (Stanghellini y Van Meurs, 1989). El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento

de los gastos hídricos previstos para una determinada plantación bajo sistema de hidroponía, dependiendo de sus variables agroclimáticas, parámetro que debería tenerse en cuenta a la hora de estimar la viabilidad económica y medioambiental del cultivo a realizar.

Para este cometido se estiman los consumos netos (volumen de agua evapotranspirado) en diferentes especies hortícolas bajo invernadero en cultivo sin suelo en el Sureste español, considerando factores como calidad del agua de riego, duración del ciclo de cultivo, fecha de transplante, sustrato empleado, densidad de plantación, producción, sistema cerrado o abierto, tipo de invernadero, etc. Estos consumos se ajustan a curvas polinómicas que permiten el cálculo orientativo de los requerimientos hídricos en cualquier momento del ciclo en cultivos bajo similares condiciones.

En sucesivos trabajos se pretende llevar a cabo contribuciones análogas, respecto a los consumos de nitrógeno, fósforo y potasio, elementos que



*Cultivo de tomate en perlita en sistema recirculante.*

**La estimación de las cantidades necesarias de agua y de distintos nutrientes extraídos por distintas plantas a lo largo de su ciclo productivo es el objetivo de los presentes estudios, que se llevan a cabo en la Universidad de Cartagena**

suponen la base de cualquier plan de fertilización. La estimación de la cantidad extraída por parte de la planta a lo largo del ciclo de cultivo, puede contribuir a un mejor ajuste de los programas de fertirrigación de los cultivos, con el objetivo de obtener la mayor productividad y calidad de cosechas al menor coste económico y ambiental.

**XVI** Congresso Brasileiro de Fruticultura  
Brazilian Congress of Fruit Crops

**FRUTAL 2000**

**conacter**

# KOALA

## UNIDAD COMPLETA DE FERTILIZACIÓN

**Todo el sistema de fertirrigación en reducidas dimensiones**

- 24 estaciones de riego control de bomba de agua, limpieza de filtros
- 2 sistemas de fertilización incluidos 400 l/h por tiempo/proporcional/ por C.E.  
1 sistema de inyección de ácido incluido 10 l/h
- Comunicaciones incluidas
- Alarmas (antiheladas, etc...)



FABRICACIÓN DE AUTOMATISMOS

AMGI, S.A.  
BENAVENT, 18  
08028 BARCELONA (SPAIN)  
TEL. +34-93 411 17 84  
FAX: +34-93 411 14 04

Email: [amg@amgia.com](mailto:amg@amgia.com)

WEB: <http://www.amgia.com>

**Cuadro 1:****Ensayos con variedades hortícolas en diferentes zonas climáticas, épocas, aguas de riego y sustratos**

Ensayo	Sustrato	Lugar	Invernadero	Marco (p/m <sup>2</sup> )	P. total (Kg/m <sup>2</sup> )	P. 1 <sup>a</sup> (Kg/m <sup>2</sup> )	Transplante	Ciclo (días)	CE agua (dS/m)
Pepino Alaska	L. roca	Mojonera	Parral	1.5	16	13.5	10-Sep	127	0.90cv.
Pepino Soffa	Perlita	Mojonera	Parral	1.5	9.5	8	3-Oct	120	0.95cv.
Tomate Daniela	Perlita	Mojonera	Parral	2	12	10	15-Sep	167	1.05cv.
Tomate Rambo(I)	L. roca	Mazarrón	Parral	2	16	14	8-Oct	249	2.60cv.
Cantaloup Manta	L. roca	T. Pacheco	Multitúnel sin control climático	2	10	7.5	15-Mar	117	1.20cv.
Cantaloup Talma	L. roca	T. Pacheco	Multitúnel sin control climático	2	9	7	15-Mar	117	1.20cv.
Galia Revigal(I)	Perlita	Mojonera	Parral	2	11	8.5	1-Mar	117	0.90 cv.
Galia cv. Revigal(II)	L. roca	Mazarrón	Parral	2	10	6	15-Feb	146	2.00-3.40
Galia Revigal(III)	L. roca	T. Pacheco	Multitúnel con calefacc. de apoyo	2	11	8	13-Mar	102	1.30cv.
Tomate Durina (I) Sist.recirc.	Arena	Mazarrón	Multitúnel con control climático	2	23	21.2	5-Feb	210	1.30cv.
Tomate Durina(II) Sist.recirc.	L. roca	Mazarrón	Multitúnel con control	2	21	19.5	10-Feb	210	1.30cv.
Tomate Rambo Sist.recirc.(II)	Perlita	Murcia	Multitúnel con calefacc. de apoyo	2.3	19.3	15.2	3-Nov	231	0.5 cv.
Galia Radical Sistema recirculante	Arlita	Murcia	Multitúnel con calefacc. de apoyo	2	8.3	7.8	8-Abr	90	0.5 cv.
Pimiento Cuzco Sist.recirc.	Fibra de coco	Murcia	Multitúnel con calefacc.	2.1	6.5	4.0	24-Mar	104	0.5 cv.
Pimiento cv. Orlando	Fibra de coco	T. Pacheco	Parral	2.5	14.3	12.5	29-Ene	203	0.9-1.2
Tomate cv. Brillante(I) Sist.recirc.	Perlita	Murcia	Multitúnel con calefacc.	2	13.2	12.1	15-Nov	119	0.9-1.5
Tomate cv. Brillante(II) Sist.recirc.	L. roca	Murcia	Multitúnel con calefacc.	2	13.4	12.0	15-Nov	119	0.9-1.5
Tomate cv. 322 Sist.recirc.	Arena	Mazarrón	Multitúnel con control	2	18.4	16.8	14-Oct	253	1.2-1.6

