

Equipo automatizado para fertirrigación en riego por goteo

SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO EN CULTIVOS DE INVERNADERO

Por: Juan Martínez López y Juan Reca Cardena*

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de riego por goteo se caracterizan por realizar una aplicación lenta y frecuente de agua en la zona radical del cultivo a través de unos dispositivos de desagüe, denominados goteros, insertados en una red de tuberías a presión, que cubre de forma permanente toda la superficie cultivada. Los goteros disipan la energía, en forma de presión, que presenta el agua en el interior del sistema de distribución por medio de orificios estrechos, vórtices, o trayectorias de flujo largas y tortuosas, cuando circula por su interior un gasto reducido. El agua se mueve dentro del suelo como flujo subsaturado y difícilmente se supera la intensidad de infiltración.

A diferencia de los riegos por superficie y por aspersión, la distribución del agua en riego por goteo depende fundamentalmente del sistema hidráulico de la red de distribución, y en menor medida de las condiciones edáficas o climáticas. Por tanto, estos sistemas permiten un control preciso de la aplicación del agua, siendo posible alcanzar una elevada uniformidad si el diseño hidráulico y el mantenimiento de las instalaciones es el adecuado.

Éstos sistemas de riego, entre otras ventajas, se caracterizan por humedecer solamente una fracción reducida del suelo, lo que supone unas menores pérdidas de agua por evaporación directa, además evita el desarrollo de malas hierbas y no interrumpe la realización de otras labores del cultivo. Por otro lado, la aplicación de riegos frecuentes y de baja dosis los hace adecuados para el riego de cultivos en suelos ligeros y sustratos con baja capacidad de retención de agua ya que permite mantener unas condiciones adecuadas de humedad en el sistema radical del cultivo. El mantenimiento de un nivel alto de humedad en el suelo permite la utilización de aguas de mala calidad ya que las sales presentes se encuentran más diluidas.

En riego por goteo es frecuente la incorporación de los nutrientes junto con el agua de riego. Esta práctica que recibe el nombre de fertirrigación, se ha generalizado en los cultivos de invernadero, y ha permitido una aplicación más racional de los nutrientes, mejorando la producción. Además, las operaciones de riego y fertilización suelen realizarse de forma automática, reduciéndose considerablemente la necesidad de mano de obra.

Sin embargo, los sistemas de riego por goteo presentan algunos problemas, entre los que destaca la obturación de los emisores como consecuencia de sus reducidas secciones de paso, especialmente con el uso

de aguas sucias y cuando no se realizan las operaciones de limpieza y mantenimiento apropiadas. Otro problema puede ser la falta de uniformidad motivada por un diseño hidráulico incorrecto y por la utilización de materiales y equipos de escasa calidad.

Por tanto, el riego localizado permite alcanzar altos rendimientos de riego y elevadas producciones en condiciones climáticas, edáficas y de calidad de agua limitantes, lo que justifica la gran expansión que ha experimentado recientemente esta técnica en zonas áridas como en el caso del sudeste español. Particularmente en la costa de Almería, actualmente se riegan por goteo más de 20000 ha de invernaderos, dedicados al cultivo de hortalizas con gran rentabilidad económica. Estos sistemas de producción intensivos se realizan generalmente sobre suelos artificiales, bien enarenados o sustratos inertes (lana de roca y perlita), siendo el primero de éstos el más frecuente. Los sistemas de riego utilizados en la zona se describen posteriormente.

DESARROLLO HISTÓRICO

La expansión del riego localizado es relativamente reciente (Keller y Bliesner, 1990). Los primeros experimentos se realizaron en 1860 en Alemania usando tuberías de arcilla. Más tarde las investigaciones se centraron en el desarrollo de tube-

(*) Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería.



rías perforadas con diferentes materiales. Sin embargo el desarrollo de esta técnica, tal y como la conocemos hoy día, no fue posible hasta la fabricación de tuberías de plástico de bajo coste en la década de los cuarenta. Inicialmente el riego localizado se utilizó exclusivamente para cultivos intensivos de gran rentabilidad económica. El posterior abaratamiento en los costes de las tuberías de plástico ha permitido la extensión de esta técnica a plantaciones frutales y más recientemente a los cultivos extensivos en línea. En los años 50 y principios de los 60, sobre todo en Israel, se produjo un impulso definitivo en el desarrollo de esta técnica debido a la realización de multitud de investigaciones, que permitieron la mejora en el diseño de los emisores de largo recorrido.

