



Tomates en lana de roca.

El control del fertirriego en los cultivos sin suelo

Un sistema hidropónico necesita la automatización del riego. El cultivo se maneja según el desarrollo de las plantas y las condiciones de clima

cultivo en el suelo. Contribuye a ello la disponibilidad, de medios técnicos y materiales más baratos y fáciles de instalar, de automatismos fiables de coste bajo y de inyectores y sensores resistentes a sales, etc.

No todo son aspectos positivos y también deben mencionarse los inconvenientes que hay que conocer al adoptar el cultivo sin suelo, como son, entre otros, el riesgo de pérdida rápida de la plantación en el caso de fallar el riego, eventualidad que debe preverse dotando a la instalación de los medios de seguridad necesarios para salvar esta situación.

Las concentraciones de absorción mineral obtenidas para el rosal son, en cualquiera de las estaciones estudiadas, muy inferiores a las concentraciones de las soluciones nutritivas utilizadas en el cultivo comercial

Pedro-Florián Martínez *, Dolores Roca* y Rosa María Belda Navarro*

pfmarti@ivia.es, *Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Departamento de Horticultura Apartado oficial, 46113 Moncada, Valencia
**Instituto Agroforestal Mediterráneo-UPV, Camino de Vera s/n Valencia

cultivo de situaciones de déficit hídrico y nutritivo que afectarían negativamente al rendimiento y a la calidad de los productos. También, por otro lado, por la búsqueda de seguridad ante el riesgo de enfermedades de las plantas. Este es un factor importante ante las limitaciones progresivas al uso de los fumigantes de desinfección del suelo y en general al de muchos otros productos usados contra las plagas y las enfermedades. Todo ello, finalmente, unido a la indudable ventaja de una gran sencillez de preparación de las plantaciones y la rápida entrada en producción de los cultivos, puede justificar el empleo de esta técnica como alternativa al

Introducción

Los motivos que justifican el cambio tecnológico al cultivo sin suelo, se pueden explicar, por un lado, por la necesidad de tener mayores posibilidades de control del sistema de producción a través de un manejo preciso de los sistemas de la alimentación hídrica y mineral. Esto significa tener mayor capacidad para proteger al

La búsqueda de seguridad ante el riesgo de enfermedades de las plantas es un factor importante ante las limitaciones progresivas al uso de los fumigantes de desinfección del suelo y en general al de muchos otros productos usados contra las plagas y las enfermedades

Los sistemas hidropónicos y la recirculación

Los sistemas hidropónicos permiten con facilidad el uso recirculado de los lixiviados. Es éste uno de los aspectos en debate. Según el modo de manejo de la solución nutritiva, puede cultivarse recirculando la solución, es decir, reutilizándola una y otra vez recogiendo total o parcialmente el drenaje, que es mezclado con agua clara, ajustados el equilibrio mineral, el pH y la conductividad eléctrica (CE), para conseguir la solución nutritiva corregida, que puede seguir en uso. Este sistema se conoce como “cerrado o de recirculación”, como alternativo al más difundido, el “sistema abierto” en el que la solución se suministra a las plantas y el drenaje sobrante se evacua y elimina y el excedente del riego se deja lixiviar directamente al suelo o se aprovecha para otros cultivos. Sin embargo, estas prácticas deben evitarse porque producen problemas de contaminación por fertilizantes en las aguas subterráneas.

En los cultivos hidropónicos es importante evacuar con rapidez el exceso de solución nutriente después del riego, con el fin de mantener un nivel de aireación suficiente para las raíces. Por ello, debe prepararse cuidadosamente la instalación dando pendientes adecuadas a los canales de cultivo, del orden del 0,1 al 0,2% (máximo 0,5%), en el sentido longitudinal.

Como alternativa, es muy útil dar pendiente en sentido transversal, de modo que la solución drenada se elimine lateralmente con facilidad de la zona ocupada por las raíces, hacia un colector de evacuación externo al que se da pendiente en sentido longitudinal.



