

solución nutritiva, ya que las características morfo-fisiológicas del cultivo dependen de la interacción entre el **genotipo, clima y manejo agronómico**, que influyen directamente sobre la magnitud y el patrón de absorción de agua y nutrientes. Por ello es tan importante observar el desarrollo del cultivo en zonas específicas.

Existe muy poca información disponible acerca del consumo de agua y nutrientes para cultivos bajo invernadero considerando la interacción entre las variables antes mencionadas. Por estas dificultades, habitualmente se utilizan "recetas" estándar que fueron obtenidas para cultivos en suelo a campo abierto en condiciones de clima, genotipo y manejo agronómico diferentes a las condiciones en que se están aplicando; por esto se hace necesario construir las curvas de absorción de agua y nutrientes.

La duración del ciclo de cultivo y de sus etapas fenológicas varía debido a diferencias en genotipo, clima y manejo agronómico entre regiones y épocas climáticas, por lo que no es apropiado utilizar soluciones nutritivas estándar en cultivos y sistemas de alto rendimiento.

► OTROS ASPECTOS PARA CONSIDERAR

El manejo de la ferti-irrigación proporcional en sustrato tiene dos objetivos fundamentales: (1) satisfacer la demanda nutricional e hídrica del cultivo y (2) controlar la salinidad en la rizosfera mediante el arrastre de sales en el agua que drena. Se trata de aportar una solución fertilizante equilibrada en aniones y cationes para mantener disponible una concentración óptima de nutrientes en solución en la rizosfera y abastecer los requerimientos diarios del cultivo.

Por otro lado, la necesidad de controlar salinidad, surge porque todo ión aportado más allá de su tasa de absorción (mg/L) o requerimiento, tiende a acumularse en el sustrato.

En ferti-riego proporcional, el sustrato debe considerarse como reservorio de agua fácilmente disponible para las plantas evitando el déficit o el exceso, y proveyendo una adecuada aireación. Debido a que el volumen del sistema radicular de la planta se encuentra confinado en un volumen pequeño de sustrato, el sistema de trabajo es altamente sensible a los cambios en el clima y por tanto debe valorarse con cuidado el manejo del cultivo.

Este material fue aportado por el Dr. Freddy Soto Bravo, miembro del Programa de Hortalizas de la Estación Experimental Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica. Información adicional puede obtenerse con el autor escribiendo a freddy.sotobravo@ucr.ac.cr

Marzo 2015

FEB. 2016



El ProNAP es una unidad adscrita al Despacho Ministerial del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica

Para comunicarse con la Gerencia llamar al teléfono 2232-1949

o escribir a la dirección de correo electrónico agricultura.protegida@mag.go.cr



Este documento ha sido impreso gracias al aporte de la Fundación para el Fomento y la Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Costa Rica, como parte del proyecto F-23-14



PRINCIPIOS SOBRE FERTI-IRRIGACIÓN PROPORCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos ProNAP

APB-081

Ferti-irrigación o ferti-riego se definen como el proceso mediante el cual los nutrientes minerales que requiere el cultivo en un determinado periodo, se aplican disueltos en el agua de riego. Por tanto, para nutrir bien un cultivo hay que saber regar.

El ferti-riego, representa el método idóneo para mejorar la eficiencia de uso del agua, los fertilizantes y la mano de obra. Además permite incrementar los rendimientos y disminuir los costos de producción y la contaminación ambiental. Por ello, contribuye a asegurar la sostenibilidad económica, social y ambiental en los sistemas agrícolas.

La ferti-irrigación se puede clasificar como convencional o proporcional. En ferti-riego **convencional**, comúnmente utilizado en cultivo en suelo, la concentración de nutrientes en el agua es variable durante el tiempo de riego y los nutrientes son aplicados en unidades de Kg/ha. En ferti-riego **proporcional**, usualmente utilizado en hidroponía, la concentración de nutrientes en el agua es constante durante el tiempo que dura el riego.

En este último caso los nutrientes se calculan en ppm o mg/L, en función de la demanda de nutrientes y de agua del cultivo (Figura 1). Sobre la fertilización proporcional se tratará en este documento.