**Material y métodos**

Diferentes plantaciones comerciales bajo hidroponía en invernadero, situadas en distintas zonas del Sureste español, se sometieron al seguimiento del régimen de riegos y drenajes, con

el fin de calibrar, por diferencia de aportes y drenes, los volúmenes evapotraspirados por el cultivo, que suponen el consumo hídrico neto de la plantación. En cada uno de los cultivos se estableció una parcela de ensayo de

aproximadamente 0.5 ha. Todos los ensayos disponían de piquetas de goteo autocompensantes y antidenantes para asegurar la máxima uniformidad en el riego. Asimismo, todos los ensayos controlaban automáticamente la fre-

En los ensayos realizados con distintas especies hortícolas se establecieron los volúmenes de agua evapotranspirados por los cultivos mediante la diferencia de aporte por riego y cantidades drenadas



Bandeja de riego por demanda en un cultivo de tomate en sacos de perlita.

En el riego por demanda, unidades de sustrato con la correspondientes plantas se disponen sobre bandejas de fibra de vidrio. Las plantas accionan el sistema de riego mediante la succión directa de sus raíces

cuencia de los riegos mediante el empleo de una bandeja de riego por demanda, dispositivo que consiste en una bandeja de fibra de vidrio, sobre la que se disponen unidades de sustrato con las correspondientes plantas que, por succión directa de sus raíces, gobiernan la activación del riego al provocar un descenso del nivel de solución acumulada en su parte más baja y dejar abierto un circuito eléctrico habilitado

para tal fin y consistente en una pareja de electrodos de altura regulable. Con este dispositivo se consigue mantener de manera uniforme y constante el porcentaje de drenaje considerado adecuado en función de la calidad del agua de riego y de las necesidades del cultivo, activándose el número de riegos demandados en cada instante en función de la evapotranspiración sufrida, con lo que se ajusta al máximo el aprovecha-

## La vanguardia en goteros autocompensantes



**ADI**  
Integral

**ADI:** Tuberías con gotero integrado autocompensante\*



**ADO:** Gotero autocompensante para pinchar.

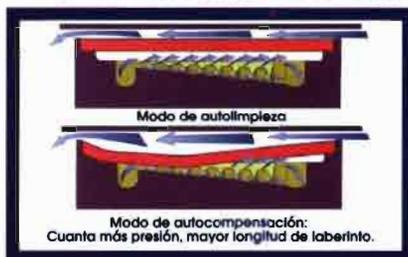


**ADO**  
On line

- Máxima uniformidad (Categoría A).
- Autolimpieza.
- Flujo turbulento.
- Paso crítico 10 veces mayor que otros.

- Mayor superficie de filtración.
- Operativo en altas presiones.
- Rápida entrada en modo de autocompensación.