En el sudeste español, debido al carácter árido de su climatología, la captación y aprovechamiento racional de los escasos recursos hídricos disponibles ha sido, históricamente, una necesidad para la supervivencia de la actividad agrícola. Prueba de esto es la existencia de diversas instalaciones, como son norias, tahonas, galerías, boqueras de cañón etc. (López-Gálvez, J. y A. Losada, 1998), que aún se encuentran diseminadas por la geografía de la zona y que constituyen vestigios de antiguas tecnologías utilizadas para el aprovechamiento del agua. La introducción del riego por goteo en Almería tuvo lugar en la década de los setenta, sustituyendo al tradicional riego por superficie. Esta técnica ha constituido una de las causas fundamentales para el desarrollo de los cultivos hortícolas intensivos bajo cobertura ligera de plástico.

ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO

Los sistemas de riego por goteo se pueden dividir en dos partes: la cabeza, que constituye el elemento central de cualquier instalación, y la red de distribución.

Cabeza del sistema

La cabeza del sistema está compuesta básicamente por un equipo de impulsión, siempre que sea necesario, un equipo de limpieza y un equipo de fertilización. El primero aporta la energía necesaria para el funcionamiento a presión de la instalación. Normalmente, las instalaciones suelen trabajar a una presión comprendida entre 100 y 200 kPa. El segundo es el encargado de eliminar las partículas sólidas suspendidas en el agua de riego y que pueden obstruir los goteros, y el tercero tiene por misión la incorporación de los nutrientes al agua de riego. Además de los equipos indicados, en la cabeza del sistema conviene disponer dispositivos de control y medida tales como, llaves, contadores, manómetros, etc. Las características de los sis-

