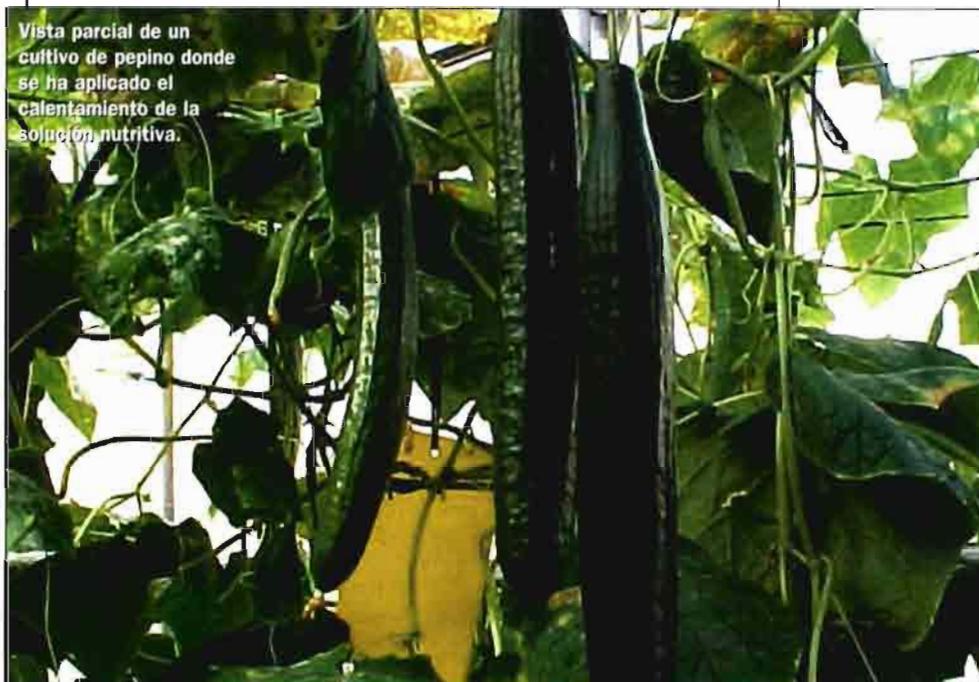


# La calefacción de la disolución nutritiva en cultivos hortícolas

La temperatura radical juega un papel importante en la absorción de agua y nutrientes



Vista parcial de un cultivo de pepino donde se ha aplicado el calentamiento de la solución nutritiva.

El descenso de la producción de cultivos en invernadero se debe, en parte, a la influencia que ejerce la temperatura radical, la cual influye de forma sensible en la absorción mineral, desarrollo y crecimiento de las raíces. Esto, a su vez, repercute en una disminución de la asimilación de nitratos, fósforo o absorción de agua.

M. Urrestarazu<sup>1</sup>, A. Gómez<sup>2</sup>, D.L. Valera<sup>3</sup>, M.C. Salas<sup>1</sup> y P. Mazuela<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Producción Vegetal. Universidad de Almería. España. mgavilan@ual.es

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados. México.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería. España.

<sup>4</sup> Facultad de Agronomía. Universidad de Tarapacá. Chile.

**E**n España se estima que los cultivos hortícolas sin suelo ocupan una superficie de unas 5.000 ha, siendo la distribución por cultivos similar a la que ocupan en los cultivos en suelo tradicional. Por esto, los cultivos de pepino y melón ocupan un lugar importante en la producción hortícola general.

La temperatura de la disolución nutritiva es un factor muy importante en el desarrollo de las plantas en cultivos sin suelo. Los sustratos tienen poca inercia térmica y, en épocas frías, el riego con disolución nutritiva a temperatura ambiente afecta negativamente al desarrollo de la planta. Está demostrado que una correcta temperatura en el ambiente radical mejora de por sí el desarrollo radical y aéreo, el consumo hídrico y la absorción de ciertos nutrientes, lo que implica una mayor producción de biomasa y rendimiento del cultivo.

En Almería, la superficie cultivada de melón en invernadero para la campaña 2000/01 fue de 6.000 ha y la de pepino, cercana a las 4.000 ha, con una producción de 300.000 t y 400.000 t para melón y pepino, respectivamente (Gutiérrez, 2002). Respecto al porcentaje de la producción total hortícola en Almería, el melón obtuvo el 7,46% y el pepino el 12,49%, en tanto que el tomate (30,13%) y el pimiento (20,42%) fueron los de mayor producción (Gutiérrez, 2002).

## Condiciones climáticas de los invernaderos de Almería y efectos sobre los cultivos hortícolas

En general, todas las estructuras son el resultado de una evolución del invernadero tipo parral, el más primitivo. Estas evoluciones se deben al objetivo de incorporar mejoras para optimizar el cumplimiento de la función del invernadero (evacuación de las aguas de lluvia, mayor captación de la radiación, control climático, estanqueidad, etc. (Peña et al., 1999)). La temperatura es un factor determinante de la actividad metabólica, el crecimiento y el desarrollo de los vegetales. Por esto, es necesario que las condiciones climáticas de la zona en la que nos encontramos sean conocidas. En general, en la comarca mediterránea, el control de la temperatura en la horticultura protegida es una constante fuente de preocupación de los agricultores, que se esfuerzan en economizar energía en sus cultivos (La Marfa, 1990).

