

Universidad de Costa Rica
Escuela de Agronomía
Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno
Dr. Freddy Soto Bravo.
Alajuela, 2020.

FERTIRRIGACIÓN EN CULTIVO SIN SUELO EN INVERNADERO.

EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA Y NUTRIENTES.

Los términos **fertirrigación** y **fertiriego** no están registrados en el diccionario de la Real Academia Española (RAE). Sin embargo, si se reportan las palabras fertilizar, fertilización, riego e irrigación, que al combinarlas pueden formar los términos técnicos ferti-riego (fertiriego) o ferti-irrigación (fertirrigación). Estos han sido ampliamente utilizados y aceptados técnicamente en el ámbito de la producción e investigación en agronomía de países de habla hispana.

Por tanto, fertirrigación o fertiriego se define 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. Puesto que el riego y la fertilización forman un binomio inseparable e intrínseco al fertiriego, es incuestionable que para nutrir bien un cultivo hay que saber regar.

El fertiriego, representa el método idóneo para mejorar la eficiencia de uso del agua, de los fertilizantes y de la mano de obra, permitiendo incrementar los rendimientos, y disminuir los costos de producción y la contaminación ambiental. Por tanto, contribuye a asegurar la sostenibilidad económica, social y ambiental de los sistemas agrícolas.

Desde el punto de vista práctico la fertirrigación se puede clasificar en convencional y proporcional. En fertiriego **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 fertiriego **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 (mg) y de agua (litros) del cultivo (Figura 1).

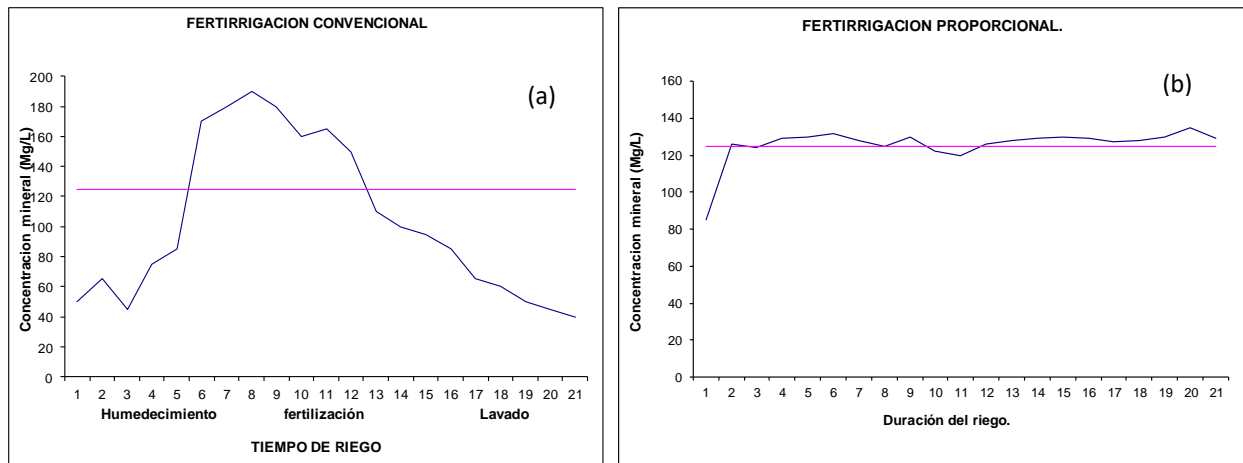


Figura 1. Evolución de la concentración de nutrientes en el agua (mg/L) de riego durante el fertiriego convencional (a) y proporcional (b).

EFICIENCIA

Una de las principales ventajas del fertiriego es incrementar la eficiencia en el uso del agua (**EUA**) y de nutrientes (**EUN**) en agricultura. La EUA (en kg/L o kg/m³) expresa la cantidad de producto 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 (colones) por volumen de agua (L o m³) absorbida. 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 (*disminución de la radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa e incremento de temperatura*) influyen en la altura, arquitectura y distribución del área foliar, y en las propiedades aerodinámicas del cultivo. Comparativamente, los cultivos en invernadero presentan una EUA (kg/m³) superior a los cultivos a campo abierto. Por ejemplo, en Almería e Israel la EUA en cultivo de tomate a campo abierto alcanza 17 kg de producto comercial por m³ de agua, frente a 35 kg/m³ en invernadero; mientras que en Holanda, la EUA en cultivos bajo invernadero con control de clima puede alcanzar hasta 67 kg/m³.

