

NOTA TÉCNICA

COMPORTAMIENTO DE LA DESCARGA DE FERTILIZANTES EN GOTEROS CERCANO Y LEJANO AL INYECTOR

Roberto Villafañe¹, Alcides Jaspe¹, Jesús D'Lima¹ y Carmen Basso¹

RESUMEN

En los sistemas de fertirrigación de los cultivos, el tiempo de operación del inyector de fertilizante se suele calcular en función de los requerimientos de agua sin considerar el tiempo de recorrido del agroquímico desde el inyector hasta los goteros más lejanos. El objetivo de esta investigación es proponer una forma de estimar el tiempo de operación del inyector que garantice la aplicación total y uniforme de los fertilizantes. En dos sistemas de fertirrigación en stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] se calculó el tiempo de recorrido del agua desde el inyector de fertilizantes hasta un gotero cercano y otro lejano en dos tratamientos de riego (80 y 100 % de la evapotranspiración del cultivo) utilizando la ley de la conservación de la masa. Para ello, se colectó el agua descargada por un gotero cercano y otro lejano, a intervalos constantes de tiempo desde el inicio del fertirriego hasta final del riego. A cada muestra de agua se le midió la conductividad eléctrica lo cual permitió realizar gráficas de descarga de los fertilizantes en ambos goteros. También, basado en la ecuación de calibración, se contabilizó la cantidad total de fertilizante descargada por gotero. El tiempo transcurrido desde el inicio del fertirriego hasta la descarga total de fertilizantes por el gotero lejano se comparó con la suma del tiempo de operación del inyector más el tiempo de recorrido del agua desde inyector hasta el gotero lejano para proponer un procedimiento de desglose del tiempo de riego.

Palabras clave adicionales: Advección, dispersión, fertirriego, transporte de fertilizantes en tuberías

ABSTRACT

Behaviour of fertilizers discharge in close and distant emitters to injector

In fertigation of crops, the time of injector operation is usually calculated based on the water requirements without considering the travel time of fertilizer from the injector to the farthest emitters. The objective of this research is to propose a way to estimate the operating time of the injector to ensure full and uniform application of fertilizers. In two systems of fertigation in stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] the travel times of water from the injector to the closest and the farthest emitters were calculated under two irrigation treatments (80 and 100 % of the crop evapotranspiration), using the conservation mass law. The water discharged by those emitters was collected at constant intervals from the start of fertigation to the end of watering. Electrical conductivity was measured in each water sample, which allowed drawing curves of fertilizer discharge for both emitters, and determining the amount of fertilizer applied based on the calibration equation. The time from the start of fertigation till the total discharge of fertilizers by the last emitter was compared with the summation of the fertilizer injection time and the water travel time from the injector to the last emitter in order to propose a method of splitting the irrigation time.

Additional key words: Advection, dispersion, fertigation, fertilizer transport in pipelines

INTODUCCIÓN

La práctica de fertirrigación, que consiste en aplicar a los cultivos el fertilizante conjuntamente con el agua a través del sistema de riego, requiere que el proceso comience una vez que las tuberías de la red han desalojado el aire y el sistema de riego ha alcanzado la presión de operación

necesaria, y debe culminar antes que se cumpla el tiempo de riego para garantizar la descarga completa de los fertilizantes y el lavado de las tuberías (López, 2005; Evans y Waller, 2007; Schwankl, 2015); sin embargo, el tiempo de operación del inyector de fertilizante se suele calcular con los requerimientos de agua obtenidos en el diseño agronómico (Rodrigo et al., 1992;

Recibido: Julio 16, 2015

Aceptado: Marzo 21, 2016

¹Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay. Venezuela
e-mail: r.villafae@gmail.com

López, 2005; Evans y Waller, 2007) sin considerar en el cálculo el tiempo de viaje de los agroquímicos desde el inyector hasta los goteros lejanos de cada unidad operacional. En muchos casos el tiempo posterior a la desactivación del dosificador no es suficiente para la descarga completa de la solución fertilizante en los goteros más alejados del cabezal, lo que resulta en aplicaciones poco uniformes o con problemas de obstrucción de emisores por precipitación de fertilizantes. El objetivo de este trabajo es el de considerar del desglose del tiempo del fertirriego en sus tiempos parciales para determinar el tiempo de operación del inyector que garantice la aplicación total y uniforme de los fertilizantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