En el sudeste español, las hortalizas que se cultivan principalmente (tomate, pimiento, pepino, melón, sandía, judía, calabacín y berenjena) están protegidas bajo invernadero de plástico, pues poseen una distribución biogeográfica original correspondiente a latitudes subtropicales, asociadas a regímenes térmicos menos variables y de temperaturas mínimas su-

periores a 12 °C, límite considerado como el mínimo por debajo del cual estas especies ralentizan el crecimiento y presentan síntomas de deterioro. Estas consideraciones ponen en evidencia que en ausencia de control climático, los cultivos que sólo están protegidos con una cubierta de plástico se desarrollan a merced de la climatología local, produciéndose acumulaciones productivas y amplias variaciones en la cantidad y calidad de las cosechas (López et al., 2000). Al mismo tiempo, los cambios de la actividad metabólica, a veces bruscos, propiciados por la evolución medioambiental, inducen un envejecimiento precoz de las plantas y reducen su potencial productivo.

Es necesario determinar cuáles son esas condiciones locales a las que están sujetos los cultivos sin control climático. En invierno la temperatura media de las mínimas se sitúa entre 7 y 9 °C (Montero et al., 1985) con oscilaciones variables entre las diferentes campañas. Además, es importante destacar que en los invernaderos pasivos, es decir, en los que no se lleva a cabo control climático, con frecuencia se produce inversión térmica; esto ocurre especialmente en las noches de cielo despejado, cuando la turbulencia del aire en el interior de las estructuras es prácticamente nula.

Estos valores (7-9 °C) están en el límite superior de la temperatura que origina un daño fisiológico (0-10 °C) considerable en especies hortícolas (Tognoni, 1990). Otros autores, como Verlot (1990), establecen el umbral de las temperaturas mínimas nocturnas entre 15 y 18,5 °C, por debajo del cual se necesitaría incorporación de calor para un adecuado crecimiento y desarrollo de estos cultivos.

En los invernaderos localizados en la zona de Almería, la temperatura del aire refleja valores idóneos en invierno durante el día (hasta unos 25 °C) y valores insuficientes durante la noche, descendiendo de los 10 °C, cerca a veces de la helada. Al principio de primavera y otoño las temperaturas diurnas son elevadas aunque no excesivas, en torno a unos 25-30°C, mientras que las nocturnas se mantienen en torno a los 15°C. En verano y principios de primavera las temperaturas son excesivas, superando los 35-40 °C (Lorenzo et al., 2000).

En el caso de los cultivos desarrollados fuera de temporada, y en invernaderos que no permiten optimizar los factores climáticos, sobre todo luz y temperatura, se observa que las plantas demandan soluciones nutritivas ligeramente distintas a las consideradas como óptimas para períodos climáticos favorables (Salas y Urrestarazu, 2001). En las estaciones de mayor irradiación, y consecuentemente de mayores temperaturas, se utilizan disoluciones nutritivas de conductividades eléctricas más bajas. Esta consigna de manejo del cultivo se invierte en invierno. Similar consideración se debe aplicar a los días nublados en relación a períodos soleados, y viceversa, de días soleados en períodos nublados (Lefebvre, 1987; Urrestarazu, 2000; Salas y Urrestarazu, 2001).

Se debe informar a los agricultores de las carencias en control climático que presentan las actuales estructuras y promover la implantación de mejoras y compra de equipos de climatización, como ya se hizo con los equipos de riego y fertilización. El agricultor debe darse cuenta de que la inversión en sistemas de control ambiental supondrá una mejora de los rendimientos y una disminución de las necesidades de productos fitosanitarios, que actualmente le suponen un gran gasto (Valera et al., 1999).

Sin embargo, a veces, a pesar de las importantes mejoras



Sondas de temperatura "HOB0 Stainless Steel temperature probe" colocadas en un saco de fibra de coco en el gotero (izq. de la foto) y a 20 cm de éste (dcha. de la foto), para controlar el efecto térmico sobre el sustrato cuando se aplica disolución nutritiva calentada.

en la producción que supone el aporte de calefacción en los invernaderos del sudeste español tanto en cultivo en suelo tradicional como en cultivos sin suelo y con diversos medios de calefacción (Lorenzo et al., 1997), y por la razón que Valera et al. (1999) nos indican, son pocos los agricultores que se deciden a incorporar la calefacción en sus instalaciones; quizás una inversión moderada que suponga un paso intermedio a los beneficios del control climático global sea más fácil de incorporar para el agricultor.

## ► Condiciones térmicas en cultivos sin suelo

De forma general, los sustratos presentan una menor inercia térmica que el suelo, por lo que las variaciones que se producen son mayores, pudiendo este factor condicionar la producción (Lorenzo, 2000). La temperatura del sustrato en los cultivos hortícolas es un factor limitante que puede perjudicar el crecimiento de la planta (Cornillon, 1977; Obeid, 1989; Cornillon y Obeid, 1993). La temperatura de los sustratos depende en gran medida de la inercia térmica de los mismos y, según López-Gálvez et al. (1994), viene determinada fundamentalmente por: a) las características del material del sustrato y del material que lo envuelve, b) el volumen del sustrato y c) el agua retenida por el sustrato. En general, menores volúmenes de sustrato y de agua retenida implican una inercia térmica también menor.

A veces, lo importante es el propio reparto de temperaturas en el interior del contenedor de sustrato. Así, por ejemplo, en una tabla saturada de lana de roca, el flujo de fertirriego se extiende más horizontalmente en comparación a una tabla de un contenedor a medio saturar (De Rijck y Schrevens, 1998). Consecuentemente, el reparto de temperatura varía en función de la temperatura del fertirriego.

En algunas ocasiones no es la baja temperatura radical el factor limitante de la producción, sino todo lo contrario, por lo que en verano la refrigeración de la solución nutritiva es un método utilizado para evitar un excesivo calentamiento de la misma. De esta forma, puede evitarse un envejecimiento prematuro de la planta, por lo que esto se puede convertir en uno de los objetivos de riego (Salas y Urrestarazu, 2001).

