

CÁLCULO DE LA PROGRAMACIÓN DEL ABONADO CON UN EJEMPLO PRÁCTICO QUE FACILITA SU COMPRENSIÓN

Inyección múltiple de fertilizantes en fertirrigación sobre suelo

■ Luis Rincón Sánchez

IMIDA. Murcia.

En este artículo se calculan los parámetros diarios de la fertirrigación de una plantación realizada sobre suelo. Para ello, se realizan los cálculos necesarios previos a la programación de la inyección de fertilizantes, la concentración de las disoluciones madre y los parámetros de la programación.

Los avances tecnológicos más destacables alcanzados en la instalación de fertirrigación se han producido en el equipo de inyección de fertilizantes y en la programación del riego y del abonado. Se ha pasado de la incorporación de fertilizantes con tanque a la inyección múltiple a través de disoluciones concentradas, técnica utilizada actualmente en la mayoría de las instalaciones comerciales de fertirrigación.

La inyección múltiple se refiere a la incorporación individualizada de la disolución concentrada (madre) de cada fertilizante y la de ácido directamente a la red de riego. La inyección múltiple puede ser conti-

nua cuando el funcionamiento de los inyectores es continuo durante todo el tiempo de abonado o proporcional a la cantidad de fertilizantes en la que los inyectores trabajan por ciclos. La inyección múltiple continua se puede utilizar en cultivos sobre suelo e hidroponía, a diferencia de la inyección múltiple proporcional, que ha sido diseñada para cultivos hidropónicos. En el presente artículo sólo se desarrolla la inyección múltiple continua.

Los equipos de inyección múltiple continua de fertilizante se componen de un controlador-programador, cada uno de ellos conectado a un depósito de disolución concentrada de fertilizante(s), más un inyector de menor caudal de inyección para ácido con su correspondiente depósito. Comercialmente, el número de inyectores y tanques de disolución madre varía de tres (cuando en un mismo tanque se mezclan varios fertilizantes) a ocho.

Información previa necesaria a la programación de la inyección de fertilizantes

La inyección de fertilizantes es una parte de la fertirrigación y, por tanto, en su programación intervienen parámetros de la instalación, del riego y del abonado del cultivo.

Pluviometría de la instalación

La pluviometría de la instalación se calcula mediante la **ecuación 1**, siendo PI la pluviometría de la instalación en mm/h, q la descarga unitaria del gotero en l/h, d₁ la distancia entre los goteros en la línea de riego en m y d₂ la distancia entre líneas de riego en m.

Ecuación 1:

$$PI = \frac{q}{d_1 \times d_2}$$

Tiempo de riego

El tiempo de riego se calcula mediante la **ecuación 2**, donde t_r es el tiempo de riego en horas, Dp la dosis práctica de riego en mm y PI la pluviometría de la instalación en mm/h.

Desde un punto de vista práctico, el tiempo de



riego se divide en tres subtiempos, que se muestran en la **ecuación 2.1**, siendo t_i el tiempo inicial de riego sin abonos destinado para llenar las tuberías de agua, t_a el tiempo de abonado y t_f el tiempo final de riego para eliminar del agua la concentración de abonos.

Los distintos subtiempos se expresan de la forma:

$$t_i = t_r \times f_1 - f_1 = 10\% t_r$$

$$t_a = t_r \times f_2 - f_2 = 80\% t_r$$

$$t_f = t_r \times f_3 - f_3 = 10\% t_r$$

Ecuación 2:

$$t_r = \frac{Dp}{PI}$$

Ecuación 2.1:

$$t_r = t_i + t_a + t_f$$

Caudal continuo de riego

El caudal continuo de riego se calcula mediante la **ecuación 3**, en la que Q es el caudal continuo de riego en m^3/h , S la superficie de la unidad de riego en ha y PI la pluviometría de la instalación en mm/h.