En dos experimentos de dosis de riego en el cultivo de stevia, uno manejado bajo condiciones protegidas en casa de cultivo y otro a campo abierto, con densidades aproximadas de 3,6 plantas·m⁻² y 66.000 plantas·ha⁻¹, respectivamente, se instalaron sistemas de riego localizados usando cinta de riego con goteros separados 30 cm, con líneas regantes de 12 m de largo en el ensayo bajo condiciones protegidas y 2,7 m en el ensayo de campo (Figura 1). En cada caso se probaron dos láminas de riego (80 y 100 % de la evapotranspiración del cultivo, ETC) según lo reportado en un trabajo previo (Villafañe et al., 2016). Utilizando la ley de la conservación de la masa, en ambos sistemas se calculó el tiempo de recorrido del agua desde el inyector de fertilizantes hasta un gotero cercano y otro lejano. A los efectos, se midieron la longitud y diámetro interno de las tuberías desde el inyector ubicado en el cabezal de riego hasta los goteros mencionados. Para el cálculo, el caudal que circulaba por la tubería principal se fue fraccionando de forma proporcional al número de derivaciones que encontraba en su paso a través de las tuberías secundarias, las múltiples y las cintas de riego. Estos caudales permitieron calcular la velocidad media de circulación por tramos para luego obtener los tiempos parciales de recorrido del agua. Finalmente, los tiempos parciales se sumaron para obtener el tiempo total de recorrido del agua desde el inyector hasta los goteros cercanos y lejanos a él (Cuadro 1). Durante el riego, se colectó toda el agua descargada en un

gotero cercano y otro lejano, a intervalos constantes de tiempo (1 minuto en el sistema manejado bajo condiciones protegidas y 2 minutos en el sistema a campo abierto). Estas colectas se realizaron desde el inicio del fertirriego (inicio de operación del inyector) hasta el final del riego.

En cada muestra de agua colectada se midió la conductividad eléctrica (CE) lo cual permitió la elaboración de curvas de CE en función del tiempo para apreciar el comportamiento de la descarga de los fertilizantes por los goteros cercano y lejano.

Por otra parte, se estimó la cantidad de fertilizante recibida en cada muestreo utilizando la relación existente entre la concentración del agroquímico y la CE. Para esto se prepararon soluciones con la mezcla de los fertilizantes aplicados en los ensayos, es decir, urea (4,89 g), fosfato monoamónico (1,13 g) y fórmula completa 13-3-46 (8,5 g) diluidos en 1 L de agua. De esta solución madre se prepararon diluciones de 1:10, 1:20, 1:50 y 1:100 para la elaboración de la curva de concentración vs. CE y se obtuvo la ecuación NPK (g·L⁻¹ de fertilizante) = 0,817 CE (dS·m⁻¹) - 0,158. La cantidad de fertilizante descargada en cada gotero se obtuvo en función del volumen total de agua recibida.

En el experimento manejado bajo condiciones protegidas se realizaron tres riegos por semana y en el de campo dos por semana, debido a que el suelo bajo condiciones protegidas, de textura areno francoso, retenía menos agua que el suelo franco arcillo arenoso del ensayo a campo abierto.

En ambos ensayos se utilizó agua subterránea con una conductividad eléctrica de 0,2 dS m⁻¹. Para la dosificación del fertilizante se usaron inyectores de un equipo Dosmatic en el ensayo bajo condiciones protegidas y un equipo Dosatron en el ensayo de campo; ambos del tipo proporcional hidráulico con rango de dosificación de 0,2 a 2%. El tiempo de operación de estos inyectores fue medido desde el inicio de la inyección hasta la succión total del volumen previsto de solución madre y el cual fue de 4 minutos, en promedio, en ambos sistemas de riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La dinámica de la descarga del fertilizante por los goteros cercano y lejano para las dos láminas

de riego en el ensayo bajo condiciones protegidas (Figuras 2 y 3) y en condiciones de campo (Figuras 4 y 5) mostró que la descarga del fertilizante genera una curva con un máximo (pico), tal como lo señalan Evans y Waller (2007). La magnitud del pico en el gotero cercano fue mayor al del gotero lejano debido al menor tiempo disponible en el primero de ellos para la difusión del fertilizante.

El tiempo de inicio de la descarga en los goteros del experimento de campo fue menor al tiempo de recorrido del agua mostrado en el Cuadro 1, atribuido al proceso de difusión del fertilizante en la masa de agua en movimiento así como a la variación de la velocidad en la sección de las tuberías. En el centro de la sección de las tuberías la velocidad siempre es mayor que la velocidad media (Constain, 2013).