Niveles elevados de radiación solar vienen a menudo asociados a una temperatura elevada del sustrato. Esto provoca que durante las estaciones más calurosas se den situaciones

**CUADRO I. EFECTO DEL CALENTAMIENTO DE LA DISOLUCIÓN NUTRITIVA (C) SOBRE LA SUPERFICIE FOLIAR (cm<sup>2</sup>), LA ABSORCIÓN DE FERTIRRIEGO (L) Y NUTRIENTES (G) POR PLANTA DE TOMATE CON DIEZ SEMANAS DE TRATAMIENTO**

Temperatura	Superficie foliar	Agua	N	P	K	Ca	Mg
14	420	46	7,5	2,0	13,3	4,4	0,81
18	535	53	8,7	2,5	14,4	5,5	0,87
22	563	57	8,6	3,0	14,6	5,9	1,00
26	670	65	9,3	3,3	16,1	6,4	0,99

Fuente: Adams, 1989.

de estrés como, por ejemplo, déficit de oxígeno en la disolución nutritiva o un elevado nivel de salinidad. En nuestras condiciones, y cuando el escaso desarrollo foliar del cultivo no frena la incidencia de la radiación solar a nivel del sustrato, la temperatura del mismo puede alcanzar valores superiores a los 30 °C.

Esto puede llegar a provocar déficit de oxígeno en la rizosfera, debido a la demanda de oxígeno, asociada con la respiración de mantenimiento de las raíces, la cual dobla su ritmo cuando la temperatura de la solución aumenta 10°C (González-Real, 1997). El aumento de la temperatura modifica el déficit de oxígeno de la disolución, alterando la actividad radical, de manera que uno de los objetivos del riego será disminuir la temperatura favoreciendo la disponibilidad de oxígeno. Por el contrario, en el caso de bajas temperaturas en el ambiente radical, se podrá utilizar disolución nutritiva calentada para incrementar la temperatura del medio radical (Salas y Urrestazu, 2001).

## ► Efecto de la temperatura radical

### Sobre la planta

Se ha descrito cómo los efectos de las bajas temperaturas en las raíces reducen no sólo el crecimiento de éstas sino también el del vástago (Locascio y Davis, 1960; Martín y Wilcox, 1963; Grobbelaar, 1963; Walker, 1969; Cooper, 1973; Barlow et al., 1976; Bowen, 1991; Dieleman et al., 1998).

Cornillon y Fellahi (1993) encuentran un importante incremento en la producción de materia seca total sintetizada en un cultivo de tomate, así como en sus tallos y hojas, cuando la temperatura radical pasa de 10 a 20 °C. Este efecto se ha constatado también en otros cultivos, como en melón (Corni-

llon y Obeid, 1993). También, para el caso del melón, Obeid (1989) afirma que la temperatura umbral para el desarrollo está cercana a los 18 °C, datos coincidentes con el mismo trabajo de Cornillon y Obeid (1993), que encuentra una clara curva donde el máximo de producción de materia seca total está en los 18 °C con descenso a los 10 °C y a los 25 °C. Sin embargo, algunos autores como Moss (1983), en plantas de tomate y con sistema NFT (nutrient film technique) en regiones muy frías, había registrado escaso efecto sobre el crecimiento cuando calentaba la disolución nutritiva.

Para el caso del pepino, el peso seco y el área foliar de las plantas de pepino, se reduce a la mitad cuando la temperatura baja de 20 a 15 °C. Las raíces de plantas de pepino disminuyen cuando el sistema radical se mantiene a 6 °C durante ocho días. Así, las plantas sobreviven aunque a razón de un reducido crecimiento en peso seco y área foliar cuando la temperatura se reduce de 15 °C a 12 °C. Por lo que una temperatura de la raíz crítica se situaría alrededor de 15 °C (Tachinaba, 1987). Para el caso de la superficie foliar en plantas hortícolas como el tomate también se ha visto el claro efecto de la temperatura radical, así podemos ver investigaciones como la de Adams en 1989 que establecen una clara correlación entre la temperatura y la superficie foliar (**cuadro I**).

El contenido foliar de nutrientes en hoja (%) también se incrementa hasta unos 22 °C, mientras que a partir de ésta la tendencia es a disminuir (Adams, 2002). En 1987 investigadores como Papadopoulos y Tiesen encontraron escasas diferencias en las concentraciones en hojas de diversos nutrientes en plantas de tomate sometidas a intervalos de temperatura radical entre 21 y 27°C; sin embargo, Adams (1989) describe importantes diferencias en el contenido de nutrientes en hojas en función de la temperatura radical entre 22 y 26 °C, aumentando los contenidos porcentuales de N, P y K, mientras tiene poco efecto en el de Ca o Mg. De cualquier manera, como el mismo Adams (2002) explica, existe una diferencia entre la absorción de los nutrientes y su presencia en hojas, ya que tenemos que considerar otros condicionantes interrelacionados como el peso de la hoja y su relación con la cantidad del nutriente.

En relación a la producción, en condiciones muy concretas en las investigaciones de Moss (1983) antes descritas, parece que se aumenta la producción en las plantas que se calentaban en un 13-16% a 25 °C en relación a las que no se calentaban la raíz, aunque, como ya se vio, no afectó al crecimiento vegetativo.

En un estudio recientemente realizado en un invernadero en la comarca de Almería, se observa que el calentamiento de la disolución nutritiva afecta positivamente la producción precoz en melón, según se indica en el **cuadro II**.

