

# Fertirrigación del cultivo de tomate sobre sustratos

La composición de las soluciones nutritivas depende de diversos factores como el sustrato, el contenedor o la variedad

La solución nutritiva se compone de una disolución acuosa que contiene los nutrientes esenciales para las plantas y queda caracterizada por tres parámetros: pH, concentración salina y equilibrio iónico. Vigilando, además, la luz y la temperatura podemos conseguir que las plantas crezcan como si el sustrato se tratara del suelo más fértil.

## Consuelo Pellicer.

Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (CIDA)  
Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Murcia.



Foto 1. Cultivo de tomate (variedad Brillante) sobre sustrato perlita.

Los cultivos sobre sustratos son aquellos en los que la planta desarrolla su sistema radicular en un medio sólido distinto del suelo, confinada en un espacio limitado y aislado. Los sustratos, sean orgánicos (fibra de coco, turba, etc.) o inorgánicos (arena, perlita, lana de roca, etc.), son el soporte mecánico de las plantas que permite la absorción de agua, aire y elementos nutrientes. Actualmente en España existen alrededor de 5.000 ha de superficie de cultivos sobre sustratos. Un elevado porcentaje de esta superficie está dedicado al cultivo de tomate, debido a su gran demanda y elevado potencial productivo.

Para los cultivos sobre sustratos, uno de los principales factores que determinan la productividad de los mismos es la fertirrigación y su control. En éstos, el aporte de todos los macro y microelementos necesarios para el buen desarrollo de la planta será suministrado únicamente por la solución nutritiva circulante. El agricultor ha de garantizar que el agua y todos los nutrientes

que necesita la planta sean suministrados en la cantidad y proporción adecuadas para que su crecimiento sea óptimo. Por tanto, estos sistemas requieren de equipos que permitan un adecuado control de la fertirrigación y posibiliten cubrir las necesidades hídricas y nutricionales del cultivo de forma dinámica a lo largo del día. Los cultivos en sustratos necesitan riegos frecuentes y dosis acordes con las propiedades físicas de cada sustrato y el volumen de reserva hídrica disponible, con la demanda evaporativa y el estado fenológico del cultivo.

## Soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas son un medio excelente para regular la cantidad y la proporción relativa de las sales minerales suministradas a las plantas en cualquier cultivo. Se entiende por solución nutritiva a la solución acuosa que contiene los nutrientes esenciales y necesarios para las plantas, en formas iónicas directamente asimilables por las raíces y en proporciones equilibradas conforme a las relaciones existentes entre los distintos iones. Se caracteriza por tres parámetros principales: pH, concentración salina y equilibrio iónico.

Si los nutrientes y el pH de la solución se mantienen dentro de los niveles adecuados y se vigilan también otras condiciones como luz y temperatura, las plantas crecerán en estas soluciones como si se tratara del suelo más fértil.

### Composición de las soluciones nutritivas

En todas las soluciones nutritivas se suministran siempre tres macronutrientes en forma de cationes:  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ . Otros tres aparecen siempre en forma aniónica:  $NO_3^-$ ,  $PO_4H_2^-$  y  $SO_4^{2-}$ . Todos los macronutrientes, por tanto, pueden ser incorporados con el uso de tres sales como son el nitrato cálcico, fosfato monopotásico y sulfato de magnesio. Sin embargo, a la hora de preparar las soluciones nutritivas se utilizan más sales, como son el nitrato amónico, el nitrato potásico y el nitrato de magnesio, ya que esto nos permite mayor flexibilidad al establecer las proporciones entre los distintos iones.

Los fertilizantes empleados en la elaboración de las soluciones nutritivas son abonos líquidos o sólidos especiales de alta solubilidad. Las concentraciones de las sales constituyentes de las soluciones nutritivas se pueden expresar como:

- Tanto por ciento (%). Expresa la cantidad de cada uno de los componentes (en peso o volumen) en 100 partes (peso o volumen) de disolución.

- Gramos por litro (g/l). Expresa la cantidad en gramos de cada componente en un litro de disolución.

- Partes por millón (ppm). Expresa una parte de uno de los componentes en un millón de partes de otro (si la relación es peso/volumen serán mg/l, si es peso/peso la relación será mg/kg, si es volumen/volumen la relación será de µl/l).



Foto 2. Cultivo de tomate (variedad Rambo) sobre sustrato fibra de coco.