### GRAN AHORRO DE AGUA. Máxima resistencia a la obturación



## Agro-Systems Consorcios S.A.

Barcelona:  
Prof. Av. Arago, 10,  
Plz. 41-43, P. 1. Santiga  
08210 Barberà del Vallès (Barcelona)  
Tel.: 93 729 44 47  
Fax: 93 729 26 89

Madrid:  
C/ Chile, 10,  
Oficina N.º 34-35,  
28290-LAS MATAS (Madrid)  
Tel.: 91 630 06 53  
Fax: 91 630 37 83

Valencia:  
N-III, Km. 328,  
P. I. El Oliveral, Nave A-4  
46190-RIBARROJA (Valencia)  
Tel.: 96 166 89 23  
Fax: 96 166 89 70

Sevilla:  
P. I. PSA, C/ Brújula, 3  
41927-Matienzo del Aljarafe  
(Sevilla)  
Tel.: 95 418 52 50  
Fax: 95 418 52 42

(\*)Fabricado por:

**AGROMETZER S.A.**  
P. I. Manzanares, Calle "D", pla. R-188  
13200 Manzanares. Ciudad Real.



Tomate en canales rellenos de arena, con sistema recirculante.

**Cuadro 2:**  
**Valores aproximados de radiación mensual media (W/m<sup>2</sup>)**  
**en las zonas de cultivo de Murcia y Almería**

	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Murcia	100	140	180	250	260	290	280	250	180	160	100	90
Almería	110	160	210	290	290	320	310	280	230	180	130	110

miento de los recursos de agua sin provocar en la plantación estrés hídrico alguno, que en este sistema de cultivo repercute sensiblemente en el rendimiento, al tener las raíces un sustrato de volumen limitado.

En cada parcela de ensayo se dispuso un mínimo de cuatro goteros de control, donde diariamente se recogía y medía el volumen de solución nutritiva aportada.

De la misma forma se dispusieron un mínimo de cuatro puntos de recogida de drenajes por parcela, cada uno de los cuales permitía la recogida de los lixiviados provenientes de dos unida-

**La ecuaciones generadas muestran un desarrollo lógico: escaso consumo al comienzo del ciclo; incremento durante el desarrollo y descenso final. Pero su estudio detallado permite predecir las necesidades de riego bajo distintas condiciones y etapas de desarrollo**

des de sustrato. El cálculo del volumen evapotranspirado, al ser despreciables las pérdidas de solución en los puntos de muestreo, se efectuó por diferencia entre lo aportado y lo drenado y referido a una planta.

**Resultados y discusión de los ensayos**

En el cuadro 1 se especifican los datos correspondientes a cada ensayo que deben tenerse en cuenta para establecer medidas comparativas con otros similares a desarrollar y que pueden afectar directamente al consumo hídrico del cultivo, es decir, producción,



# HUMITEC



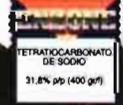
*Enmienda orgánica  
húmica líquida*

Ácidos húmicos procedentes de leonardita americana, con una relación 12/3 en húmicos/fúlvicos

# FITOSANITARIOS



*Cuidamos  
la salud  
de sus cultivos.*


# QUELATEC

*Un quelato  
para cada necesidad*



Mezcla de oligoelementos conteniendo Fe, Cu, Zn, Mn, B y Mo. Su mezcla química permite que cada partícula contenga la misma proporción de oligoelementos: perfecta homogeneidad que garantiza la correcta dosificación.



*Pepino en lana de roca.*

ciclo y zona de cultivo, conductividad eléctrica del agua de riego, tipo de invernadero, etc.

La baja producción del pepino cv. Sofía, es debida a una afección del virus del amarillo que causó importantes pérdidas en la producción final. Los ensayos de tomate con producciones bajas, se debe a que se trata cultivos mantenidos poco tiempo en producción, 2-3 meses. El agua de riego empleada en el ensayo de melón Galia cv. Revigal (II) presentó una CE de 2.00 dS/m los primeros 75 días del ciclo, a partir de entonces se utilizó otro agua de riego más salina de CE 3.40 dS/m, lo que condujo a una productividad menor que en el ensayo de melón cv. Revigal (I). En el cultivo de pimiento cv. Cuzco, un severo ataque del virus TSWV mermó sensiblemente la producción y provocó el levantamiento prematuro de la plantación.

El cuadro 2 muestra valores de radiación mensual media, para las dos zonas donde se han llevado a cabo los ensayos, Murcia y Almería, estos datos son imprescindibles si se quiere realizar algún tipo de comparación con otras zonas de cultivo.