En general, se puede afirmar que las temperaturas por debajo de los 15 °C en los cultivos hortícolas reducen el crecimiento y tienen un considerable efec-

**CUADRO II. PRODUCCIÓN COMERCIAL, PRECOZ Y TOTAL DE DOS CULTIVOS CON CALENTAMIENTO DE LA DISOLUCIÓN NUTRITIVA, CONSIDERANDO DOS AÑOS CONSECUTIVOS (KG/PLANTA).**

	Precoz								Total							
	Lana de roca				Fibra de coco				Lana de roca				Fibra de coco			
	Pepino		Melón		Pepino		Melón		Pepino		Melón		Pepino		Melón	
	2000	2001	2001	2002	2000	2001	2001	2002	2000	2001	2001	2002	2000	2001	2001	2002
T0	1,82	5,17	0,99	1,18	4,16	5,45	1,76	1,50	6,33	8,09	4,58	5,44	11,99	8,48	5,13	6,26
T1	1,80	5,09	1,98	1,14	4,14	4,49	1,63	0,69	7,12	7,59	5,01	5,33	12,10	7,58	5,67	6,35
T2	1,24	5,58	2,38	2,35	3,45	6,13	1,05	0,81	5,67	8,17	5,33	6,72	10,31	8,91	4,98	6,26
DSM <sub>0,10</sub>			1,24	0,99		1,57										
DSM <sub>0,05</sub>																

Disolución nutritiva testigo (T0). a 12-16°C (T1) y a 22-26°C (T2). DSM: Diferencia significativa mínima.  
Fuente: Gómez, 2003.

**ABONOS ESTABILIZADOS**

NITRÓGENO

**ENTE<sup>®</sup>TEC**

ECOLOGÍA

TECNOLOGÍA

**LA ÚLTIMA TECNOLOGÍA  
PARA UNA FERTIRRIGACIÓN MÁS EFICAZ**

**ENTE<sup>®</sup>TEC** es una gama de abonos solubles y líquidos con la tecnología más avanzada en fertirrigación que permite aportar nitrógeno estabilizado. Los abonos **ENTE<sup>®</sup>TEC** contienen un inhibidor de la nitrificación, el DMPP\*, desarrollado por BASF, que asegura la estabilidad del nitrógeno en el suelo en una forma absorbible por la planta. De este modo, **ENTE<sup>®</sup>TEC** permite un mejor aprovechamiento del nitrógeno en fertirrigación aumentando el rendimiento de los cultivos y la calidad de las cosechas, reduciendo al mismo tiempo, la contaminación por nitratos.

\*Autorizado por el M.A.P.A. según orden del 02/11/99

Abonos solubles:

**ENTE<sup>®</sup>TEC Solub 21**  
**ENTE<sup>®</sup>TEC Solub 14-48**  
**ENTE<sup>®</sup>TEC Solub 16-10-17**  
**ENTE<sup>®</sup>TEC Solub 20-5-10**  
**ENTE<sup>®</sup>TEC Solub 14-8-30**

Abonos líquidos:

**ENTE<sup>®</sup>TEC Fluid 20**  
**ENTE<sup>®</sup>TEC Fluid 25**  
**ENTE<sup>®</sup>TEC Fluid 5-3-7**  
**ENTE<sup>®</sup>TEC Fluid 10-3-5**

Tecnología **BASF**

Expertos en nutrición vegetal

**COMPO Agricultura**  
Joan d'Austria, 39-47  
08005 Barcelona  
Tel. 93 224 72 22  
Fax 93 221 41 93



[www.compo.es](http://www.compo.es)

to sobre la producción (Adams, 2002).

De cualquier manera, existe una gran información sobre el efecto en la producción bajo diferentes regímenes de temperatura aérea día-noche, tanto en otras regiones no europeas (Peet y Bartholemew, 1996; Willits y Peet, 1998) como en nuestras localidades (Lorenzo et al., 2000). Sin embargo, existe poca información sobre la producción y sus parámetros de calidad de plantas hortícolas cuando se calienta sólo el ambiente radical.

La influencia de la temperatura radical sobre el incremento de la producción se debe a dos razones básicas interrelacionadas: un aumento directo sobre la producción de biomasa, al no estar limitada la temperatura de desarrollo, y una mejor absorción y disponibilidad de determinados nutrientes que más adelante se indica.

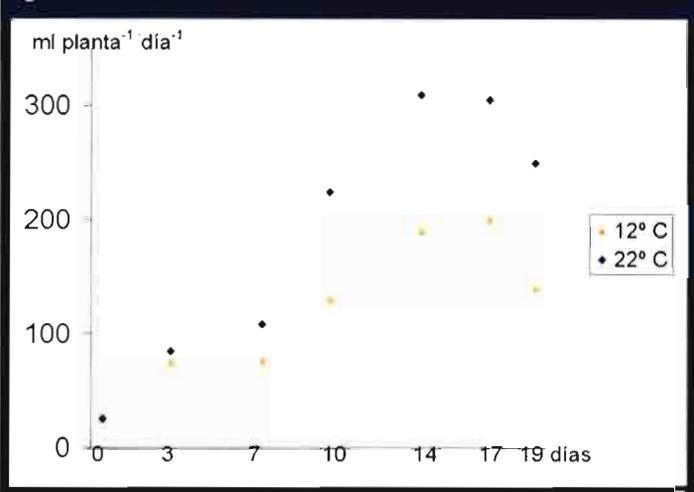
### Sobre el uso del agua y su eficiencia

El efecto incremento de la temperatura radical sobre el aumento de la absorción de agua en plantas hortícolas es conocido desde antiguo (Cornillon, 1977; Cornillon, 1980; Adams, 1989). Adams (1989) mostró un incremento continuo en la absorción de agua en un cultivo de tomate mientras las temperaturas radicales variaban entre los 14 y los 26 °C. Similar comportamiento había observado Cornillon en 1977 (figura 1) y que también registraron Ali et al. (1994), así como para el pepino Daskalaki y Burrage (1998), según se observa en el cuadro III.