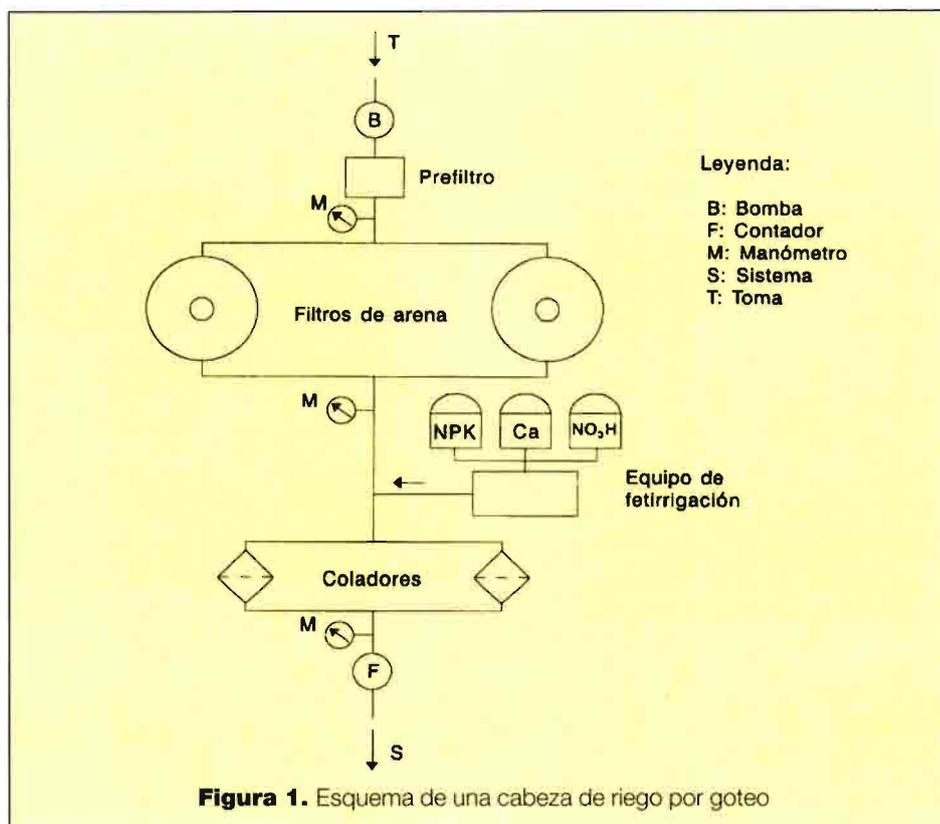


Figura 1. Esquema de una cabeza de riego por goteo

temas de riego localizado están propiciando la automatización de las distintas operaciones de riego y aplicación de fertilizantes. Cada vez es más frecuente que la cabeza de riego incorpore autómatas o programadores de riego que realizan de forma automática estas operaciones. Un esquema típico de una cabeza de riego es el que se muestra en la figura 1.

Elementos de filtración

Los emisores de reducido caudal utilizados en las instalaciones de goteo presentan diámetros de paso pequeños y unas bajas velocidades de circulación del agua, que facilitan la formación de obturaciones y reducen, por tanto, el caudal de los goteros y la uniformidad de distribución del agua. La obturación de los goteros puede ser debida a partículas minerales (arena, limo y arcilla), partículas orgánicas (algas, bacterias, restos de animales y plantas) y precipitados químicos (sales del agua, depósitos de Fe, S y Mn, y fertilizantes). El problema de la obturación es bastante grave y está condicionado, lógicamente, por la calidad del agua de riego. Este debe resolverse mediante la instalación de un buen equipo de filtración, tratamientos con productos químicos del agua y limpieza de equipos.

El mercado nos ofrece diferentes elementos para la filtración del agua (Duart y Bañó, 1995). Entre ellos cabe destacar los prefiltros (decantadores e hidrociclones), filtros de arena y coladores de malla o ani-

llas. Los filtros de arena son unos tanques metálicos o de poliéster en cuyo interior se coloca una gruesa capa de arena a través de la cual pasa el agua a filtrar. El colador de malla consiste, simplemente en un tamiz de acero inoxidable o plástico, bastante tupido, a cuyo través circula el agua, mientras que, en el colador de anillas presenta un cartucho de anillas ranuradas, que se aprietan unas contra otras, dejando pasar el agua y reteniendo las partículas cuyo tamaño sea mayor al del paso de las ranuras. Los filtros de arena son los encargados de retener las partículas orgánicas del agua, mientras que los coladores se encargan de retener las partículas minerales. En los sistemas de riego de invernadero de Almería, debido a la limpieza relativa del agua, sólo se utilizan estos últimos.

Elementos para fertirrigación

Una consecuencia del enorme éxito de los sistemas de riego por goteo es el permitir aplicar los fertilizantes disueltos con el agua de riego, de forma fraccionada y cómoda, en los momentos más idóneos para el desarrollo de las plantas. Esta práctica reduce las necesidades de mano de obra para su aplicación y proporciona una mayor eficiencia, ya que reduce también las pérdidas por lixiviación y meteorización. Para llevarla a cabo, es necesario disponer de equipos que permitan la incorporación de los abonos en la red de riego, que posibiliten el control de las cantidades aplicadas,

y la automatización del proceso. Entre los dispositivos utilizados destacan los siguientes:

– *Tanque de fertilización*: se trata de un recipiente, de fibra (poliester), o metálico, herméticamente cerrado y conectado en paralelo con la tubería principal del sistema de riego. En su interior, se encuentra la solución de fertilizantes previamente preparada. Parte del caudal que circula por dicha tubería se desvía a través de dicho depósito arrastrando la solución con los nutrientes, incorporándolos al agua de riego. Debido a su simplicidad y bajo coste es uno de los equipos más utilizados. Sin embargo, como la concentración de la disolución que sale del tanque no se mantiene constante con el tiempo, la entrada del fertilizante en la red de riego se produce con poco control y falta de uniformidad, lo que no los hace adecuados para cultivos hidropónicos,