En el cuadro 3 se representa gráficamente la evolución seguida por los volúmenes evapotranspirados acumula-

**Cuadro 3:**  
**Curvas del consumo hídrico acumulado (litros por planta) para cada uno de los ensayos, en función del tiempo en días transcurridos desde el transplante del cultivo (d)**

Ensayo	Curva para el cálculo del consumo hídrico acumulado en función de los días de ciclo transcurridos	Coefficiente de regresión R <sup>2</sup>
Pepino cv. Alaska	$L/planta = -1E-04d^3 + 0.0264d^2 - 0.4047d$	0.9993
Pepino cv. Sofía	$L/planta = -7E-05d^3 + 0.0195d^2 - 0.3380d$	0.9970
Tomate cv. Daniela	$L/planta = -5E-05d^3 + 0.0147d^2 - 0.1821d$	0.9998
Tomate cv. Rambo (I)	$L/planta = -1E-05d^3 + 0.0080d^2 + 0.4711d$	0.9989
Tomate cv. Durina (I)	$L/planta = -2E-05d^3 + 0.0087d^2 - 0.0321d$	0.9989
Tomate cv. Durina (II)	$L/planta = -2E-05d^3 + 0.0084d^2 - 0.0287d$	0.9987
Tomate cv. Rambo (II)	$L/planta = 4E-06d^3 + 0.0031d^2 - 0.1781d$	0.9971
Tomate cv. Brillante (I)	$L/planta = -4E-05d^3 + 0.0068d^2 + 0.2994d$	0.9977
Tomate cv. Brillante (II)	$L/planta = -3E-05d^3 + 0.0046d^2 + 0.4048d$	0.9954
Tomate cv. 322	$L/planta = 8E-07d^3 + 0.0022d^2 + 0.1170d$	0.9980
Cantaloup cv. Manta	$L/planta = -3E-05d^3 + 0.0140d^2 + 0.0390d$	0.9974
Cantaloup cv. Talma	$L/planta = -6E-06d^3 + 0.0129d^2 - 0.2055d$	0.9983
Galia cv. Revigal (I)	$L/planta = -2E-05d^3 + 0.0126d^2 - 0.0062d$	0.9998
Galia cv. Revigal (II)	$L/planta = 6E-06d^3 + 0.0064d^2 - 0.0475d$	0.9992
Galia cv. Revigal (III)	$L/planta = -5E-04d^3 + 0.0831d^2 - 1.7515d$	0.9952
Galia cv. Radical	$L/planta = 1E-04d^3 + 0.0025d^2 + 0.1159d$	0.9988
Pimiento cv. Cuzco Sist. recirc.	$L/planta = -3E-05d^3 + 0.0148d^2 - 0.2447d$	0.9964
Pimiento cv. Orlando	$L/planta = -3E-05d^3 + 0.0147d^2 - 0.3437d$	0.9994

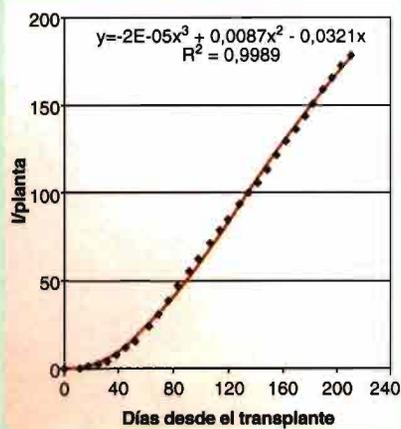
**El coeficiente R<sup>2</sup> describe la capacidad de predicción de las ecuaciones del cuadro 3. Un valor de 1 describe un ajuste perfecto entre el valor predicho y el real**

dos, para cada uno de los ensayos anteriormente especificados. Esta evolución se ha ajustado a curvas polinómicas de tercer grado, que permiten la estimación de los consumos de agua netos de la planta en cualquier día de su ciclo de cultivo.

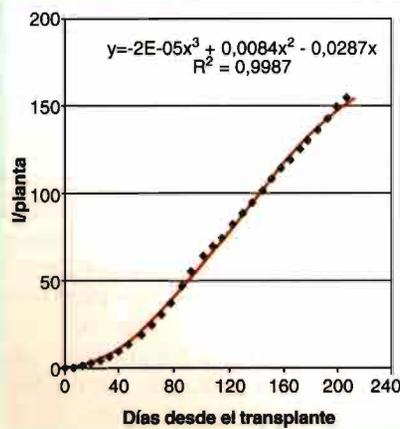
En los ensayos llevados a cabo bajo sistemas recirculantes, no se ha tenido en cuenta la recuperación efectuada de los lixiviados, siendo los valores