A veces la temperatura radical se ve implicada en otras correlaciones claras. Por ejemplo, se sabe que la absorción mineral y el consumo de agua están generalmente vinculados. No obstante, bajo condiciones de estrés, la absorción de minerales se muestra claramente desvinculada del consumo de agua, sugiriendo que ambos procesos no están influenciados con

**FIGURA 1.**

Influencia de la temperatura radical sobre la absorción de agua en tomate.



igual intensidad por las condiciones medioambientales. Para niveles de consumo de agua bajos (menos de 12 l · planta<sup>-1</sup> · mes<sup>-1</sup>, Duchein et al., 1994), existe una clara relación lineal entre la absorción de agua y de macroelementos. Sin embargo, esta relación no se mantiene para valores elevados de absorción de agua, es decir, a niveles superiores a 12 l · planta<sup>-1</sup> · mes<sup>-1</sup> la absorción de elementos minerales disminuye de manera sensible (excepto para el fósforo), indicando que la absorción mineral está más negativamente afectada por otros factores como la temperatura del sustrato que por la absorción de agua (Pardossi et al., 1992; Duchein et al., 1994).

En relación a la eficiencia del uso del agua cuando se aplica el calentamiento del aparato radical, existen pocos resultados publicados. En un cultivo de pepino, Daskalaki y Burrage (1998) encuentra una clara correlación entre un eficiente uso del agua en la producción de peso seco y la temperatura radical. En el cuadro IV se indican los resultados obtenidos por Gómez (2003), donde la eficiencia del uso de agua para la lana de roca y fibra de coco no se vio afectada por el calentamiento de la disolución nutritiva.

### Sobre la absorción mineral

También se conoce desde hace mucho tiempo el efecto que la temperatura radical juega sobre la absorción mineral (Loscascio y Warren, 1960; Martin y Wilcox, 1963), habiendo sido ampliamente comprobado hasta la actualidad tanto en cultivos extensivos (Engels y Marschner, 1990; Engels et al., 1992; Engels, 1993) como en hortícolas (Adams, 2002).

Para el caso del P, al aumentar la temperatura de 14 a 18°C en las raíces se incrementa un 25% la absorción de P, mientras que si lo hacemos de 18 a 26 °C, ésta sube hasta un 32% (Adams, 1980). También Cornillon y Kung (1981) y Ali et al. (1994) en tomate encontraron similares incrementos de absorción de P al aumentar la temperatura radical. En el cultivo del melón (Cornillon y Obeid, 1993) se ha visto una tendencia similar; este trabajo también muestra cómo a baja temperatura, una mayor disponibilidad de P no implica una mayor absorción del mismo. Este último comentario podría contrastar con la sugerencia hecha por Ali et al. (1994) recomendando una

**CUADRO III. CONSUMO HÍDRICO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL MEDIO RADICAL**

Especie	Referencia	T (°C)	l·planta <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup>
Tomate	Cornillon (1987)	12	0,96
		15	2,06
		18	2,45
		30	2,34
Pepino	Daskalaki y Burrage (1998)	12	1,79
		20	3,83
		28	5,48
		36	5,06

**CUADRO IV. EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA (L CONSUMIDOS/KG PRODUCIDOS) POR EFECTO DEL CALENTAMIENTO DE LA DISOLUCIÓN NUTRITIVA EN CULTIVO DE PEPINO (CUCUMIS SATIVUS L. CV ALBATROS) Y MELÓN (CUCUMIS MELO L. CV ARAVA) DURANTE DOS AÑOS CONSECUTIVOS.**

	Lana de roca				Fibra de coco			
	Pepino		Melón		Pepino		Melón	
	2000	2001	2001	2002	2000	2001	2001	2002
T0	23,14	9,19	56,23	17,70	14,99	7,49	51,14	16,31
T1	21,15	9,25	50,03	16,83	14,42	10,20	50,57	13,85
T2	27,29	9,30	50,08	13,24	17,43	8,13	59,28	1356

Disolución nutritiva testigo (T0), a 12-16°C (T1) y a 22-26°C (T2). DSM: Diferencia significativa mínima.  
Fuente: Gómez, 2003.

## FERTIRRIGACIÓN dossier

alta concentración de K para que pueda competir en su entrada a las raíces que se ve limitada a bajas temperaturas como abajo se expone.

Se han descrito muchas otras correlaciones entre la absorción de diversos elementos nutritivos de los cultivos en relación con la temperatura radical, aunque en diferentes grados. Así, para el cultivo de tomate, el N (como NO<sub>3</sub>-) ve incrementada su absorción (Adams, 1989; Ali et al., 1994), también lo hacen en tomate K, Ca y Mg (Adams, 1989; Cornillon y Fellali, 1993; Ali et al., 1994). De igual forma, también encuentra un claro aumento en la absorción de N, P, K, Ca y Mg para pepino al aumentar la temperatura radical de las raíces. Gómez (2003) observa igual tendencia en lana de roca, según se observa en el **cuadro V**, aunque, en este caso, la absorción del Mg disminuye al aumentar la temperatura radical.

Para otros iones importantes en la nutrición mineral o por su participación en la C.E. de la disolución nutritiva, también se han descrito variaciones significativas en su absorción en función de la temperatura radical, aunque no siempre en el mismo sentido. Así, por ejemplo, Ali et al. (1994) registran una disminución de la absorción de Na y SO<sub>4</sub> con el aumento de la temperatura, en contraste con la disminución de Cl. Sin embargo, esto podría ser debido también a que estos elementos juegan además un importante papel en la regulación osmótica y los equilibrios aniones cationes tanto en la regulación de las entradas por absorción como en los fluidos corporales de la planta.