Cuando se cultiva en contenedores aislados, que pueden ser macetas individuales de plástico para una planta, con un volumen de 10 a 20 litros, o bien sacos de polietileno rellenos de sustrato, que pueden contener un número limitado de plantas, es también factible recolectar los lixiviados situando estos contenedores sobre bandejas de polipropileno que conduzcan la solución drenante, sin pérdidas, hasta los tanques de recogida.

El riego y la fertilización

Un sistema hidropónico necesita la automatización del control del riego ya que, debido a la pequeña capacidad de reserva de agua del sustrato el aporte de agua se hace con mucha frecuencia. Para

Pimiento en un saco de cultivo de fibra de coco con una preparación para el recirculado de los lixiviados.

este control automático, el horticultor debe dar al sistema información sobre la dosis de riego y criterios para regar con la frecuencia necesaria, según el estado de desarrollo del cultivo y las condiciones climáticas.

Conocer con precisión las necesidades de agua y de cada uno de los macronutrientes a intervalos cortos (horas, días) y en cada tipo de condición ambiental, nos permite, de entrada, racionalizar la fertirrigación y aumentar la eficiencia de uso del agua y de los abonos en todo tipo de



Cultivo hidropónico preparado para recirculación de la solución.

Cultivo hidropónico del rosal.

Sonda de succión para supervisión del manejo del fertirriego en el cultivo hidropónico.

cultivos, limitando los excesos y las pérdidas, así como los trastornos debidos a desajustes entre las necesidades y los suministros.

La instalación de fertirrigación

La instalación más simple necesita de una bomba de impulsión, un contador de agua, un reductor de presión con un manómetro para regular la presión de entrada de la solución a la red de distribución y un conjunto mínimo de dos depósitos para soluciones madre o soluciones concentradas. Cada uno de estos depósitos está dotado de un agitador y un inyector (o una bomba dosificadora eléctrica o volumétrica) que inyectará la solución nutritiva concentrada del depósito en la tubería de riego o en un tanque de mezclado. También necesita un tercer depósito de ácido, con su correspondiente bomba inyectora, para ajustar el pH final de la so-

lución de riego, un filtro, un controlador de pH y de CE dotado de sondas intercaladas en la tubería de salida del riego. Las sondas, están conectadas a relés que actuarán sobre los inyectores de ácido y de soluciones madre. En la instalación más sencilla el riego estaría controlado por un programador que accionaría tantas electroválvulas como sectores de riego se hubieran dispuesto, en función de un tiempo de riego o de un volumen de agua (dosis de riego).

El sistema de distribución de la solución se suele hacer por goteo, mediante goteros intercalados en la línea de plantación, o por microtubos sujetos por piquetas, con un caudal de 2 a 4 litros por hora.

En los cultivos hidropónicos es importante evacuar con rapidez el exceso de solución nutriente después del riego, con el fin de mantener un nivel de aireación suficiente para las raíces

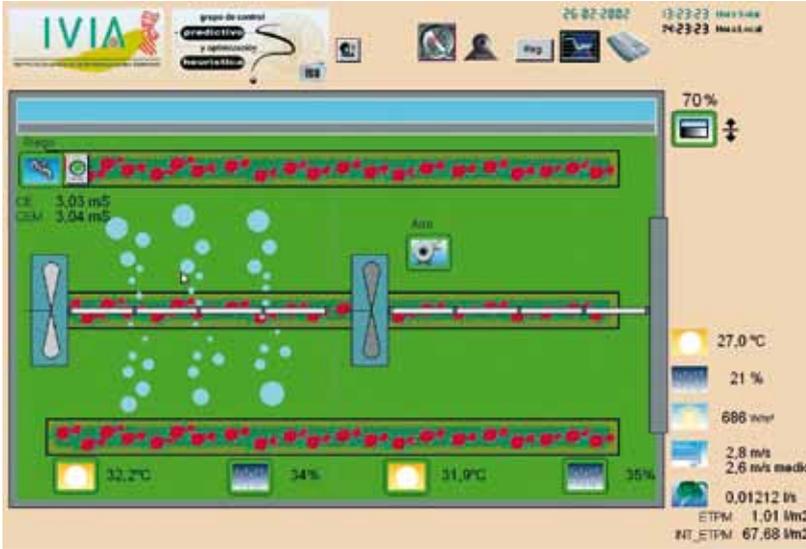
Especialmente este segundo tipo se emplea en el caso de contenedores discontinuos.