## Consumo hídrico acumulado en varias especies hortícolas

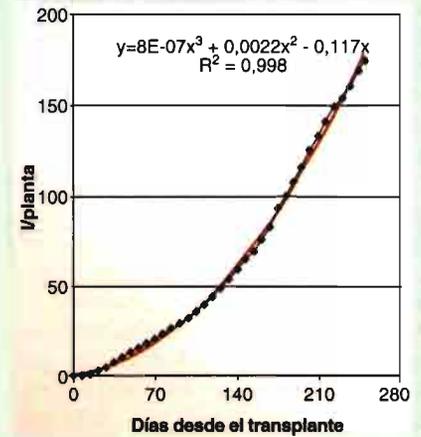
**Gráfica 1:**  
Tomate cv. Durina I



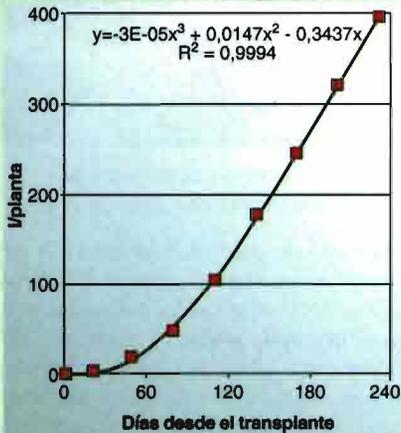
**Gráfica 2:**  
Tomate cv. Durina II



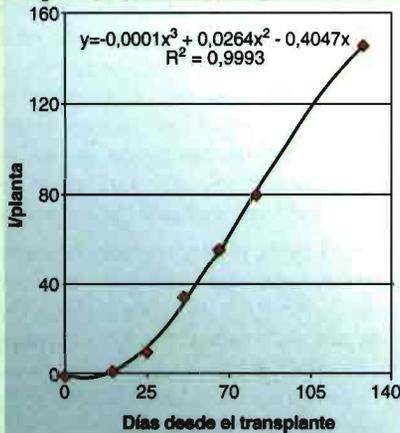
**Gráfica 3:**  
Tomate cv. 332



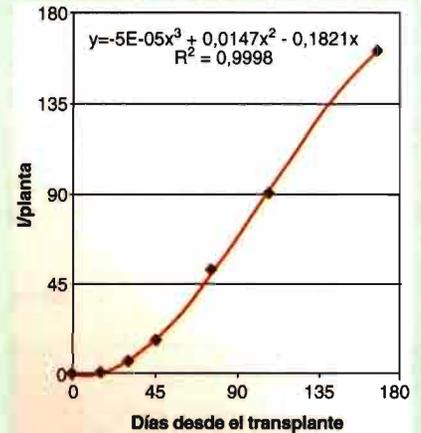
**Gráfica 4:**  
Pimiento cv. Orlando



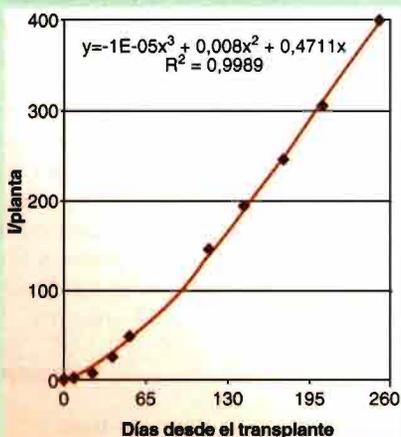
**Gráfica 5:**  
Pepino cv. Alaska



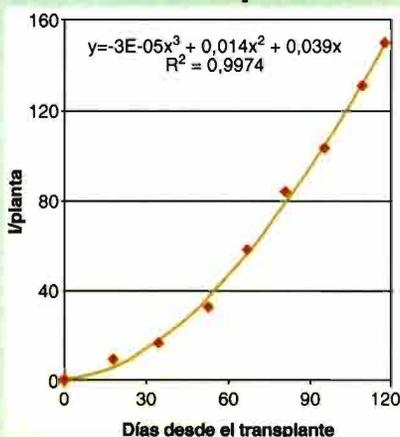
**Gráfica 6:**  
Tomate cv. Daniela



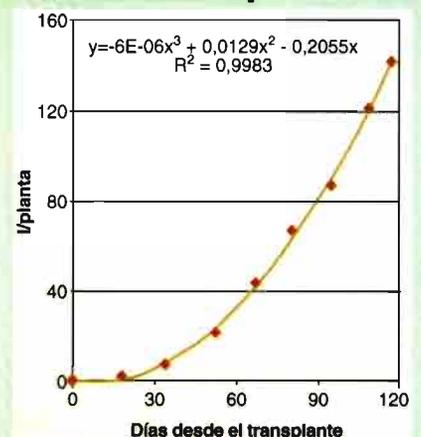
**Gráfica 7:**  
Tomate cv. Rambo I



**Gráfica 8:**  
Melón Cantaloup cv. Manta



**Gráfica 9:**  
Melón Cantaloup cv. Talma



de las gráficas (al igual que el resto de ensayos) el consumo hídrico mantenido por cada una de las plantas objeto de ensayo.