De forma general, podemos asumir, como sugieren Adams y Massey (1984), que cuando la temperatura es más o menos óptima, entre 20–25 °C (hasta los 30 °C según el caso), parece que se incrementa fuertemente esta absorción respecto a otra subóptima y no existe una gran fluctuación en su influencia dentro de estos márgenes. En cambio, por encima de ellos no se permite un buen desarrollo de las plantas en cultivos hidropónicos, provocando algunos efectos no deseados como la subida a flor en los cultivos de lechuga o simplemente un des-



Tomates

# Los Preferidos por los Agricultores



**Birloque**  Resistencia a:  
V<sub>1</sub>/F<sub>1</sub>Y F<sub>2</sub>/TYLCV



**Trinity**  Resistencia a:  
ToMV / V<sub>1</sub>/F<sub>1</sub>Y F<sub>2</sub>/N / TYLCV

Oficina Central Barcelona: 935 723 066

**Seminis**

**CUADRO V. INCORPORACIÓN DE IONES (MMOLC-M-2) EN CULTIVO DE PEPINO (CUCUMIS SATIVUS L. CV ALBATROS) Y MELÓN (CUCUMIS MELO L. CV ARAVA) DURANTE DOS AÑOS CONSECUTIVOS, EN LANA DE ROCA.**

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
<b>Pepino 2000</b>								
T0	1897	197	238	141	683	1048	482	61
T1	1984	190	225	132	896	1080	483	61
T2	2025	198	243	161	838	1088	487	60
DSM <sub>0,05</sub>				19	120			
DSM <sub>0,01</sub>				29	181			
<b>Melón 2001</b>								
T0	3085	478	329	583	1387	2580	1308	105
T1	3193	441	359	565	1408	2514	1216	105
T2	3208	536	398	568	1488	2551	1101	104
DSM <sub>0,05</sub>							109	
DSM <sub>0,01</sub>							165	
<b>Pepino 2001</b>								
T0	1307	108	165	121	785	795	423	43
T1	1528	138	176	169	805	780	407	43
T2	1606	137	163	157	735	740	371	43
DSM <sub>0,05</sub>		29						
DSM <sub>0,01</sub>								
<b>Melón 2002</b>								
T0	2254	256	342	557	1345	2158	1076	98
T1	2738	277	353	547	1412	2125	1019	96
T2	2757	349	336	510	1409	2127	957	96
DSM <sub>0,05</sub>	306						97	
DSM <sub>0,01</sub>	464							

Disolución nutritiva testigo (T0), a 12-16°C (T1) y a 22-26°C (T2).  
DSM: Diferencia significativa mínima.  
Fuente: Gómez, 2003.

censo de la producción provocado por múltiples razones, entre las que destacamos la disminución del oxígeno disponible.

A modo de resumen, la correlación con el descenso de la producción se debe a que la temperatura radical influye de manera sensible en la absorción mineral, desarrollo y crecimiento de las raíces (Cooper, 1973), atribuyéndosele a la disminución en la asimilación de nitratos (Ganmore y Kafkafi, 1980), de fósforo (Hurewits, 1984) o absorción de agua (Kramer, 1949). El nivel óptimo de absorción durante el día se sitúa a 25°C (Le Bot, 1991). El consumo de agua sufre una reducción drástica

**CUADRO VI. EMISIÓN AL MEDIO DE NITRATOS Y FOSFATOS (MMOLC) POR KG DE FRUTO EN CULTIVO DE PEPINO (CUCUMIS SATIVUS L. CV ALBATROS) Y MELÓN (CUCUMIS MELO L. CV ARAVA) DURANTE DOS AÑOS CONSECUTIVOS.**

	Lana de roca				Fibra de coco			
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub>		H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
<b>Pepino</b>								
T0	259,4	219,8	18,72	15,22	140,3	144,1	14,78	12,75
T1	222,7	218,1	18,04	11,42	123,0	180,8	13,71	16,73
T2	269,8	191,1	20,97	10,59	139,0	154,7	14,33	13,35
DSM <sub>0,05</sub>				3,65				
<b>Melón</b>								
T0	606,0	436,0	66,48	56,21	395,6	412,7	43,58	37,82
T1	479,0	416,2	51,32	53,02	352,2	447,5	39,48	36,34
T2	386,3	344,2	37,88	30,06	377,7	361,6	42,20	38,67
DSM <sub>0,05</sub>				17,63				

Disolución nutritiva testigo (T0), a 12-16°C (T1) y a 22-26°C (T2). DSM: Diferencia significativa mínima.  
Fuente: Gómez, 2003.

al bajar la temperatura radical por debajo de 15°C para tomate y de 20 °C para pepino; evidentemente, al disminuir el consumo de agua, disminuye la producción.

A efectos prácticos, parece que la temperatura radical juega un importante papel tanto en la absorción de agua como de nutrientes. Pero tal vez, según describe Adams (2002), sea el P el más sensible de los nutrientes a la temperatura radical. Por lo que no parece conveniente reducir la temperatura radical por debajo de los 15 °C para los cultivos hortícolas; aquí debemos considerar que un aumento de la concentración parece no ser una solución, como arriba se sugirió.

**Sobre el medio ambiente**

Pese a la escasa información respecto a la emisión de contaminantes en función al calentamiento que se hace del aparato radical, podemos asumir en buena medida que una mejor absorción de nutrientes, especialmente de los nitratos y los fosfatos, disminuye la presencia de éstos en los drenajes y, consecuentemente, las emisiones al medio, que llegan a ser un componente importante y no deseable en los cultivos sin suelo (Uronen, 1994; García y Urrestarazu, 1999, Salas y Urrestarazu, 2001).

Según se indica en el **cuadro VI**, podemos considerar que no existe ninguna tendencia generalizada en el efecto de la contaminación que se genera por unidad de producción; sin embargo, se puede ver una clara disminución de la unidad de impacto por producción para la lana de roca en los dos cultivos del segundo año cuando se aplica el calentamiento en la disolución nutritiva.