Ecuación 3:

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

Del cultivo

Necesidades totales de agua del cultivo y requerimiento de fertilizantes en función del tiempo.

De los fertilizantes

Características y posibilidad de mezcla entre sales fertilizantes.

Concentración de las disoluciones concentradas (madre) de fertilizantes

Las disoluciones madre son disoluciones nutritivas concentradas de los fertilizantes que se inyectan en la red de riego en proporciones determinadas formando la disolución nutritiva de riego, a través de las que se incorporan a los cultivos los nutrientes necesarios.

La inyección múltiple se refiere a la incorporación individualizada de la disolución concentrada (madre) de cada fertilizante y la de ácido directamente a la red de riego

Con carácter general, la concentración entre 0,1 y 0,15 kg/l permite incorporar las cantidades de fertilizantes necesarios a los cultivos más exigentes. La menor concentración se utilizará en períodos de temperaturas frías del agua ($< 15^\circ C$) y la más elevada en períodos de temperaturas medias ($> 20^\circ C$).

Parámetros de la programación

Caudal de los inyectores (q_i)

Para calcular el caudal de los inyectores se utiliza la **ecuación 4**, en la que q_i es el caudal de inyección de cada inyector en l/h, T_i la cantidad de cada fertilizante o mezcla de fertilizantes de cada disolución madre



EQUIPOS DE FERTIRRIGACIÓN



ELECTROFERTIC

Bomba dosificadora eléctrica de gran capacidad de inyección, alta presión y regulación electrónica



CONTROLADORES

Controladores de Fertirrigación. Regulación de pH y EC. Dosificación proporcional



HIDRÁULICA PROPORCIONAL

Bombas dosificadoras volumétricas proporcionales



FERTIC

Inyector hidráulico para la incorporación de abonos líquidos o solubles en la red de riego



AGITADOR DE TURBINA

Agitación por turbina direccional



MULTIFERTIC

Bomba dosificadora eléctrica modular de inyección independiente



Mar Adriàtic, 4
Pol. Ind. Torre del Rector
P.O. Box 60
Tel (+34) 93 544 30 40
Fax (+34) 93 544 31 61

Fresno, CA 93729
7991 USA
P.O. Box, 27991

Tel. 1 800 555 8013
Fax 1 559 261 4026

itc@itc.es
www.itc.es

en kg/ha, S la superficie de la unidad de riego en ha, C_i la concentración de cada disolución madre en kg/l y t_a el tiempo de abonado en horas.

La fórmula anterior permite trabajar con dos opciones:

- 1) Con igual concentración en todas las disoluciones madre.
- 2) Con igual caudal para todos los inyectores de disoluciones madre de fertilizantes.

Si se opta por trabajar con la opción 1, el caudal de inyección de cada una de ellas se determina manteniendo igual la concentración de las disoluciones madre (C) en la **ecuación 4** obteniéndose la **ecuación 5**.

Ecuación 4:

$$q_i = \frac{T_i \times S}{C_i \times t_a}$$

Ecuación 5:

$$q_i = \frac{T_i \times S}{C \times t_a}$$

Cuando se decida trabajar con la opción 2, la concentración de cada disolución madre se determina manteniendo fijo el caudal de inyección (q) en la **ecuación 4**, deduciéndose la **ecuación 6**.

Ecuación 6:

$$q_i = \frac{T_i \times S}{q \times t_a}$$

Trabajar con igual concentración para todas las disoluciones madre, presenta el inconveniente de tener que regular el caudal de inyección para cada disolución madre de todos los períodos de programación, labor complicada, tediosa y difícil de realizar. Por el contrario, la primera opción no presenta ningún inconveniente, al tener que variar solamente la concentración de las disoluciones madre en cada período de programación, en función de las cantidades de fertilizantes a incorporar.

El caudal de inyección q se determina mediante la **ecuación 5**, utilizando la mayor cantidad de fertilizantes a incorporar en el ciclo de cultivo y parámetros de riego correspondientes a dicho período.