Todas las curvas se han hecho pasar por el origen (sin término independiente) y presentan unos parámetros similares, éstos son (con ciertas excepciones), término cúbico muy bajo y negativo, término cuadrático positivo y término  $x$  negativo y de valor absoluto más elevado que los otros dos.

Esto conlleva a que presenten la siguiente trayectoria general, consumo hídrico prácticamente nulo hasta el asentamiento de las plantas tras el transplante (durante los primeros 15-20 días) y posterior crecimiento que implica un consumo hídrico proporcional al desarrollo del cultivo, con una atenuación final de esta tendencia en los últimos días del ciclo, para alguno de los ensayos efectuados.

Todas las ecuaciones presentan coeficientes de regresión muy próximos a la unidad y pueden utilizarse de modo orientativo para predecir los requerimientos hídricos por parte de cultivos en invernadero bajo hidroponía con similares condiciones agroclimáticas, en cualquier momento de su ciclo de cultivo.

- Alarcón, A. L.; Madrid, E. 1997. Cultivo sin suelo con reciclado de lixiviados. *Horticultura*, 125: 42-47.

- De Graaf, R. 1988. Automation of water supply of glasshouse crops by means of calculating their transpiration and measuring the amount of drainage water. *Acta Horticulturae*, 229: 219-231.

- Jensen, M. H.; Malter, A. J. 1995. Protected Agriculture: A Global Review. World Bank Technical Paper n° 253.

- Stanghellini, C.; Van Meurs, W. T. M. 1989. Crop transpiration: a greenhouse climate control parameter. *Acta Horticulturae*, 254:

## En interés de todos

### Se solicita información de campo

*El profesor Antonio Alarcón, autor de este artículo, investiga los consumos hídricos y de nutrientes en cultivos sin suelo. Para mejorar sus resultados, solicita la colaboración de los productores*

Las tendencias actuales de comercialización han llevado a que la mayor parte de las cosechas en comarcas de producción hortícola intensiva como Murcia y Almería, tengan como destino la exportación. Con esta dinámica de cultivo y mercado global, los productores ya no tienen la competencia en el vecino, sino en productores situados en otras áreas de cultivo situadas en cualquier otra zona del planeta. De esta forma, cualquier hecho que motive un incremento en la productividad y calidad de cosechas de una determinada comarca, redundará en el beneficio de todos los productores de la misma.

En este sentido, es de sobra conocido, el papel que puede desempeñar un correcto ajuste de las necesidades de agua y nutrientes (en cantidad y proporción) a las necesi-



**Pimiento en contenedores de poliestireno con fibra de coco.**

dades de la planta en cada momento de su ciclo de cultivo. Los cultivos sin suelo, que requieren para su correcto manejo un seguimiento exhaustivo del volumen y composición del riego aplicado y el drenaje obtenido, nos brindan una excelente oportunidad para calibrar de forma fehaciente, los consumos o extracciones de agua y nutrientes que tiene nuestro cultivo a lo largo de su ciclo completo. Estos datos podrían ser correctamente tratados para la elaboración de unas estimaciones precisas de agua y nutrientes en función de las variables agroclimáticas disponibles.

Por esta razón, pienso que la recopilación y adecuado tratamiento de los datos de aportes de riego y porcentaje drenado, junto a los análisis químicos de soluciones nutritivas y drenes efectuados a lo largo del cultivo, y una caracterización de las variables agroclimáticas (ver tabla del artículo: cultivo y variedad, sustrato, lugar, tipo de invernadero, marco de plantación, producción, fecha de transplante y de finalización, CE del agua de riego), pueden ser una herramienta inestimable para el ajuste de las necesidades de los cultivos de una determinada comarca, lo que, sin duda, irá en beneficio de todos los productores de la misma. De acuerdo con esto, insto a todo el que pueda estar interesado, a enviarme los referidos datos para elaborar lo que sería una primera fase en la adecuación de los aportes a las necesidades del cultivo a lo largo de su ciclo de desarrollo. Bajo mi dirección de correo electrónico o directamente a la Universidad de Cartagena.

**Antonio L. Alarcón Vera**  
Antonio.Alarcon@upct.es