ETAPAS DEL FERTIRIEGO

En general se identifican tres etapas de planificación del fertiriego: **I- antes de sembrar, II-durante el ciclo de cultivo y III- después del cultivo**. En la **etapa I**, se elabora el plan de ferti-irrigación, que incluye dos componentes, el diseño agronómico y el diseño hidráulico. Durante el ciclo cultivo (**etapa II**), se enfatiza en el manejo del riego y la nutrición realizando el seguimiento y los ajustes necesarios al plan de fertiriego propuesto. Al final del cultivo (**etapa III**) las labores se centran en la limpieza, desinfección y mantenimientos del sistema y equipos de fertiriego.

En la **etapa I**, en el diseño agronómico se determinan los requerimientos de agua y nutrientes del cultivo, es decir se planifica **cuánto regar y fertilizar** en las diferentes fases del cultivo. Determinar **cuánto regar** permite optimizar los aportes de agua al cultivo, para 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. El **cuánto** regar, se denomina técnicamente como la “**evapotranspiración del cultivo**” (**ET_c**) y se expresa en mm o L/m² por unidad de tiempo (hora, día, mes). La ET_c incluye el agua que transpira el cultivo a través de las hojas más el agua que se evapora desde la superficie húmeda y expuesta del sustrato.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

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

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

La ET_o se estima en función de una superficie de referencia, que es un cultivo hipotético de pasto verde bien regado, con una altura uniforme de 0,12 m, creciendo activamente y cubriendo totalmente al suelo.

Existen diferentes métodos para estimar la ET_o (Penman-Monteith FAO-56, Penman FAO-24, tanque evaporímetro clase, FAO-radiación y Hargreaves) que utilizan parámetros de clima tales como radiación solar, temperatura, humedad ambiental y viento. Sin embargo, estudios realizados en diferentes regiones del mundo, han mostrado resultados variables en el grado de precisión para estimar la ET_o por dichos métodos, cuando se compara con medidas directas realizadas en lisímetros. El método Penman-Monteith FAO-56 resultó ser el 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 fertirrigación proporcional en sustrato, 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 fertiriego. 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 del cultivo, que relaciona la curva de absorción de nutrientes (mg) con el consumo de agua calculado (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 de concentración en solución nutritiva. Esto debido a que las características morfo-fisiológicas del cultivo dependen de la interacción entre el **genotipo, clima y manejo agronómico**, e influyen directamente sobre la magnitud y patrón de absorción de agua y nutrientes. Actualmente, existe muy poca información disponible acerca del consumo de agua y nutrientes para cultivos bajo invernadero considerando la interacción **genotipo-clima-manejo agronómico**. 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.

Aspectos de manejo tales como la nutrición (excesos, deficiencias, toxicidades, salinidad, pH), preparación y tipo de suelo, uso de coberturas, prácticas de cultivo (podas, tutorado, densidades de siembra, volumen de sustrato, etc.), técnicas de cultivo (invernadero y campo abierto), método de riego, factores bióticos, genotipos y clima, entre otros, afectan las características morfo-fisiológicas del cultivo y consecuentemente la demanda hídrica y nutricional de los cultivos. Por otra parte, 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 cual no es correcto utilizar referencias fijas sobre la duración de etapas de crecimiento de cultivos, debido a que las temperaturas varían según fechas de siembra.