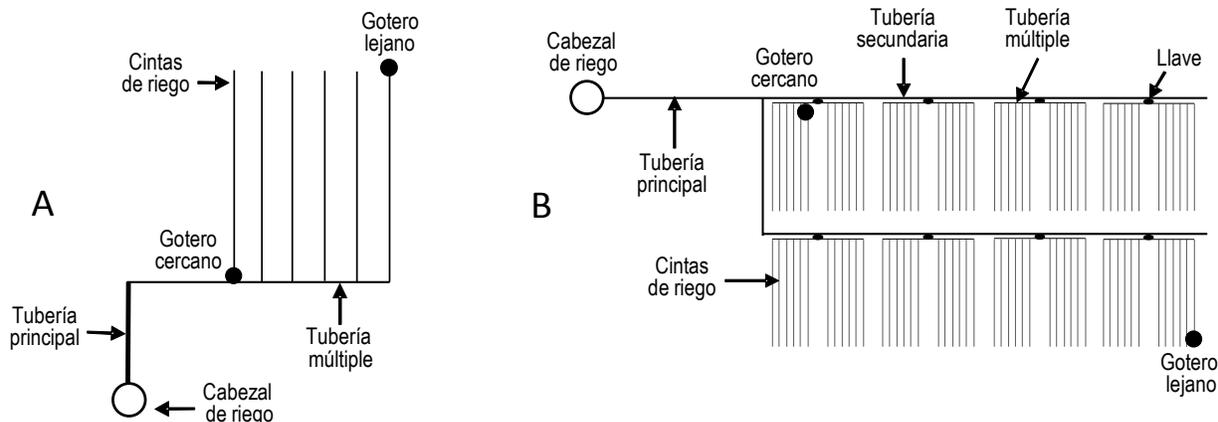


Figura 1. Esquema del ensayo de fertirriego en *Stevia* bajo condiciones protegidas (A) o manejado a campo abierto (B) donde se muestra la ubicación de los goteros cercanos y lejanos

Cuadro 1. Tiempo promedio de recorrido del agua desde el inyector de fertilizantes hasta los goteros cercanos y lejanos en cada sistema de riego

Sistema de riego	Tiempo (minutos)	
	Gotero cercano	Gotero lejano
Casa de cultivo	1,01 ± 0,0	9,72 ± 0,0
Campo	5,47 ± 1,49	16,35 ± 1,47

En el experimento bajo condiciones protegidas la solución fertilizante descargó completamente en ambos goteros en el tratamiento con la mayor lámina (100 % de la ETc) debido a que el tiempo de riego fue suficiente para el lavado de las tuberías (Figura 2), mientras en el caso del tratamiento con la lámina menor (80 % ETc) el fertilizante no descargó completamente en el gotero lejano (Figura 3) debido a que el tiempo de riego para ese tratamiento no lo permitió. En ambos casos el tiempo de operación del dosificador y el caudal del sistema fueron similares pero no el

tiempo de riego. En el experimento de campo, el tiempo de riego fue suficiente en ambos tratamientos para permitir el lavado de las tuberías (Figuras 4 y 5).

En las Figuras 2 y 3 se observa que el gotero más lejano descargó solución fertilizante al inicio del fertirriego; es decir, antes de que se alcanzara el tiempo de recorrido del agua desde el inyector hasta dicho gotero, lo cual se atribuye al remanente de fertilizante depositado en las tuberías durante el riego anterior.

En cuanto a la uniformidad de la descarga, la cantidad de fertilizante colectada por cada gotero se muestra en el Cuadro 2. Se observa similitud en la descarga de los goteros cercano y lejano para cada tratamiento de riego en cada tipo de experimento, a excepción del tratamiento de 80 % de la ETc en el experimento bajo condiciones protegidas en el cual la descarga fue menor en el gotero lejano atribuido a que el tiempo de riego fue insuficiente para que ese gotero descargara todo el fertilizante, una consecuencia de los regímenes de riego deficitario, tal como ha sido señalado por Schwankl (2015). En el experimento de campo, los dos tratamientos

evaluados mostraron descargas similares en ambos goteros porque el tiempo de riego permitió el lavado de las tuberías.

Los resultados experimentales de este estudio sugieren la necesidad de desglosar el tiempo de riego durante el diseño para asegurar que el fertilizante descargue totalmente en todos los goteros que están en operación durante un momento dado. En tal sentido, en la Figura 6 se propone una forma de desglose del tiempo de riego en la cual todos los tiempos parciales (t_1 , t_2 , t_3 y t_4) se pueden estimar durante el diseño del sistema de riego.