Estas instalaciones simples se pueden modificar en función del grado de automatización deseado y también de si la recirculación es un objetivo.

Manejo del riego

Cuando no se dispone de un equipamiento de control del riego, el manejo práctico más sencillo se basa en medir diariamente el volumen del drenaje. Se considera que, en cultivo hidropónico, el riego debe hacerse en exceso, de modo que siempre se obtenga una pérdida mínima alrededor del 20% del aporte. Este porcentaje de exceso para lavado varía según las condiciones climáticas y también según el contenido salino del agua. Un seguimiento de la CE del drenaje o del extracto del sustrato, aconsejará si se debe aumentar la dosis de riego para conseguir lavar el exceso de sales y mantener condiciones estables en el entorno de las raíces. Este riego en exceso hace posible que el sustrato se sature en su totalidad, que la solución en él se renueve y que la distribución del agua y los nutrientes resulte homogénea. Si la dosis de riego dada no satisface el porcentaje de drenaje establecido, se debe corregir en el riego siguiente.

La dosis de cada riego dependerá de la capacidad de retención de agua del sustrato. Todo exceso se perderá. En la actualidad es posible hacer variar la dosis de modo automático, adaptándola a las



Interfaz de control integrado para invernadero de alto nivel tecnológico.

condiciones de transpiración de cada momento del día, para provocar mayor proporción de drenaje en las horas de trans-

piración más alta, a mediodía, y así mejorar el lavado del sustrato y asimismo ajustar mejor el suministro de agua a la demanda del cultivo.

Es posible por lo tanto controlar la dosis de riego, así como medir el drenaje. Pero la principal dificultad en el manejo

Equipo para reciclaje de solución nutritiva.

del riego, reside en establecer su frecuencia para compensar la pérdida por transpiración, sin someter a las plantas a déficit de agua.

hemos hecho el camino juntos, ahora tenemos un gran futuro por delante

En Grupo TPM hemos andado el camino de la agricultura intensiva desde sus inicios. Hemos participado de ese crecimiento y gracias a nuestro afán innovador, hemos dado al mercado todas las necesidades técnicas que ha demandado en todo momento.

Seguimos investigando y avanzando porque a todos nos queda mucho camino por hacer y, como siempre, lo haremos juntos.

GrupoTPM
tecnología líder
en plásticos para la agricultura

ORTONEC
RECOLECTORAS IV GAMA

ORTONEC
Via Risorgimento, 11 - 30010 Cona (Venezia) ITALIA
ortomec@ortomec.it - www.ortomec.it
Tel. +39 0426 308354 - Fax +39 0426 309238



El sistema de control más extendido se basa en emplear programadores de tiempo. Con ellos se suele establecer unas horas de comienzo y final con una duración de intervalos entre los riegos. Según sean las condiciones del día, despejado, nuboso o totalmente cubierto, en las horas del centro del día se agrega un número mayor o menor de riegos fijos programados, según el criterio empírico del usuario.

También está extendido el uso de bandejas de demanda para automatizar el riego. Por seguridad se puede combinar el sistema con un programador, con riegos fijos cada ciertos intervalos en el caso de que no los active el mecanismo de la bandeja. Es asimismo frecuente el riego activado en función de la radiación solar acumulada, que los horticultores suelen completar con riegos programados a horas fijas, por ejemplo el primer riego de la mañana.