**Sistemas de calefacción**

Los efectos de una baja temperatura sobre el cultivo, ya sea en el ambiente aéreo o radical, como se ha visto en los apartados anteriores, son importantes. Los sistemas de aporte de calor son una respuesta a estos problemas, pero son muy diversos y conviene estudiarlos.

El diseño de un sistema de calefacción tiene que procurar que el aporte de calor sea, además de eficaz, eficiente. El calor se debe distribuir de manera uniforme, minimizando los gradientes térmicos, tanto los verticales como los horizontales.

Conociendo las pérdidas de calor del invernadero y el salto térmico (temperatura del invernadero-temperatura del exterior) a cubrir, podemos calcular la potencia a instalar. Para evitar sobredimensionar el sistema durante gran parte del período de funcionamiento, se suele tomar como temperatura de diseño la media de las mínimas para el período más frío de una serie histórica de años; en función de nuestras exigencias, ese período puede ser mensual, quincenal o incluso de un día.

Las mayores pérdidas de calor en el invernadero se producen a través de las paredes y techo, las cuales dependen de las propiedades del material de cubierta (coeficiente de transmisión de claro) y de las pérdidas por infiltración (López et al., 2000) estrechamente ligadas al tipo de estructura del invernadero, a la fijación del material de cubierta y al mantenimiento del mismo (uniones, roturas, degradación del material, etc.).

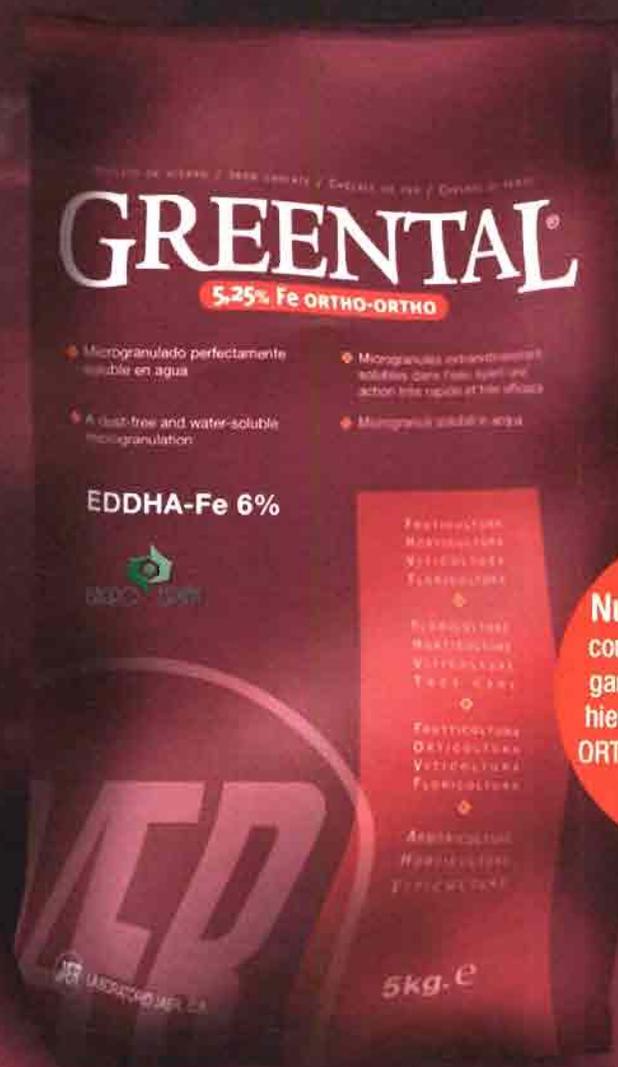
Según utilicen una o varias de las formas en que el calor se puede transferir (convección, conducción y radiación), podemos clasificar los sistemas como:

- Sistemas de calefacción de tipo convectivo.
- Sistemas de calefacción por conducción.

# GREENTAL®

QUELATO DE HIERRO Fe - EDDHA 6%

Ahora con **5,25%** de Fe ORTO-ORTO



Nueva formulación con un contenido mínimo garantizado de 5,25% de hierro quelatado en forma ORTO-ORTO. EDDHA según legislación vigente

*Para que no tenga dudas*

*Líderes por naturaleza*



**ISAGRO ESPAÑA, S.L.**

Maldonado, 63, C 2º 28006 Madrid  
Tel. 91 402 30 40 - Fax. 91 401 30 59

- Sistemas de calefacción por convección y radiación.

Los sistemas de calefacción por agua caliente permiten distribuir el calor de forma uniforme, siendo más eficientes que los sistemas por aire. No obstante, mediante tuberías perforadas, que aproximan el calor a la planta, los sistemas de calefacción por aire de combustión indirecta han mostrado una eficiencia similar a los sistemas por agua caliente a baja temperatura, siendo el sistema más barato el aire caliente de combustión directa. También es el sistema más arriesgado al incorporar los gases de la combustión dentro del invernadero, especialmente cuando el número de horas de funcionamiento en continuo del sistema es elevado. Este problema se puede acentuar en invernaderos herméticos (típico arco). El coste de instalación para los sistemas de calefacción por agua caliente se reduce a medida que aumenta la superficie calefactada, al compartir ciertos elementos (caldera, reguladores, etc.), hecho que no ocurre con los sistemas por aire caliente (López et al., 2000).

### Sistemas de calefacción de tipo convectivo

El elemento conductor del calor es el aire; debido a su poca inercia, proporcionan un aumento rápido de la temperatura del aire, enfriándose de igual forma al dejar de actuar. Generan importantes gradientes térmicos y pérdidas de calor al ir localizados sobre el cultivo, aunque se puede mejorar la distribución del calor y aumentar la eficiencia del sistema colocando tubos perforados próximos a las plantas.