– *Inyectores venturi*: es un tubo de plástico o metálico que presenta un estrechamiento, por el que circula el agua. El aumento de velocidad que se produce en el estrechamiento del conducto, por el principio de conservación de la energía del agua, origina, en dicho punto, una disminución de la presión. Esta depresión succiona agua, junto con nutrientes, desde un depósito en el que se encuentra la solución de fertilizantes, incorporándolos al sistema de riego. Un sistema completo de fertirrigación con venturis consta de varios depósitos para los distintos fertilizantes y para el ácido nítrico, utilizado para la regulación del pH y para limpieza del sistema. Estos sistemas permiten un mejor control de la aplicación de los diversos nutrientes, mediante la medida del pH y CE del agua de riego con fertilizantes y del caudal incorporado desde cada uno de los depósitos.

– *Bombas dosificadoras*: se trata de bombas de desplazamiento positivo capaces de tomar el abono de un depósito sin presión, donde previamente se prepara la solución, e inyectarlo en la red a una presión superior a la del agua de riego.

Red de distribución

Las instalaciones de riego típicas en explotaciones de invernaderos (ver figura 2) están formadas por uno o varios sectores. Cada uno cubre una superficie determinada de monocultivo que se riega al mismo tiempo, de entre 2000 y 10000 m², generalmente coincidente con un invernadero. El sector se divide en varias unidades formadas por una tubería portarramales y el conjunto de ramales portagoteros que se derivan de ella.

Las unidades de riego se unen entre sí y al punto de acometida en cabeza del sistema mediante la red terciaria de tuberías, normalmente de cloruro de polivinilo (PVC) o de polietileno (PE). Estas tuberías, con diámetros comerciales comprendidos



Unidad de riego por goteo en enarenado

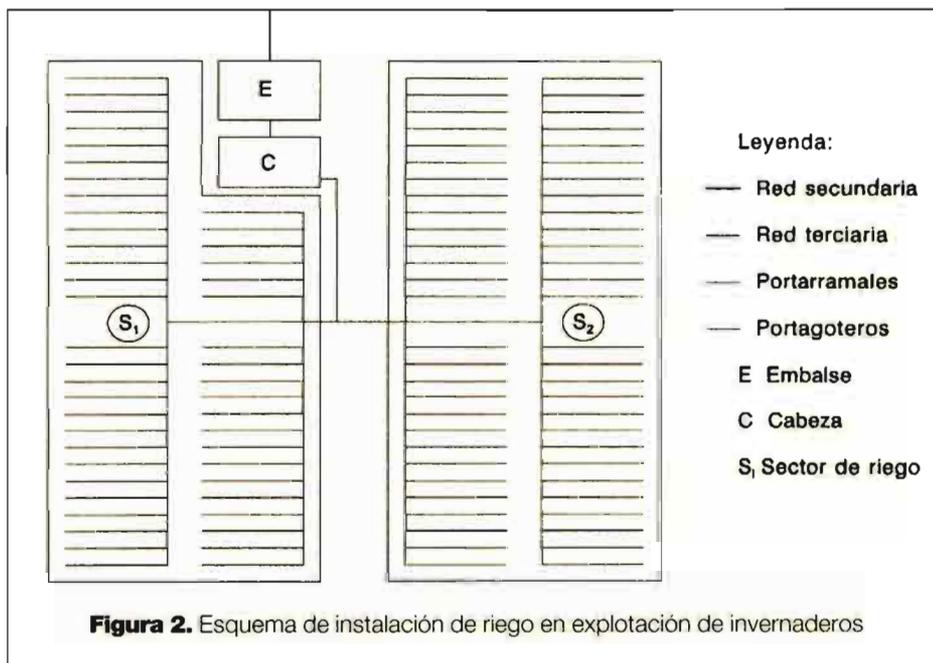


Figura 2. Esquema de instalación de riego en explotación de invernaderos

entre 63 y 125 mm, suelen ir enterradas, a diferencia del resto de la red de distribución. En el punto de unión de las unidades de riego a la red terciaria suelen instalarse diversos elementos de control, como pueden ser: llaves de accionamiento manual, electrollaves, manómetros, coladores o reguladores de presión.