- Moles por litro (mol/l). Expresa el número de moles de soluto (1 mol de una sal es el peso molecular de ésta expresado en gramos) en un litro de disolución.

- Equivalente por litro (eq/l). Expresa el número de equivalentes gramo por litro de solución (el número de equivalentes gramo es el cociente entre el peso molecular en gramos y la valencia, entendiendo por valencia el número de hidrógenos, si el compuesto es un ácido inorgánico, y el número de hidrógenos sustituidos, en el caso de una sal).

Además de los macronutrientes N, P, K, Ca y Mg, las plantas requieren de otros nutrientes que son utilizados en muy pequeñas cantidades, que se denominan oligoelementos o micronutrientes; éstos son: hierro (Fe), cobre (Cu), cinc (Zn), boro (B), manganeso (Mn) y molibdeno (Mo). La aplicación de estos elementos a los cultivos se suele hacer a partir de complejos comerciales estándar.

**CUADRO I. SOLUBILIDAD DE ALGUNAS SALES UTILIZADAS COMO FERTILIZANTES A DISTINTAS TEMPERATURAS Y TIPO DE REACCIÓN QUÍMICA QUE PRODUCEN AL DISOLVERSE EN AGUA**

Compuestos	Fórmula	Solubilidad [g/l]				Reacción
		0°C	15°C	20°C	30°C	
Nitrato potásico	KNO <sub>3</sub>	133	257	459	neutra	
Nitrato cálcico	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1020	1130	1526	ligeramente ácida	
Nitrato amónico	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		1630	2400	ácida	
Nitrato de magnesio	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	640		705	ligeramente ácida	
Fosfato monoamónico	NH <sub>4</sub> PO <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	227		370	ácida	
Fosfato monopotásico	KPO <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	148		227	ácida	
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	74	102	110	neutra	
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	260	332	409	neutra	

## Preparación de las soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas de riego se conseguirán a partir de soluciones concentradas. Se dispondrá de, al menos, dos tanques de soluciones concentradas separadas, debido a la incompatibilidad de ciertos iones para permanecer en disolución; una de las soluciones estará compuesta por los iones fosfato y sulfatos y la otra por los iones calcio. La concentración máxima de las sales en la solución vendrá dada por la solubilidad de éstas (**cuadro I**). Generalmente, la solubilidad disminuye al disminuir la temperatura; para los cálculos se tomará la solubilidad de la sal correspondiente a la temperatura menor prevista en el ciclo del cultivo.

El agua de riego contiene sales en disolución, por lo que es recomendable realizar un análisis previo y así poder tener en cuenta las concentraciones de calcio, magnesio, sulfatos y nitratos principalmente.

La elección de las sales fertilizantes que deberán ser usadas depende de una serie de factores: solubilidad y pureza de la sal, disponibilidad de los elementos constituyentes para las plantas, índice de salinidad, iones tóxicos, coste del fertilizante, etc.

## pH de las disoluciones de riego y de drenaje

El pH de las disoluciones de riego debe encontrarse en el intervalo de valores 5,5-6,5, puesto que, a excepción de especies adaptadas a vivir en valores extremos de pH, el óptimo fisiológico para la mayoría de las especies cultivadas se sitúa entre 5 y 7. Es importante mantener un pH adecuado en las soluciones nutritivas, debido a la influencia de éste sobre la solubilidad de varios de sus componentes; a pH mayores de 7 precipita el Fe, Cu, Zn y Mn y aumenta la solubilidad del Mo. Un pH ácido puede inducir carencias de calcio y baja utilización del catión amonio.



Foto 3. Cultivo de tomate (variedad Brillante) sobre sustrato lana de roca.



Foto 4. Cultivo de tomate (variedad Brillante) sobre sustrato arena.

El pH final de la solución nutritiva está supeditado a la composición y al pH del agua de riego. En las regiones mediterráneas, generalmente, las aguas presentan considerables concentraciones de iones bicarbonato que provocan reacción básica, lo que implica la necesidad de utilizar ácidos para bajar el pH de la solución nutritiva. La cantidad de ácido a adicionar dependerá de la naturaleza del agua de riego y del ácido que se utilice. Para aguas de riego con una composición química tipo, es conocido que neutralizando los bicarbonatos hasta concentraciones de 0,5 a 0,3 mM (mmoles/l) el pH de la solución nutritiva se sitúa entre 5,5 y 5,3, valor óptimo de la solución nutritiva. Por regla general, el ácido nítrico a concentración industrial es empleado para bajar el pH del agua de riego y para hacer limpieza de la red de riego.