Finalmente, dando un paso tecnológico más, es también posible automatizar el riego por medio de un algoritmo estimador del consumo de agua, basado en un modelo de estimación de las pérdidas de agua por la transpiración del cultivo. El modelo más empleado es el de Penman-Monteith. En las instalaciones del IVIA

se han usado estos algoritmos con resultados satisfactorios.

Necesidades de agua. Caso particular del rosal como cultivo modelo

La rosa es una especie de baja conductancia estomática máxima, lo que significa un menor nivel de transpiración que otras especies vegetales. El gasto anual de agua de un cultivo de rosas puede variar entre 500 y 600 litros por metro cuadrado, sin tener en cuenta las pérdidas por drenaje. En rosales adultos cultivados en la ribera mediterránea española, se miden valores de transpiración diaria cercanos a los 800 gramos de agua por planta durante las horas diurnas y entre 65 y 85 gramos por la noche en verano y primavera,

Para este control automático, el horticultor debe dar al sistema información sobre la dosis de riego y criterios para regar con la frecuencia necesaria, según el estado de desarrollo del cultivo y las condiciones climáticas

Cultivo en perlita. Plantación de rosales en perlita.

por contraste con el invierno en el que las cifras son de 450 de día y algo más de 100 gramos de noche. Este aumento del consumo nocturno en invierno se debe al estímulo de la tasa de transpiración que provoca la calefacción por convección. Se puede atribuir el reparto del agua consumida por el cultivo, de modo aproximado, en un 50% para las pérdidas por transpiración, un 10% para el crecimiento y un 40% para las pérdidas de drenaje en el cultivo hidropónico realizado en sistema abierto.

Manejo de la fertirrigación

En síntesis, se basa en:

- Soluciones nutritivas de elevada concentración.
- Control a través de las medidas de conductividad eléctrica, como expresión de la concentración total de iones que se aportan al cultivo.
- Frecuencia del aporte mineral ligado a frecuencia de riego (bien sea por tiempos, por integral de radiación, o por relaciones con el consumo como es el caso de la bandeja de demanda).



Los tubos de calefacción están por encima del riego y cercanos a la base de las plantas.

- Los problemas ambientales derivados, para los que cada vez habrá menos tolerancia y para lo cual es necesario preparar soluciones.

- Los problemas de costes, de baja eficiencia del uso de insumos, agua y abonos, cuyos precios, además, es previsible que irán aumentando sin remedio.

Optimización de la fertirrigación. La importancia de conocer las cinéticas de la absorción mineral

La optimización de la fertirrigación implica ajustar el aporte a las raíces de la planta de la cantidad de agua y de elementos minerales que la planta demanda en cada momento. La cinética de absorción de un ión concreto nos dice la cantidad de iones que absorbe la planta en un periodo de tiempo determinado.

Conocer estas cinéticas de absorción de agua del cultivo y de cada uno de los nutrientes minerales, incluso en intervalos cortos de tiempo y en todo tipo de condiciones a lo largo del ciclo, permite establecer relaciones entre las tasas de absorción mineral y las variables que las afectan. Con estas informaciones se tiene más posibilidades para controlarlas a través de estrategias de manejo de la planta, del medio climático y del suministro del agua y los abonos.

Este conocimiento nos va a permitir, además, determinar límites y umbrales

Los problemas que se derivan de este manejo actual pueden resumirse en que:

- Muchos de los métodos empleados tienen el inconveniente de la falta de representatividad de las medidas de las variables que se emplean como consignas de riego, ya que la ubicación del sensor o detector y el número limitado de ellos afecta, sin lugar a dudas, a la representatividad de la información que suministran al sistema de control del fertirriego.