La tubería portarramales suele ser de PE de baja densidad, de diámetro uniforme, comprendido entre 32 y 63 mm. La separación entre ramales portagoteros generalmente es de 1 m en cultivos en suelo enarenado y de 2 m en cultivos en sustrato. Los ramales portagoteros, que siguen las líneas de cultivo, también son de PE de baja densidad, presentan un diámetro de 12 o 16

mm y una longitud normalmente inferior a los 30 m, con goteros de salida única insertados cada 0,5 m. Las separaciones entre ramales y goteros pueden verse ligeramente modificadas de acuerdo con el marco de plantación seleccionado ya que se suele disponer un único emisor por planta.

El gotero es probablemente el elemento más importante de una instalación de riego por goteo, lo que obliga a que su elección no se realice a la ligera. El mercado nos ofrece una amplia gama de tipos y modelos diferentes (Duart y Bañó, 1995), cada uno de los cuales presenta alguna o varias características particulares que hacen que sea más apropiado para unas condiciones de trabajo concretas.



Ramales portagoteros en cultivo de tomate sobre lana de roca



El funcionamiento hidráulico de un gotero queda caracterizado por su ecuación de gasto, que es una función potencial que relaciona el caudal que emite el gotero q con la altura de presión del agua h (presión p) en el punto de inserción del mismo:

$$q = kh^x$$

Donde, k es el coeficiente de gasto, que depende de las características geométricas del gotero y tiene dimensiones, y x es el exponente hidráulico del gotero, que caracteriza el régimen de circulación del agua en el interior del mismo y es adimensional. El punto óptimo de funcionamiento del gotero está caracterizado por los siguientes valores:

- Presión nominal (p_n): Es aquella para la que se ha diseñado el emisor y a la que debe funcionar el mismo. Normalmente son 100 kPa.
- Caudal nominal (q_n): Es el caudal que suministra el gotero a la presión nominal, cuando se trata de un gotero convencional, y el caudal correspondiente al intervalo de compensación para los goteros autocompensantes.

Las causas que afectan a la uniformidad en la aplicación del agua en estos sistemas de riego son: la variación espacial de la presión, debida a las pérdidas de energía por rozamiento en las conducciones y a los desniveles topográficos, la calidad del emisor, dependiente del proceso de fabricación, y el grado de obturación de los goteros. En particular, en los sistemas de riego localizado típicos de invernadero, debido al tamaño relativamente reducido de las explotaciones y a su topografía uniforme, las variaciones hidráulicas en la instalación suelen ser pequeñas, por lo que la variabilidad en la descarga de los goteros del sistema está condicionada fundamentalmente por los dos últimos factores. Por tanto, es aconsejable instalar goteros de calidad con una elevada uniformidad de funcionamiento. Esta variable se caracteriza mediante el uso de dos índices de calidad (norma UNE- 68.075):

- Coeficiente de variación de fabricación (CV): Es un índice estadístico que mide la variabilidad de funcionamiento de diferentes unidades de un mismo gotero. Se obtiene dividiendo la desviación típica de los caudales suministrados por una muestra representativa de diferentes unidades de un mismo gotero, trabajando todas ellas a la presión nominal, entre el caudal medio de la muestra.

- Desviación del caudal medio respecto del caudal nominal: Si el caudal que nos indica el fabricante no se corresponde con el del emisor, se producirán errores en el diseño de la instalación, ya que los cálculos se realizarán con unos datos distintos de los reales. Este índice, como su nombre indica, mide la variación entre los datos nominales y reales y se calcula dividiendo la diferencia entre los caudales medio y nominal por el caudal nominal.