El tiempo t_1 es el lapso de llenado de las tuberías. Preliminarmente se puede asumir que durante el llenado no hay salidas de agua de forma que este tiempo se obtendría al dividir el volumen que ocupan las tuberías (función de su diámetro y longitud) entre el caudal del sistema (función del caudal nominal del gotero y el número de ellos). En la prueba de campo este tiempo deberá ajustarse midiendo el tiempo desde el inicio del riego hasta que el sistema alcance la presión de operación

Posteriormente, y como una primera aproximación, se puede estimar que el tiempo de operación del dosificador (t_2) más el tiempo de recorrido del agua en las tuberías y cintas de riego (t_3) sería la mitad del tiempo de riego t_r , siguiendo la regla del 25:50:25 (López, 2005; Evans y Waller, 2007). Es decir, 25 % del t_r para el llenado de las tuberías y ajuste de las presiones, 50 % para la operación del dosificador

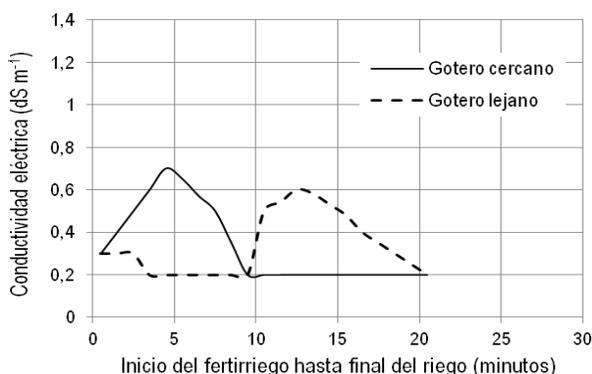


Figura 2. Descarga de los fertilizantes por los goteros cercano y lejano en el tratamiento de 100 % de la ETC en el sistema de riego bajo condiciones protegidas

y recorrido del agua, y 25 % para el lavado de las tuberías.

El tiempo t_3 se puede calcular por tramos de igual diámetro y caudal para luego totalizarlos, tal como se explicó previamente. Luego, partiendo del supuesto que $t_2 + t_3 = 0,5 t_r$, se obtendría por diferencia el valor de t_2 .

El tiempo remanente para el pase total del fertilizante (t_4) se obtendrá entonces por diferencia, usando los valores anteriores [$t_4 = t_r - (t_1 + t_2 + t_3)$].

Se espera que el tiempo t_4 resulte en un valor positivo pero bajo, y de no lograrse, habría que modificar alguno de los tiempos parciales. Pero dado que t_1 y t_3 representan valores constantes para el sistema considerado, sólo se podría modificar el tiempo de operación del dosificador (t_2). Es decir, aumentar el tiempo t_2 si el t_4 resultante es muy alto o disminuirlo si el t_4 resultara en una cifra negativa.

Para lograr el ajuste final de t_2 que asegure el pase total del fertilizante en los goteros más lejanos y el correspondiente lavado de la tuberías se requeriría una prueba de campo como la aquí señalada.

Asimismo, si al finalizar el riego aún hay descarga de fertilizante en los goteros más lejanos, es señal de que quedó solución fertilizante en las tuberías. En este caso, se podría aumentar la concentración de la solución madre (hasta cierto límite para no causar daño al cultivo) para reducir el tiempo de operación del dosificador y ese tiempo ganado se podría agregar al t_4 para favorecer el lavado.

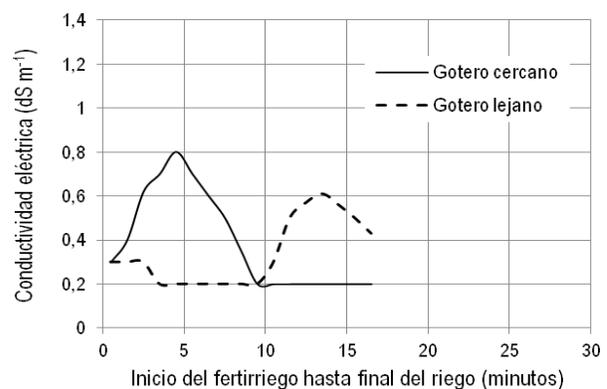


Figura 3. Descarga de los fertilizantes por los goteros cercano y lejano en el tratamiento de 80 % de la ETC en el sistema de riego bajo condiciones protegidas.

