

ESTA TECNOLOGÍA, INCORPORADA RECIENTEMENTE, HA SIDO DISEÑADA PARA EL CULTIVO SIN SUELO

Inyección múltiple proporcional de fertilizantes en cultivos hidropónicos



■ Luis Rincón Sánchez.

IMIDA (Murcia).

La inyección proporcional a la cantidad de fertilizante es un avance de la inyección múltiple de fertilizantes, que se ha incorporado en los últimos años como la tecnología más avanzada. Se trata de un sistema de inyección diseñado fundamentalmente para cultivos sin suelo (hidroponía) y no es recomendable aplicarlo en cultivos sobre suelo por la complejidad de su programación.

El término de "inyección múltiple proporcional" se refiere exclusivamente a la posibilidad de inyectar los fertilizantes a través de disoluciones concentradas (madre) en proporción a las cantidades a incorporar de cada uno de ellos. Se trata de una tecnología basada en la informática y en las características del inyector tipo venturi.

Las componentes del equipo de inyección múltiple proporcional de fertilizantes son prácticamente las mismas que las del equipo de inyección múltiple continua (**figura 1**), diferenciándose principalmente en que se incorpora una válvula solenoide de efecto inmediato en la aspiración de los inyectores venturi.

El fundamento de la inyección múltiple proporcional, o en proporción a la cantidad de fertilizantes a incorporar desde las diferentes disoluciones concentradas, reside en la apertura y cierre de la válvula solenoide de efecto inmediato que lleva incorporada en la aspiración cada inyector tipo venturi (**figura 1**), órdenes que son enviadas desde el programa de comunicaciones. En su funcionamiento, los inyectores venturi están siempre en régimen de inyección continua (por su propio fundamento), transformándose en inyección proporcional cuando el programa envía órdenes determinadas de apertura y cierre a la válvula solenoide de efecto inmediato, produciéndose un régimen de inyección en ciclos sucesivos. Un ciclo se compone de un pulso seguido de una pausa. El pulso es el tiempo en el que la válvula de efecto inmediato permanece abierta, tiempo en el que se inyectan las disoluciones concentradas de fertilizantes y la disolución ácida a la red de rie-

Figura 1.

Equipo de inyección con venturis.



go. La pausa es el tiempo en que permanece cerrada. El programa ajusta automáticamente los ciclos, basándose en los porcentajes de incorporación de fertilizantes de cada inyector consignados en la programación y en los valores de conductividad eléctrica y pH a mantener en la disolución de riego, parámetros que también son demandados por el programa y que deben ser consignados.

La **figura 2** presenta el croquis en el que se fundamenta la inyección proporcional a la cantidad de cada fertilizante. Se destaca la cuestión principal de la inyección múltiple proporcional, en la que el tiempo total de pulsos

(tiempo de inyección) de los inyectores debe ser la suma de los caudales de inyección de las disoluciones madre de fertilizantes, supuesto su funcionamiento en forma continua. De esta forma es posible evaluar el porcentaje de inyección de cada inyector.

Parámetros de programación

Concentración de las disoluciones madre

A diferencia de la inyección múltiple continua, en la inyección múltiple proporcional se utiliza la misma concentración para todas las disoluciones madre. Con carácter general, la concentración a utilizar oscila entre 0,1 y 0,15 kg/l. La menor concentración se utilizará en perío-

dos de temperaturas frías del agua (< 15°C) y la más elevada en períodos de temperaturas medias (> 20°C).

Caudal continuo de riego

El caudal continuo de riego se calcula aplicando la **ecuación 1**, donde Q es el caudal continuo de riego en m³/h, PI es la pluviometría de la instalación en mm/h, S la superficie de la unidad de riego en hectáreas y 10 la transformación a m³/h.

Ecuación 1

$$Q = PI \times S \times 10$$

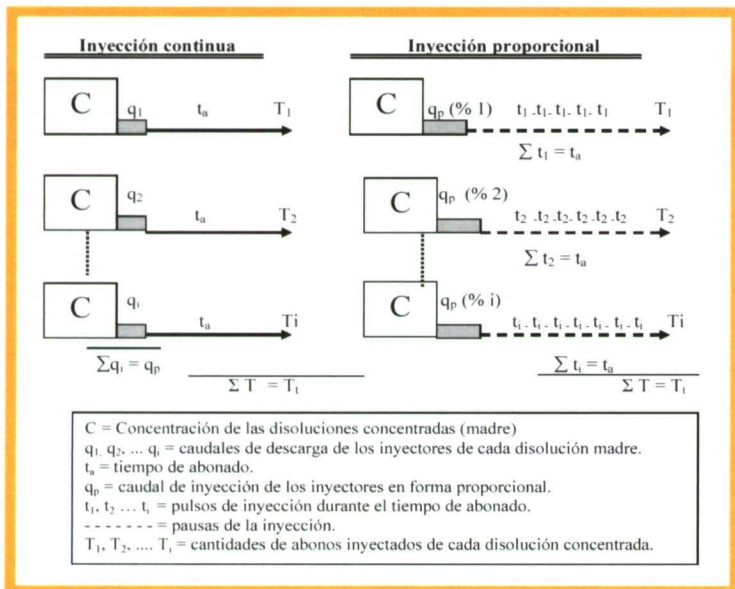
Caudal de los inyectores

Para el funcionamiento de la inyección múltiple continua es necesario utilizar el mismo caudal de inyección para todas las disoluciones madre.