El coste de la instalación es inferior a los sistemas por agua caliente, aunque la vida útil del sistema también es más corta (López et al., 2000).

Los sistemas convectivos más utilizados son: aerotermos, generadores de aire caliente de combustión indirecta y generadores de aire caliente de combustión directa:

- Aerotermos: prácticamente no se instalan en Almería.
- Generadores de aire caliente por combustión indirecta: mediante un cambiador de calor se separan los gases de combustión expulsándolos al exterior, introduciendo al invernadero sólo el aire caliente. Su rendimiento es del 80-90%.
- Generadores de aire caliente de combustión directa: el aire caliente y los gases de combustión son incorporados al invernadero. El combustible empleado debe contener el menor número posible de elementos tóxicos, siendo el propano y el gas natural los más recomendados. Su rendimiento es del 100% (López et al., 2000).

### Sistemas de calefacción por conducción

Estos sistemas están diseñados para proporcionar una temperatura adecuada en la zona radical. Desde el punto de vista físico, uno de los objetivos de la calefacción del suelo es utilizar, indirectamente, la superficie de intercambio con el aire que ofrece el suelo del invernadero, ya que ésta es superior a la de los sistemas de calefacción aéreos. Desde una caldera central se aporta calor al suelo a través de tuberías enterradas, circulando el agua a temperatura inferior a 40 °C; la distribución del calor es uniforme y proporciona mayor eficiencia que los sistemas por aire caliente (López et al., 2000).

El elevado coste inicial y la dificultad para realizar labores en el suelo (las tuberías van enterradas a menos de 50 cm), han limitado el desarrollo de estos sistemas.

En los cultivos sin suelo, debido a su baja inercia térmica, la temperatura en la zona radical se aproxima a la temperatura

del aire, pudiendo en períodos fríos limitar el desarrollo de los cultivos.

### Sistemas de calefacción por convección y radiación

La transferencia de calor se realiza a través de tuberías aéreas o dispuestas sobre el medio de cultivo, por donde circula agua caliente, pudiendo trabajar a alta temperatura (hasta 90 °C) o a baja temperatura (entre 30 y 50 °C) (López et al., 2000).

Estos sistemas modifican la temperatura del aire, al calentarse por convección al contacto con los tubos, y la de los objetos (suelo, planta, cubierta, etc.) que se encuentran alrededor, por intercambio radiactivo. La distribución del calor es más uniforme que en los sistemas por aire, al mantener unos gradientes térmicos bajos. Como inconveniente tiene que sus costes de instalación son elevados. ■

## CONCLUSIONES

Se puede decir que los efectos en la calefacción de la disolución nutritiva dependen del agrosistema y especialmente del sustrato utilizado, observándose un efecto positivo en lana de roca. También dependen del cultivar, mostrándose en general más útil para nuestros ciclos de cultivo en el caso del melón en comparación con el pepino, según los estudios realizados en invernaderos de la comarca de Almería. En este mismo estudio, la producción total comercial del melón y su precocidad con el calentamiento de la disolución nutritiva usando lana de roca puede mejorarse por encima del 15% en el tratamiento de calentamiento de la disolución nutritiva hasta 22-24 °C. Sobre los parámetros de calidad de la producción no se produce ningún efecto, tanto para la lana de roca como para la fibra de coco, ni tampoco para los cultivos de melón y pepino.

Respecto a la absorción de nutrientes, la absorción de iones como nitratos y fosfatos se vieron favorecidas por el calentamiento de la disolución nutritiva en la lana de roca, desde el calentamiento 12-16 °C.

Sobre el medio ambiente y contaminación en función de la productividad, se puede indicar que los tratamientos de calentamiento de la disolución en lana de roca pueden reducir las emisiones de fosfatos aproximadamente en un 30% en pepino y melón. Al calentar la disolución nutritiva de la lana de roca, se reduce la cantidad de fosfato (hasta el 40%) emitido por cada kg de fruto producido para el caso del melón desde el tratamiento calentado a 12-16 °C. ■

## Bibliografía

- Adams, P. 1980. Nutrient uptake by cucumbers from recirculating solution. *Acta Horticulturae* 98: 119-126.
- Adams, P. 1989. Some responses of tomato grown in NFT to sodium chloride. En: *Proceeding 7th Internat. Congr. Soilless Cultiv., Flevohof 1988. ISOSC, Wageningen, Países Bajos*, pp. 56-71.
- Adams, P. 2002. Nutritional Control in Hydroponics; *Hydroponic production of vegetables and ornamentals* Editors Sawas D. y H. Passam. Ed. Ebyro, Atenas, Grecia, pp. 211-262.
- Adams, P.; Massey, D.M. 1984. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions. *Proceedings ISOSC* pp. 71-79.
- Ali, I.A.; Kafkafi, U.; Sugimoto, Y.; Inanaza, S. 1994. Repose of sand-grown tomato supplied with varying ratios of nitrate/ammonium to constant and variable root temperatures. *Journal of Plant Nutrition* 17, (11), 2001-2004.
- Barlow, E.W.R.; Boersma, L.; Young, J.L. 1976. Root temperature and soil water potential effects on growth and soluble carbohydrate concentrations of corn seedlings. *Crop Sci.* 16, 59-62.
- Bowen, G.D. 1991. Soil temperature, root growth, and plant function. En: *Plant Roots, the Hidden Half*. Ed. Y. Waisel, A. Eshel, U. Kafkafi. Marcel Dekker, New York, pp. 309-330.

Además de estos títulos existe una amplia relación bibliográfica en nuestra redacción a disposición de los lectores.