- Se observa una asincronía entre la demanda hídrica y la mineral, que el manejo actual no permite tener en cuenta y

que, sobre todo en cultivos hidropónicos realizados en sustratos con escasa retención de agua y de minerales, dificulta un control más afinado adaptado a las condiciones climáticas del momento.

En cultivo hidropónico, el riego debe hacerse en exceso, de modo que siempre se obtenga una pérdida mínima alrededor del 20% del aporte



Regulador de presión para caudales elevados

La misma calidad, fiabilidad y precisión que los reguladores Senninger tradicionales.

Para caudales de hasta 22.700 l/h.

Presión de salida constante con presiones de entrada variables. Conexión 2½" rosca H BSP / PVC 75 mm.

Dos años de garantía en material, trabajo y rendimiento.

Con la garantía y seriedad de

Copersa

P.L. Vallmora, c/ Eduard Cabret i Plini, 20 08339 - Vilassar de Dalí (Barcelona)
Tel: 937 59 25 00 * Fax: 937 59 50 08 * E-mail: comercial@copersa.com

www.copersa.com

Senninger

mínimos para trabajar con niveles de concentración menores a los actuales sin afectar al rendimiento ni a la calidad de los productos.

A partir de estas informaciones, se trata de obtener relaciones dinámicas (modelos) entre la absorción mineral y las variables implicadas, que deben ser fáciles de medir – como las climáticas - o de estimar – como la tasa de absorción hídrica - ya que la finalidad es su aplicación práctica. De igual modo a lo ya hecho en el caso del control del riego, estos modelos deben dar lugar a algoritmos de control de la fertirrigación, incorporables al equipo de control.

Con estas herramientas, una vez ensayadas y puestas a punto para las diferentes condiciones de cultivo, es posible ajustar el suministro de abonos a las necesidades reales y además, en el caso de los cultivos hidropónicos, reutilizar las soluciones nutritivas sin vertidos o con vertidos mínimos al medio ambiente, ya que integrando estas informaciones en el sistema de control de la fertirrigación es posible reajustar los equilibrios de los nutrientes en la solución que se va a recircular.

Paralelamente, se tipifican las respuestas fisiológicas y agronómicas del cultivo a estos cambios importantes en el manejo, con el fin de comprobar su respuesta a este modo de gestión.

Esta metodología de trabajo es aplicable a cualquier cultivo.

Cinéticas de absorción hídrica y mineral en cultivo de rosal para flor cortada

En el caso del rosal, cultivado a corte programado por fechas, presenta un nivel de extracción de nutrientes que varía en función del estado de desarrollo de los tallos florales. Esto es, la tasa de absorción de elementos minerales disminuye de ma-

Cuadro 1:

Orden de magnitud de la tasa de absorción de nitratos y de la tasa de transpiración (TR) de plantas de rosal durante el ciclo de desarrollo de tallos florales (Cabrera *et al.*, 1995. *Sci.Hort.* 63:57-66)

Valores relativos al ciclo de desarrollo de los tallos florales a lo largo de un año de cultivo	NO ₃ ⁻ (mg/planta y día)	TR (mg agua/planta y día)
valor mínimo medio del ciclo	17	250
valor máximo medio del ciclo	77	750
valor mínimo del ciclo	0.4	10
valor máximo del ciclo	146	1100

Cuadro 2:

Tasas de absorción de nitrato por plantas de rosal adultas en las cuatro estaciones (adaptado de Roca, 2009. Tesis Doctoral. Departament de Producció Vegetal. Universitat Politècnica de València. ISBN 978-84-692-9961-6)

Estación	Tasa de nitrato mg/planta y día	% absorbido por la noche	Concentraciones de absorción de nitrato (mg de nitrato por litro de agua absorbido)	
			diurna	nocturna
Verano	116	15	136	259
Otoño	102	21	124	280
Invierno	86	42	150	326
Primavera	139	34	122	543

Cuadro 3:

Tasas medias diarias de absorción de fósforo, potasio, calcio y magnesio por plantas de rosal adultas en diferentes estaciones (*resultados parciales adaptados de Roca, 2009. Tesis Doctoral. Departament de Producció Vegetal. Universitat Politècnica de València. ISBN 978-84-692-9961-6)

	Tasa de fósforo mg/planta y día	Tasa de potasio mg/planta y día	Tasa de calcio mg/planta y día	Tasa de magnesio mg/planta y día
Verano*	12 - 16	40 - 50	19 - 24	4 - 7
Invierno	10 - 12	32 - 37	20 - 26	4 - 7
Primavera*	12 - 16	60 - 70	35 - 43	4 - 10

nera sensible después de una poda o un corte de flores y alcanza un valor mínimo cuando la tasa de elongación del tallo es máxima. A partir de ese momento, la absorción de elementos minerales aumenta progresivamente y disminuye de nuevo al final de la floración. Por lo tanto, cuando se practican cortes programados, el suministro de fertilizantes debe de acoplarse a las necesidades específicas del rosal durante la formación de tallos florales que pueden variar en función de las condiciones climáticas.

El Cuadro 1 presenta un ejemplo del nivel que alcanza la tasa de absorción de nitratos, durante el ciclo de desarrollo de los tallos florales, comparado con el nivel

de la tasa de transpiración.

Puede observarse (Cuadro 1) que el valor medio de la tasa de absorción de nitratos (17 a 77 mg por planta y día) varía a lo largo del ciclo de desarrollo de los tallos en una proporción de 1 a aproximadamente 5, mientras que la tasa de transpiración solamente varía en una proporción de 1 a 3. Sin embargo, la absorción de nutrientes puede limitarse en verano bajo condiciones de estrés (valores bajos de humedad del aire y niveles elevados de radiación solar) ya que éstas afectan más negativamente la absorción mineral que la absorción de agua.

Cuando la producción no se concentra en fechas concretas sino que se mantiene

La principal dificultad en el manejo del riego reside en establecer su frecuencia para compensar la pérdida por transpiración, sin someter a las plantas a déficit de agua

Cuadro 4:

Ejemplos de soluciones nutritivas para el cultivo de rosas sin suelo

nutrientes en mmol.L ⁻¹							
Origen	N0-3	P04H2-	S042-	NH4+	K+	Ca2+	Mg2+
IVIA 1 (60%)	12,0 (7,2)	1,2 (0,7)	1,0 (0,6)	0,5 (0,3)	4,7 (2,8)	3,5 (2,1)	1,1 (0,8)
IVIA 2 (60%)	10,0 (6,0)	1,3 (0,8)	1,0 (0,6)	0,6 (0,4)	4,5 (2,7)	3,0 (1,8)	0,8 (0,5)
IVIA 3 (60%)	8,6 (5,2)	1,3 (0,8)	0,5 (0,3)	0,5 (0,3)	3,3 (2,0)	3,0 (1,8)	0,5 (0,3)
GRODAN	11,0	1,3	1,2	1,3	5,0	3,5	0,7
Brun y Tramier (1988)	11,0	2,0	2,0	2,0	5,0	4,0	1,0
Cid et al. (1996)	10,7	1,3	1,0	1,9	2,8	2,5	1,2
Cid et al. (1996) (verano)	7,1	1,3	0,7	1,4	1,6	1,8	1,2
Sarro et al. (1989)	14,0	2,0	1,5	-	6,0	5,0	1,5
MEILLAND	12,5	1,1	-	1,0	6,5	4,7	1,6
Bontemps et al. (1991)	10,0	2,0	1,6	0,9	5,7	3,5	0,8
Sonneveld (1995) (en sustrato)	11,0	1,3	1,3	1,5	4,5	3,25	1,1
Sonneveld (1995) (en NFT)	13,5	1,0	1,5	<0,5	5,0	5,0	1,5