Su evaluación se realiza a partir de la disolución nutritiva de riego que nos facilita la concentración de cada fertilizante en el agua de riego, fundamentándose en el esquema de la **figura 3**, en el que se cumplen las **ecuaciones 2 y 3**, donde C_i es la concentración de cada diso-

Figura 2.

Croquis de la inyección múltiple proporcional a la cantidad de fertilizantes.



Ecuación 2

$$Q \times c_i = q_i \times C_i$$

Ecuación 3

$$q_i = \frac{Q \times c_i}{C_i}$$

lución madre en g/l, q_i el caudal de inyección de cada disolución madre en l/h, Q el caudal de riego de la instalación en l/h y c_i la concentración de cada fertilizante en la disolución de riego en g/l.

Fundamentándose en la **figura 1**, el caudal de inyección (q_p) se expresa en la **ecuación 4**, donde q_p es el caudal de inyección en forma proporcional a la cantidad de fertilizantes en l/h.

Caudal nominal del inyector de disolución ácida

Dicho caudal viene dado por la expresión **ecuación 5**, siendo q_{ac} el caudal de inyección de ácido de partida en l/h, Q el caudal continuo de riego en l/h, c_{ac} la concentración de ácido en la disolución de riego en g/l y C_{ac} la concentración de ácido en la disolución madre.

Ecuación 4

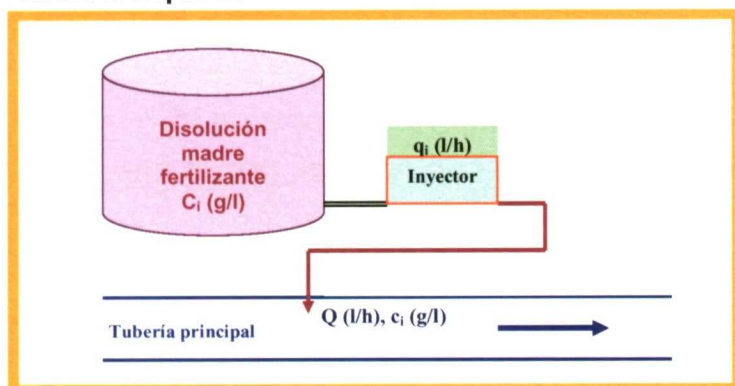
$$q_p = \sum q_i$$

Ecuación 5

$$q_{ac} = \frac{Q \times c_{ac}}{C_{ac}}$$

Figura 3.

Croquis de inyección de cada disolución madre en un cultivo hidropónico.



Porcentaje del tiempo de inyección

Los porcentajes del tiempo de inyección (% I) de cada inyector (I_i) se pueden determinar de dos formas:

1. Relacionando cada uno de los caudales de inyección (q_i) de cada disolución madre con el caudal de inyección proporcional (q_p), resultando la **ecuación 6**.

2. Relacionando la cantidad de abonos a inyectar en cada disolución madre (T_i) con la cantidad total de abonos (concentración en la disolución nutritiva) a aportar (T_t), resultando la **ecuación 7**.

Los porcentajes deben expresarse siempre en números enteros.

Ecuación 6

$$\% I_i = \frac{q_i}{q_p} \times 100$$

Ecuación 7

$$\% I_i = \frac{T_i}{T_t} \times 100$$

Ecuación 8

$$V_i = q_i \times t_a \times \% I_i$$

Ecuación 9

$$V_d = V_i \cdot U$$

Volumen de los depósitos de disoluciones madre

Para cada unidad y riego, la capacidad se deduce por la **ecuación 8**, en la que V_i es el volumen de los depósitos de disoluciones concentradas madre de fertilizantes en litros, q_i el caudal de trabajo de cada inyector en l/h, t_a es el tiempo de abonado y $\% I_i$ es el porcentaje de inyección del inyector. En cultivos hidropónicos el tiempo de abonado coincide generalmente con el tiempo total de riego.

Para U unidades/día ver

ecuación 9.