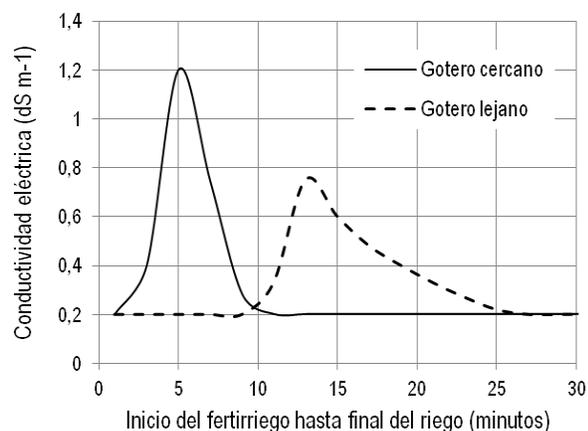


Figura 4. Descarga de los fertilizantes por los góteros cercano y lejano en el tratamiento de 100% de la ETc en el sistema de riego de campo.

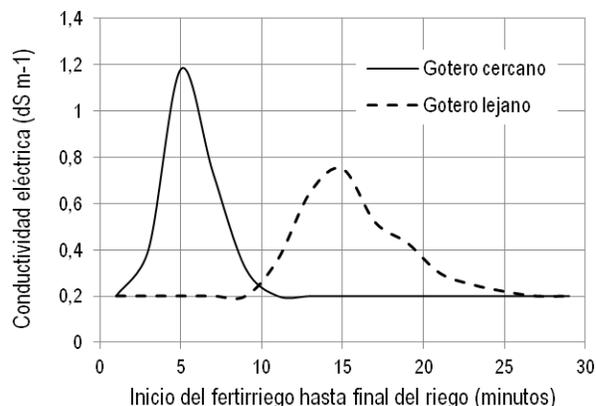


Figura 5. Descarga de los fertilizantes por los góteros cercano y lejano en el tratamiento de 80 % de la ETc en el sistema de riego de campo

Cuadro 2. Cantidad total de fertilizante descargada por los góteros durante la jornada de fertirriego

Sistema de riego	Tratamiento	Cantidad de NPK descargada por el gotero (mg)	
		Gotero cercano	Gotero lejano
Casa de cultivo	100% de la ETc	40,64	41,80
	80% de la ETc	46,36	34,92
Campo	100% de la ETc	50,04	51,86
	80% de la ETc	50,31	53,59

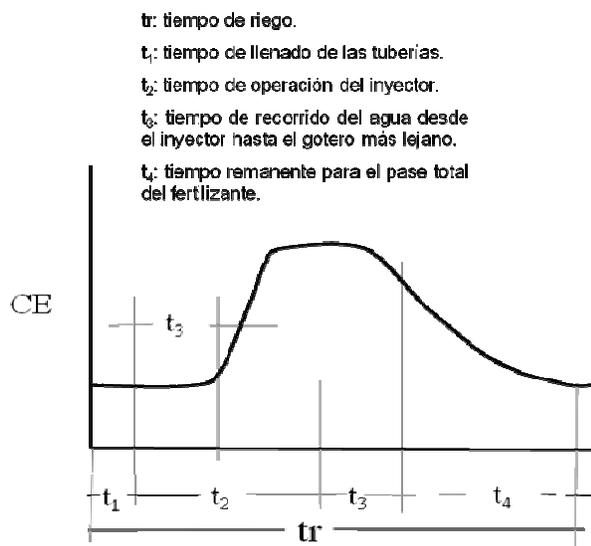


Figura 6. Propuesta de desglose del tiempo de riego en el diseño del fertirriego (vista desde el gotero más lejano)

AGRADECIMIENTO

Al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT), por la subvención al proyecto 2013001817 con recursos provenientes de los aportes establecidos en la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (LOCTI).

LITERATURA CITADA

- Constain, A. 2013. Interpretación de los parámetros de la metodología ADZ por un procedimiento de advección-dispersión con el coeficiente de transporte función del tiempo. *Ingeniería Civil* 172: 3-14.
- Evans, R. y P. Waller. 2007. Application of chemical materials. *In: F. Lamm, J. Ayars y F. Nakayama (eds.). Microirrigation for Crop Production.* Elsevier. New York. pp. 285-327.
- López, M. 2005. Cabezal de riego. *In: C. Cadahia (comp.). Fertirrigación. Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales.* Edit.

- Mundi-Prensa. Madrid. pp. 259-276.
4. Rodrigo, J., J. Hernández, A. Pérez y J. González. 1992. Riego Localizado. Edit. Mundi-Prensa. Madrid.
 5. Schwankl, L. 2015. Chemigation uniformity in sustainable microirrigation system. *In*: M. Goyal (ed.). Sustainable Microirrigation: Principles and Practices. Apple Academic Press. Oakville, Canada. pp. 276-286.
 6. Villafañe, G., C. Basso y R. Villafañe. 2016. Evapotranspiración y coeficientes de cultivo (Kc) de stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] bajo condiciones parcialmente protegidas. *Bioagro* 28(2): 131-136.