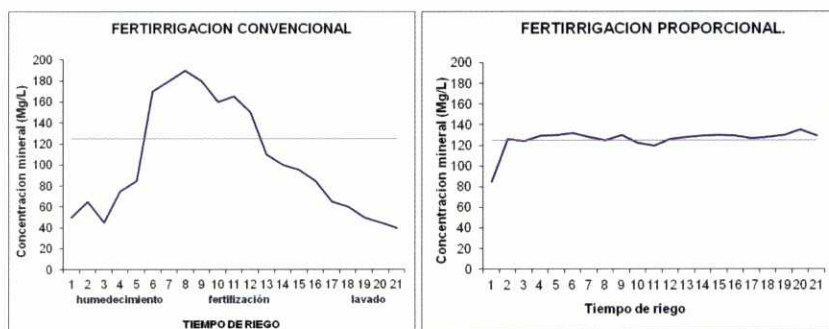


Figura 1. Comparación de la disponibilidad de nutrientes (línea azul) en los dos sistemas de ferti-riego.

► EFICIENCIA

Con este método se puede incrementar la eficiencia en el uso del agua (EUA) y de los nutrientes (EUN). La EUA expresa la cantidad de producto comercial obtenido (kg) por volumen de agua (L o m³) utilizado por el cultivo. Además, la EUA también se puede expresar en términos económicos (en colones/m³), relacionando el valor comercial del producto por volumen de agua utilizada. Los cultivos en invernadero y a campo abierto difieren en el consumo de agua, debido a que las diferencias en el manejo agronómico (podas, tutorado, densidad de siembra, etc.) y el clima (radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa y la temperatura), influyen en las características morfológicas de la planta. Los cultivos en invernadero presentan una EUA (kg/m³) superior a los cultivos a campo abierto. Por ejemplo en tomates, en Almería e Israel la EUA a campo abierto se alcanza 17 kg de producto comercial por m³ de agua, frente a 35 kg/m³ en invernadero; y en Holanda, la EUA bajo invernadero tecnificado puede alcanzar hasta 67 kg/m³.

► CUÁNDO Y CUÁNTO REGAR?

En una primera etapa (etapa I), se debe determinar cuánto regar y fertilizar, según los requerimientos del cultivo, a fin de optimizar los aportes de agua y nutrientes, mantener

un adecuado equilibrio entre el contenido de agua y la aireación en el sustrato, así como reducir las pérdidas por evaporación y drenaje, sin afectar los rendimientos. Cuánto regar lo define técnicamente la "evapotranspiración del cultivo" (ET_c) y se expresa en mm o L/m³ por unidad de tiempo (hora, día, mes).



Figura 2. Ferti-irrigación de tomates empleando micro-tubos con goteros de estaca (izquierda) y con manguera con goteros para cebollinos (derecha).

La ET_c considera el agua que transpira el cultivo a través de las hojas, más el agua que se evapora desde la superficie expuesta del sustrato. Durante el desarrollo del cultivo (etapa II), se enfatiza en el manejo del riego y la nutrición realizando el seguimiento y los ajustes necesarios al plan de ferti-riego propuesto. Al final del cultivo (etapa III) las labores se centran en la limpieza, desinfección y mantenimientos del sistema y los equipos.

► EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración de un cultivo (ET_c) depende de la etapa fenológica y de algunos parámetros climáticos tales como radiación solar, temperatura, humedad del aire y la velocidad del viento. Asimismo, las prácticas de cultivo (como podas y tutorado) y la densidad de siembra, afectan la morfo-fisiología de la planta y también influyen en la demanda hídrica. La ET_c se estima como el producto de una evapotranspiración de referencia (ET_o), por un coeficiente específico de cada cultivo (K_c).

$$\text{Si la } ET_c = ET_o * K_c \text{ entonces } K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

El método Penman-Monteith FAO-56 es el modelo más preciso y es el recomendado para el cálculo de la ET_o, ya que considera el cultivo, la localización geográfica (altitud y latitud) y la radiación solar, temperatura, humedad del aire y velocidad del viento.

En ferti-irrigación proporcional, una vez estimada la ET_c en la etapa I (antes de sembrar), se procede a realizar el plan de fertilización. En este momento, se formula la solución nutritiva a aplicar en el ferti-riego considerando los requerimientos nutricionales del cultivo. Para obtener las concentraciones óptimas de nutrientes (mg/L) en solución nutritiva, se puede utilizar como referencia la tasa de absorción (mg/L) del cultivo según la fase fenológica, que relaciona la curva de absorción de nutrientes (mg) con el consumo de agua (ET_c en L).

Sin embargo, en la mayoría de los casos es difícil estimar con precisión la tasa de absorción de nutrientes (mg/L) para utilizarla como referencia generalizada de concentración de la