Para N días, ver **ecuación 10.**

Ecuación 10

$$V_t = V_d \cdot N$$

Control automático de la CE y pH de la disolución de riego

En la programación de inyección proporcional de cada fertilizante, la conductividad eléctrica y el pH de la disolución de riego son parámetros a consignar obligatoriamente en el programa del controlador, por lo que deben ser evaluados con precisión debido a que el automatismo mantiene los valores prefijados en la red de riego. Para el control de la conductividad eléctrica y el pH, el equipo incorpora sondas de medida continua de conductividad eléctrica y pH de la disolución de riego.

El programa compara los valores medidos con los consignados reajustando los ciclos de inyección si es necesario. Si los valores medidos son ligeramente inferiores a los consignados, se aumenta el tiempo del pulso, es decir, aumenta el tiempo de inyección de disolución concentrada, aumentando consecuentemente la concentración en la disolución de riego, así hasta conseguir que se igualen ambas conductividades. Si, por el contrario, los valores medidos son ligeramente superiores, el programa disminuye el tiempo del pulso (tiempo de inyección de disolución concentrada), lo que se traduce en una disminución

Cuadro I.

Diseño de la disolución genérica.

Macroelementos meq/l	NO ₃ ⁻ (nitratos)	PO ₄ H ₂ ⁻ (fosfatos)	SO ₄ ²⁻ (sulfatos)	Total	Microelementos	ppm
Ca ²⁺ (calcio)	6	—	—	6	Fe (Hierro)	2
Mg ²⁺ (magnesio)	—	—	3	3	Mn (Manganeso)	0,5
K ⁺ (potasio)	5	2	—	7	Zn (cinc)	0,1
NH ₄ ⁺ (amonio)	1	—	—	1	Cu (Cobre)	0,1
H ⁺ (hidrógeno)	3	—	—	3	B (Boro)	0,3
Total	15	2	3	20	Mo (Molibdeno)	0,06

Cuadro II.

Composición de la disolución nutritiva en miligramos por litro de disolución.

Fertilizante	Formulación	Pm	Peq	meq/l	mg/l
Nitrato cálcico	Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	236,1	118,1	5	590,35
Nitrato potásico	K NO ₃	101,1	101,1	6	606,70
Fosfato monopotásico	K PO ₄ H ₂	136,1	136,1	2	272,20
Nitrato amónico	NH ₄ NO ₃	80,0	80,0	1	80,00
Sulfato de magnesio	Mg SO ₄ ·7H ₂ O	246,5	123,2	3	369,75
Ácido nítrico (comercial 54%)	HNO ₃	63,0	63,0	3	350,00
				ppm	
Quelato de hierro	Fe-EDDHA			2,00	33,33
Sulfato de manganeso	Mn SO ₄ ·H ₂ O	169,0	84,1	0,50	1,56
Sulfato de cinc	Zn SO ₄ ·7H ₂ O	287,2	143,7	0,10	0,44
Sulfato de cobre	Cu SO ₄ ·5H ₂ O	249,7	124,8	0,10	0,39
Acido bórico	BO ₃ H ₃	61,8	20,6	0,30	1,71
Molibdato amónico	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	1.235,9	206,0	0,06	0,21

Parámetros de programación a consignar en el programa de comunicaciones del controlador:

- Tiempo de riego: $t_r = 1,66$ h (20 riegos de 5 minutos).
- Distribución de t_r : en hidroponía, durante todo el tiempo de riego se inyectan las disoluciones nutritivas madre.
- Caudal de inyección de disoluciones madre de fertilizantes: $q = 900$ l/h.
- Concentración de disoluciones madre de fertilizantes = 143,5 g/l.
- Caudal de inyección de ácido: $q_{ac} = 175$ l/h.
- Concentración de la disolución madre de ácido = 132 g/l (1 ml/l de agua).
- Porcentaje de inyección de disoluciones madre de fertilizantes:

$$I_1 = 30\% - I_2 = 33\% - I_3 = 37\%$$

- Conductividad eléctrica de la disolución de riego. Determinar previamente.
- pH de la disolución de riego. Determinar previamente.

de la concentración en la disolución de riego y, por tanto, de la conductividad eléctrica.

Durante el desarrollo de la fertirrigación, las oscilaciones de la conductividad y del pH en la disolución de riego deben ser pequeñas; en caso contrario, el programa responde con ciclos de funcionamiento erráticos. Para evitar estos problemas, se debe hacer un seguimiento y control de los valores medidos. Cuando se produzcan cambios significativos en los valores de conductividad y/o pH de la disolución de rie-

go (por cambio del agua de riego principalmente), los nuevos valores deben ser consignados en el programa.