#### Concentración salina -CE- y equilibrio iónico

La concentración de las sales en las soluciones nutritivas se expresa midiendo la conductividad eléctrica. El valor de la conductividad eléctrica (CE) de la solución de riego debe de estar comprendido entre 1,5 y 3,5 dS/m, posibilitando la absorción de

los nutrientes por las raíces de las plantas. Los potenciales osmóticos de las soluciones nutritivas en condiciones normales no suponen un obstáculo a la entrada de agua en las plantas ni presentan problemas de toxicidades específicas.

Para la producción de tomate, el valor de la CE recomendable está estrechamente ligado a las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura y luz) y a la variedad. Existen variedades de tomate adaptadas a condiciones de elevada CE. En algunos casos se ha comprobado que un aumento de la CE produce un incremento en la calidad de los frutos a costa de un menor rendimiento; también se ha observado que las plantas toleran una mayor CE en invierno que en verano.

El problema en la concentración salina de las soluciones puede surgir cuando el agua tenga un contenido en sales elevado, de tal forma que los iones del agua interaccionen con los de la disolución nutritiva dando lugar a desequilibrios entre ellos, inhibiendo o promoviendo la absorción de algún elemento presente en la solución.

Así tenemos:

- Alta concentración de sulfatos=  
Promueve la absorción de sodio. Dificulta la absorción de calcio.
- Alta concentración de calcio=  
Interfiere la absorción de magnesio.
- Alta concentración de magnesio y sodio=  
Produce deficiencias de calcio.
- Alta concentración de cloruros=  
Compiten con los iones nitratos.
- Alta concentración de potasio=  
Reduce la disponibilidad de calcio y magnesio.
- Alta concentración de hierro=  
Induce a deficiencias de manganeso.

A pesar de los numerosos estudios realizados, es complejo conocer las relaciones existentes entre los distintos elementos.

#### Disoluciones nutritivas recomendadas para tomate

No existe una solución nutritiva óptima y única para cada cultivo. La composición de las soluciones nutritivas se ve afectada por multitud de factores: variedad, condiciones climáticas, calidad del agua de riego, sustrato, contenedor, estado fenológico del cultivo, prácticas culturales, manejo del riego, etc.

En el **cuadro II** se presentan soluciones nutritivas optimizadas y utilizadas para el cultivo del tomate en condiciones del mediterráneo español.



El riego en los cultivos sobre sustratos se realiza mediante el aporte discontinuo de un volumen más o menos grande de solución nutritiva, de tal forma que la humedad se mantenga uniforme en el tiempo para que no existan cambios bruscos de CE. La dosis y la frecuencia de riego se determinarán en función de la cali-

CUADRO II. SOLUCIONES NUTRITIVAS TIPO PARA EL CULTIVO DEL TOMATE

Autor	CE	pH	NO3-	P04H2-	K+	Ca2+	Mg2+	Fe	Zn	Cu	B	Mo	Mn
García y Urrestarazu, 1999 (cultivo 1996)	2,20	5,80	13,50	2,00	5,00	6,00	1,00						
García y Urrestarazu, 1999 (cultivo 1997)	2,20	5,80	12,50	2,00	5,00	5,00	1,80						
Albuquerque, 2000	2,50	5,50	12,00	1,60	7,0-8,0	4,0-5,0	2,0-2,5						
Martínez y col., 2001 (perlita)	2,39	6,19	12,01	1,77	6,65	3,94	0,78						
Martínez y col., 2001 (arena)	2,39	5,70	12,01	1,77	6,65	3,94	0,78						
Alarcón, 2001	2,60		13,00	2,00	9,5,	7,00	3,00	1,00	0,30	0,05	0,40	0,05	0,60
Pellicer y col., 2002 (perlita)	2,60	5,87	12,00	2,00	7,00	4,00	3,50	2,00	0,10	0,10	0,30	0,06	0,50

## PIMIENTO Y TOMATE dossier

dad del agua de riego, de las propiedades físicas del sustrato y del estado fenológico del cultivo.