VARIABLES PARA CÁLCULO

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. En el primer objetivo se trata aportar una solución fertilizante equilibrada en aniones y cationes para mantener una concentración óptima de nutrientes en solución de la rizosfera y abastecer los requerimientos diarios del cultivo, considerando los aportes de nutrientes del agua y del sustrato. Para ello se requiere realizar los respectivos análisis químicos del sustrato y del agua a utilizar. En el segundo objetivo, surge porque todo ión aportado por encima de su tasa de absorción (mg/L) o requerimiento del cultivo, tiende a acumularse en el sustrato. Por ello, es necesario un aporte extra de agua, para evitar la acumulación de sales que podrían afectar el desarrollo del sistema radicular y consecuentemente el rendimiento. El drenaje tiene una función de lavado del medio de cultivo, arrastrando los iones acumulados en exceso. En cada evento de riego la concentración de nutrientes en la rizosfera se renueva, manteniendo una disponibilidad y concentración óptima según la demanda en las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

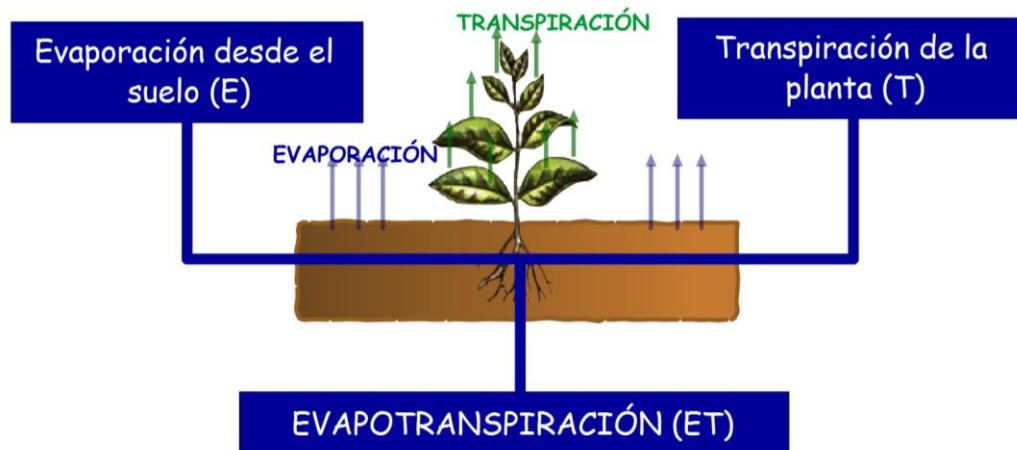
Una vez formulada la solución nutritiva a utilizar, es indispensable un buen diseño hidráulico del sistema de riego, considerando la ETC, el caudal de agua disponible y el área de cultivo a ferti-irrigar. En el diseño hidráulico se analizan todos los aspectos técnicos relacionados con la disponibilidad, almacenamiento, impulsión, conducción, dosificación y distribución del agua de riego, permitiendo estimar la cantidad y costo de materiales y equipos requeridos. Ya con el diseño agronómico e hidráulico, se debe calibrar el sistema de riego, determinando el coeficiente de uniformidad del sistema de riego (homogeneidad en la distribución del agua y fertilizantes) y calibrando el sistema de inyección.

UN RESUMEN

Una vez determinado **cuánto** volumen de solución nutritiva aplicar en el fertiriego, se puede determinar **cuándo** regar, esto es, la frecuencia entre riegos. En comparación con el suelo, en el cultivo en sustrato se aplican varios eventos de fertiriego durante el día, dependiendo de las etapas de cultivo, del clima y del sustrato. En fertiriego 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 a un

volumen pequeño de sustrato, el sistema de cultivo es altamente sensible a los cambios en el clima y manejo del cultivo. Esto hace necesario, que sea en la etapa II del proceso de fertiriego, durante el ciclo de cultivo, donde se enfatiza en el manejo del plan de fertiriego realizando el seguimiento y los ajustes necesarios. Es en esta etapa, donde se establece con precisión la frecuencia (**cuándo**) de fertiriego en el cultivo, utilizando métodos de control asociados con parámetros de clima, de planta y de sustrato, o combinando algunos de estos.

ET = EVAPOTRANSPIRACIÓN



Componentes de la evapotranspiración del cultivo



Estación meteorológica y tanque evaporímetro clase A para la determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia, bajo invernadero.



Tensiómetros para el control del riego: 1- a +/-35 cm de profundidad indica si el riego es excesivo por exceso de humedad en capas inferiores; 2- a +/-15-20 cm de profundidad indica cuando regar.



Franja húmeda del riego por goteo