La instalación de las sondas de CE y pH de la disolución de riego debe hacerse aguas abajo del punto de inyección en la conducción de agua, punto donde se haya conseguido la mezcla total de las disoluciones de fertilizantes y de ácido inyectadas con el agua de la conducción de riego. La calibración de las sondas debe hacerse regularmente. ■

Ejemplo de programación

Datos de partida

- Instalación: tres tanques de disoluciones madre con inyector de fertilizantes tipo venturi de 1.000 l/h de caudal nominal, un tanque de disolución ácida de 500 l/h dotado de un inyector venturi de 200 l/h de caudal nominal.
- Cultivo: tomate (líneas pareadas a 2,2 m de separación, 0,5 m entre las plantas de cada fila). Densidad de plantación 2 plantas/m².
- Superficie total = 8 ha; unidades = 4; S_U = 2 ha.
- Pluviometría de la instalación: PI = 3,63 mm/h (q = 2 l/h; d₁ = 0,25 m; d₂ = 2,4 m).
- Caudal de riego = 66 m³/h.
- Tiempo total de riego/día = 1,66 horas (20 riegos de 5 m/riego).
- Distribución del tiempo de riego: t₁ = 0, t_a = 1,66 h (20 riegos de 5 minutos/riego); t_r = 0. A consignar en el programa de comunicaciones.
- Concentración de fertilizantes en las disoluciones concentradas: C = 0,15 kg/l = 150 g/l.
- Agua de riego: CE = 1,15 dS/m; pH 7,7.
- Ácido de partida: ácido nítrico comercial (54%, densidad = 1,32 g/l).

Disolución nutritiva

La disolución nutritiva se muestra en los cuadros I y II.

Tanques y fertilizantes

- T1: nitrato cálcico = 590,3 mg/l (0,59 g/l).
- T2: fosfato monopotásico + sulfato de magnesio. Concentración en la disolución de riego = 272,2 + 369,7 = 642 mg/l (0,642 g/l).
- T3: nitrato potásico + nitrato amónico + microelementos. Concentración en la disolución de riego = 606,7 + 80 + 37,6 = 724,3 mg/l (0,724 g/l).
- T4: ácido nítrico comercial (52%). Concentración en la disolución madre: 150 g/l (113,64 ml/l).

Caudal de inyección de disoluciones madre de fertilizante

Aplicando la **ecuación 3** para cada disolución madre se obtiene:

$$q_1 = 259,7 \text{ l/h}; q_2 = 282,5 \text{ l/h}; q_3 = 318,7 \text{ l/h}$$

$$q_p = 259,7 \text{ l/h} + 282,5 \text{ l/h} + 318,7 \text{ l/h} = 860,9 \text{ l/h} = 900 \text{ l/h (ajustado)}$$

Al aumentar el caudal de inyección a 900 l/h para su ajuste preciso, la concentración de las disoluciones madre debe ser ajustada también, siendo este nuevo valor de 143,5 g/l, valor a tener en cuenta para la formación de las disoluciones madre.

Caudal de inyección de ácido

Sustituyendo en la **ecuación 5**: Q = 66.000 l/h, c_i = 0,35 g/l y C_{ac} = 150 g/l, se obtiene:

$$Q = 154 \text{ l/h} = 175 \text{ l/h (ajustado)}$$

El ajuste del caudal de inyección lleva implícito reajustar la concentración de la disolución madre, siendo el nuevo valor:

$$C_{ac} = 132 \text{ g/l.}$$

Porcentaje de inyección de cada disolución concentrada

Aplicando las **ecuaciones 6 ó 7**, se obtienen los porcentajes de inyección de disoluciones de cada inyector, siendo:

$$I_1 = 30\%; I_2 = 33\%; I_3 = 37\%.$$

Volúmenes de disoluciones madre necesarias

Sustituyendo el mayor porcentaje de inyección y los caudales de inyección en las **ecuaciones 8 y 9**, se obtienen los volúmenes diarios gastados de cada disolución madre de fertilizantes (V) y de ácido (V_{ac}):

Para cada unidad de riego:

$$V = 900 \text{ l/h} \times 1,66 \text{ h} \times 0,37 = 732,6 \text{ l}$$

$$V_{ac} = 175 \text{ l/h} \times 1,66 \text{ h} \times 0,37 = 290,5 \text{ l}$$

Para un día (4 unidades):

$$V_d = 552,78 \times 4 = 2.211 \text{ l}$$

$$V_{acd} = 290,5 \times 4 = 1.162 \text{ l}$$



Adaptables a John Deere, New Holland, Deutz-Fahr, Laverda, Claas, etc.

Recambios y accesorios para Tractores y Maquinaria Agrícola

AGRINAVA

Pol. Industrial Agustinos, C/ A, Nave D-13
31013 PAMPLONA (Navarra - España)
Teléfonos: 902 312318 - 948 312318
Fax: 948 312341
e-mail: agrinava@agrinava.com
www.agrinava.com

CORREAS AGRICOLAS