A la hora de establecer la dosis y frecuencia de los riegos, un parámetro importante a considerar es el porcentaje de disolución de riego que debe ser lixiviada. La solución nutritiva aportada en cada riego es desequilibrada y concentrada en el medio de cultivo debido a la absorción de agua y de nutrientes por la planta en el intervalo entre riegos. Las sales acumuladas deben ser eliminadas mediante el lavado del sustrato, utilizando cantidades adicionales de solución nutritiva de riego sobre las estimadas para el consumo. A la cantidad de solución que percola fuera del medio de cultivo después de cada riego se le llama solución de drenaje o lixiviada. La calidad del agua de riego es la que determina en mayor medida el porcentaje de solución que debe drenar libremente.

Los datos sobre tasas de drenaje para los distintos sustratos aparecen de forma muy generalizada en las publicaciones. Para el cultivo de tomate, Lorenzo (1993) aconseja en sus condiciones de cultivo un drenaje entre el 10 y 20%. López Gálvez y Naredo (1994) programan, en distintos sustratos, la fertirrigación para obtener como mínimo un 25% de lixiviados. Pérez y col. (1997) obtuvieron distintas tasas según sustrato, 22,1% en arena, 20,5% para perlita y 38,5% en lana de roca para un agua de riego con elevado contenido en sales. CE = 2,84 dS/m.

Existen diferentes métodos y dispositivos para controlar el riego, como son la medida del potencial matricial del sustrato me-

dante tensiómetros, medida de la CE en el sustrato, control del volumen de lixiviados, pérdida de peso del sistema utilizando balanzas, determinación del flujo de savia, medidas de la radiación y su relación con la transpiración del cultivo, etc. Todos ellos pueden ir asociados al cabezal de riego que gestiona la fertirrigación del cultivo y de esta manera automatizar en la medida de lo posible la fertirrigación.

### Desórdenes nutricionales

Los cultivos sobre sustratos nos permiten mantener las plantas en un óptimo de nutrición, pero también presentan el riesgo de que un error puede dar lugar a una rápida deficiencia de nutrientes u otro efecto adverso en la planta. Se considera que una planta es deficiente en un elemento mineral cuando su concentración en los tejidos disminuye por debajo de los niveles que permiten un desarrollo normal.

Una carencia puede aparecer cuando la concentración del elemento en cuestión en la solución nutritiva es baja, o bien si el elemento está presente en una forma química que no puede ser utilizada por la planta. A veces también se puede desarrollar una carencia debido a los efectos antagónicos entre distintos elementos, de tal forma que la presencia de un determinado elemento a una determinada concentración pueda impedir la absorción de otro.

Las plantas muestran estos desórdenes nutricionales bien

## OFERTA ESPECIAL

para los suscriptores de alguna de nuestras revistas:  
**Vida Rural, Mundo Ganadero y AgroNegocios.**

Precio (PVP): 27 euros.

OFERTA SUSCRIPTORES: consultar con Dpto. de Suscripciones,  
telf.: 91 426 44 30, e-mail: suscripciones@eumedia.es

Envíenos este boletín de pedido por correo o por fax al nº: 91 575 32 97.

Envíenme el libro "Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica"

Suscriptor nº.....  No suscriptor

Nombre y apellidos .....

Domicilio .....

Localidad .....

Código Postal .....

Provincia .....

Telf: .....

FORMA DE PAGO:

Firma:

Contrarreembolso

Adjunto talón a nombre de Eumedia, S.A.

Visa/Master Card: ..... Fecha caducidad: \_\_ / \_\_ / \_\_

\*Oferta válida para España. Para envíos al extranjero, consultar al Dpto. de Suscripciones.

MANUAL DE  
AGRICULTURA Y GANADERÍA  
ECOLÓGICA

NOVEDAD



Foto 5. Síntomas de deficiencia de potasio en hoja de tomate.



Foto 6. Síntomas de deficiencia de magnesio en hoja de tomate.



Foto 7. Deficiencia de calcio en hoja de tomate.

externa o internamente por medio de síntomas. La sintomatología visual es un auxiliar muy eficaz en el establecimiento del estado nutricional de las plantas (Pellicer y col. 1998). Es interesante recordar que las carencias producidas por elementos móviles (N, P, K, Mg y Zn) presentarán los primeros síntomas en hojas viejas (**fotos 5 y 6**), mientras que en los producidos por elementos menos móviles (Ca, S, Fe, Mn, Cu y B) aparecen los síntomas en las hojas más jóvenes (**fotos 7 y 8**).