Los parámetros que describen el funcionamiento del gotero y sus índices de calidad deben de ser facilitados por el fabricante o bien determinarse experimentalmente mediante el ensayo en laboratorio de una muestra de goteros en condiciones de presión controladas.

El gotero predominante, en cultivos en suelo enarenado es el alineado tipo laberinto, mientras que en cultivos en sustrato inertes se suelen utilizar goteros derivados autocompensantes y antidrenantes, fundamentalmente debido a esta última característica que evita que se vacíe la red de distribución en el periodo entre riegos, mejorándose la uniformidad de aplicación. En cultivos en sustratos, los riegos son especialmente cortos y frecuentes y el control de la aplicación de agua y fertilizante es fundamental para el desarrollo del cultivo. Los caudales nominales de los goteros son normalmente de 2 o 3 l/h, siendo este último más frecuente.

EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA

La utilización de técnicas de cultivo en invernadero y del riego localizado, permiten realizar un uso eficiente del agua en los

campos de cultivo. Esto es debido, en primer lugar, a que el invernadero reduce la demanda hídrica de los cultivos ya que modifica las condiciones ambientales del cultivo. Se reduce, fundamentalmente, el efecto del viento sobre la evapotranspiración y se disminuye, ligeramente, el valor medio de déficit de presión de vapor (Fernández, M.D. et al., 1995). En segundo lugar, el sistema de riego por goteo, permite aplicar el agua reduciendo considerablemente las pérdidas, a lo que contribuye la elevada uniformidad que puede conseguirse y la localización de la aplicación de agua.

Respecto a la uniformidad de riego, en una serie de evaluaciones de riego realizadas en invernaderos de la zona (Caja Rural de Almería, 1997), se obtuvieron los siguientes resultados: en el 55% de los invernaderos evaluados el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (Christiansen, J.E. 1942) superaba el 0,95, el 27% estaba comprendido entre 0,9 y 0,95 y solamente el 18 % restante presentaba una uniformidad inferior a 0,9.

Si a la reducción del consumo de agua añadimos el aumento de producción, como consecuencia de las condiciones ambientales y de la aplicación racional de los nutrientes mediante la fertirrigación se obtiene en dichos sistemas una elevada eficiencia del uso del agua. Como ejemplo, la producción de tomate en los invernaderos con cobertura ligera de plástico de Almería requiere unos 40 m³ de agua/Tm de biomasa (Castilla y Fereres, 1990), mientras que el uso del agua en el cultivo extensivo de tomate al aire libre en la zona mediterránea se estima en 50 a 60 m³ de agua/Tm de biomasa (Stanhill, 1980).

BIBLIOGRAFÍA

- Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. Univ. California Agric. Exp. Stat. Bull., 670.
- Duart, J. y M.C. Bañó. 1995. Vademecum de materiales de riego. Edipublic s.l. Valencia.
- Caja Rural de Almería. 1997. Gestión del regadío en el Campo de Dalías: Las comunidades de regantes Sol y Arena y Sol-Poniente. Caja Rural de Almería.
- Castilla, N. y E. Fereres. 1990. Tomato growth and yield in unheated plastic greenhouse under mediterranean climate. Agric. Medit. 120(1): 31-40.
- Stanhill, G. 1980. The energy cost of protected cropping: a comparison of six systems of tomato production. J. Agric. Eng. Res. 25:145-154.
- Keller, J. y R. D. Bliesner. 1990. Sprinkle and trickle irrigation. Ed. Chapman (Hall).
- López-Gálvez, J. y A. Losada. 1998. Evolución de técnicas de riego en el sudeste de España. Ingeniería del Agua. 5(3): 41-50.
- Stanhill, G. 1980. The energy cost of protected cropping: a comparison of six systems of tomato production. J.
- UNE. 1986. Material de riego. Emisores. Asociación Española de Normalización.