(Entre paréntesis cifras de concentraciones reducidas un 40% usadas con buenos resultados en recirculación)

La composición de micronutrientes de la solución para rosales oscila, según los diferentes autores, entre los siguientes límites (mg/L):

Fe: de 1,0 a 2,0, B: de 0,21 a 0,26, Mn: de 0,25 a 0,65, Cu: de 0,01 a 0,09, Zn: de 0,025 a 0,25 y Mo: de 0,005 a 0,05.

continúa a lo largo del año, los valores de absorción en el caso del nitrato (Cuadro 2) son superiores en primavera y en verano con una media de unos 120 mg por planta y día, seguidos del otoño siendo los menores en invierno con 86. De modo similar a como ocurre en la absorción del resto de macroelementos (Cuadro 3).

La absorción diurna de nitrato por cada litro de agua absorbida, viene dada por la que denominamos concentración de absorción, es una media de unos 127 mg por litro en las tres estaciones más cálidas, en tanto que en el invierno es de unos 150 mg por litro.

Por la noche las cantidades aumentan debido a la reducción de la transpiración, ya que, como las cifras ponen en evidencia, la actividad nutritiva nocturna sigue (véanse en el cuadro 2 los % de absorción nocturna), es decir las plantas siguen nutriéndose por la noche a través de sus mecanismos de absorción selectiva. Este método de la determinación de las tasas netas de absorción mineral es muy preciso para relacionar la producción con la estrategia de fertilización.

Al estudiar detalladamente la absorción por un cultivo como el rosal, de un ión tan vinculado al crecimiento y la producción como el nitrato, se observa una relación lineal clara con variables como la temperatura de la solución nutritiva, o la tasa de absorción de agua. Se comprueba

que en condiciones de alta radiación solar, con niveles favorables de temperaturas del aire y del ambiente radicular, hay una alta correlación positiva entre la tasa de transpiración y la absorción de nitrato. Estos conocimientos son de gran valor para mejorar el control de la fertilización.

Las concentraciones de absorción mineral obtenidas para el rosal son, en cualquiera de las estaciones estudiadas, muy inferiores a las concentraciones de las soluciones nutritivas utilizadas en el cultivo comercial, - en el Cuadro 4 se presentan algunos ejemplos de soluciones nutritivas aplicadas al cultivo de rosas -, estos resultados nos condujeron a plantear la comparación de las cinéticas de absorción obtenidas tanto en soluciones concentradas como en diluidas, resultando tasas de absorción muy similares.

La rosa es una especie de baja conductancia estomática máxima, lo que significa un menor nivel de transpiración que otras especies vegetales. El gasto anual de agua de un cultivo de rosas puede variar entre 500 y 600 litros por metro cuadrado

Además, de las relaciones que se establecen entre la absorción mineral y otros factores fácilmente medibles en los sistemas de producción, se han obtenido *modelos de estimación de la absorción*, que se han ajustado y validado en condiciones de producción. Estas relaciones permiten, por una parte, mejorar la eficiencia de uso de los recursos hídricos y minerales, reduciendo con ello los costes económicos y ambientales y, por otra, reajustar las consignas que regulan tanto la composición de la solución nutritiva como la frecuencia del aporte (las órdenes de riego). Se comprueba que al trabajar con soluciones de menor concentración se facilita la recirculación.

En definitiva, el mayor conocimiento de las cinéticas de absorción mineral que nos ha permitido el trabajo llevado a cabo, permite reajustar la composición de las soluciones nutritivas en las diferentes épocas de cultivo en función de las necesidades reales de la planta, con las consiguientes ventajas en ahorro de agua y abonos y la reducción de vertidos.



- Agradecimientos

La información contenida procede parcialmente de los proyectos financiados por el INIA, RTA-03-096-C5-5 y RTA2006-00158-00-00, y por Fondos FEDER.