Sin embargo, las alteraciones metabólicas que ocasionan disminución en el rendimiento pueden tener lugar sin que aparezca ningún síntoma de deficiencia o mucho antes de que tales síntomas aparezcan, por lo que es necesario disponer de un método que nos permita conocer en un momento dado el estado nutricional de la planta.

El método más utilizado hoy es el análisis foliar o de savia vegetal. El diagnóstico basado en síntomas visuales y confirmados por un análisis foliar, es uno de los métodos más fiables de diagnosticar trastornos nutricionales.

## Reutilización de los lixiviados

La mayoría de los cultivos establecidos sobre sustratos son de los denominados abiertos, en los que la disolución nutritiva drenada es libre, infiltrándose en el suelo dando lugar a pérdidas económicas e importantes procesos de contaminación ambiental. Como alternativa a estos sistemas se encuentran los denominados cerrados, que son aquéllos en los que la disolución sobrante se vuelve a incorporar al sistema como parte de la disolución nutritiva que se aplica al cultivo, de tal forma que se consigue eliminar o reducir considerablemente las cantidades de drenajes libres mediante un proceso de reutilización de los mismos.

La reutilización de los lixiviados o drenajes es un proceso que cobra cada vez mayor importancia. Desde el punto de vista de conservación del medio ambiente contempla:

- La reducción del consumo de agua.
- La reducción del consumo de fertilizantes.
- La reducción de la contaminación de los suelos.

Todo ello hace que la reutilización de las soluciones lixiviadas sea tema de principal relevancia, y más si tenemos en cuenta que las tendencias de la agricultura son hacia obtener una producción agrícola económica y de alta calidad que racionalice el uso de los productos agroquímicos y del agua, con métodos respetuosos con el medio ambiente y la salud humana. ■



Foto 8. Síntomas de deficiencia de hierro en hoja de tomate.

## Bibliografía

- ALARCÓN A.L. 2001. Manejo de la solución nutritiva y diagnóstico en cultivos sin suelo. II Jornadas Técnicas sobre Cultivos sin Suelo. Serie: Jornadas y Congresos 12. Consejería de Agricultura. Agua y Medio Ambiente. Región de Murcia. 69-93.
- ALBURQUERQUE J.A. 2000. Ajuste de la programación de la fertirrigación en cultivo sin suelo para tomate (var. Durina). Recirculación de los drenajes. Tesis de Licenciatura. Facultad de Químicas. Universidad de Murcia.
- GARCÍA M., URRESTARAZU M. 1999. Recirculación de la disolución nutritiva en las condiciones de los invernaderos de la Europa del sur. Caja Rural de Granada. pp171.
- LÓPEZ-GÁLVEZ J., NAREDO J.M. 1994. Enarenados y sustratos con solución perdida. Evaluación en cultivo de tomate. *Horticultura V*, nº 6: 41-46.
- LORENZO P., MEDRANO E., GARCÍA M. 1993. Distintos niveles de drenaje en perlita. Cultivos sin suelo: Hortalizas en clima mediterráneo. Anexo 2. 104-107.
- MARTÍNEZ J., MARTÍNEZ J.J., NAVARRO A., RODRÍGUEZ-GUISADO I., OLTRA M.A., FERRÁNDEZ M. 2001. Consumo de agua y producción en cultivos de tomate en dos sustratos diferentes en cultivos sin suelo. Nutrición mineral en una agricultura sostenible (II). Serie: Jornadas y Congresos 13. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Región de Murcia. 175-180.
- PELLICER C., BALSALOBRE E., RINCÓN L., SÁEZ J. 1998. Deficiencias nutricionales y otras alteraciones fisiológicas. En *La sanidad del cultivo del tomate*. Ed. M.V. Phytoma-España S.L.
- PELLICER C., RINCÓN L., SÁEZ J., ABADIA A., PÉREZ A., BALSALOBRE E. 2002. Reutilización de lixiviados en un cultivo de tomate sobre sustrato perlita. *Actas de Horticultura*, nº 30: 950-956.
- PÉREZ A., RINCÓN L., SÁEZ J., PELLICER C., GÓMEZ M.D., ABADIA A. 1997. Respuesta del rendimiento del cultivo del tomate en diferentes sustratos inorgánicos. *Actas de Horticultura*. Vol. 19: 435-442.