Inyección de ácido

El caudal de inyección viene dado por la **ecuación 7**, siendo q_{ac} el caudal de inyección de la disolución ácida utilizada en l/h, V_{ac} el volumen de ácido necesario por unidad de volumen de disolución de riego en l/m³ para bajar el pH hasta el valor establecido y Q el caudal continuo de riego en m³/h.

Ecuación 7:

$$q_{ac} = V_{ac} \times Q$$

La evaluación de V_{ac} se realiza acidificando directamente una alícuota del agua de riego (laboratorio o in situ), hasta llegar al pH requerido.

Ecuación 8:

$$V_i = \frac{T_i \times S}{C_i}$$

Volumen de los depósitos de disoluciones madre

Para cada unidad y riego, la capacidad del depósito se determina mediante la **ecuación 8**, en la que V_i es el volumen de los depósitos de disoluciones concentradas madre de fertilizantes en litros, T_i la cantidad de fertilizante(s) de cada disolución madre en kg/ha, S la superficie de la unidad de riego en ha, C_i la concentración de cada disolución madre en kg/l.

- Para U unidades de riego/día: $V_d = V_i \cdot U$
- Para N días:..... $V_t = V_d \cdot N$

Supuesto práctico

Se pretende determinar los parámetros diarios de la fertirrigación de una plantación comercial de lechuga romana en el período de máximos requerimientos de nutrientes. La superficie total de cultivo es de 8 ha, dividida en cuatro unidades de riego de 2 ha cada una. Los ramales de riego son tuberías emisoras con goteros situados a 0,3 m de separación en la línea de riego y descarga unitaria de 1,5 l/hora, siendo la separación entre ramales de riego de 1 m. Para un período de siete días, las necesidades totales de agua son de 5 mm/día y el riego se realiza diariamente. Las cantidades de abonos a aportar son las siguientes:

- Nitrato amónico	3 kg/ha-día
- Fosfato monopotásico.....	4 kg/ha-día
- Nitrato cálcico.....	3 kg/ha-día
- Nitrato potásico	9,5 kg/ha-día
- Sulfato de magnesio	1 kg/ha-día

El cabezal de riego de la instalación dispone de un equipo automático de inyección múltiple compuesto de cuatro depósitos de 2.000 l de capacidad cada uno para disoluciones madre de fertilizantes y uno de 500 l para la disolución ácida, dotados todos ellos de agitador. Los inyectores son todos eléctricos con descarga nominal de 300 l/hora para inyectar disoluciones madre de fertilizantes y uno de 100 l/hora para la inyección de ácido. El equipo incorpora un controlador automático de riego y abonado.

La inyección de ácido sólo se realiza en el tiempo final de riego, teniendo como finalidad evitar precipitados de sales en goteros y otros elementos de la red de riego.

Tanques de disoluciones madre, mezcla de fertilizantes y cantidades de fertilizantes a inyectar de cada uno de ellos

Teniendo en cuenta la posibilidad de mezcla de fertilizantes, éstos se pueden ubicar de la forma siguiente:

- Tanque 1 = nitrato cálcico: inyección de 3 kg/ha-día.
- Tanque 2 = fosfato monopotásico: inyección de 4 kg/ha-día.
- Tanque 3 = nitrato amónico + sulfato de magnesio: inyección de 4 kg/ha-día (3 kg de nitrato amónico más 1 kg de sulfato de magnesio).
- Tanque 4 = nitrato potásico: inyección de 9,5 kg/ha-día.

Parámetros de la instalación y del riego

- a) Pluviometría de la instalación (**ecuación 1**): $PI = 5$ mm/h.
- b) Tiempo de riego y distribución (**ecuación 2**): $t_r = 1$ hora ($t_i = 0,1$ h; $t_a = 0,80$ h; $t_f = 0,1$ h).
- c) Caudal continuo de riego de cada unidad de riego (**ecuación 3**): $Q = 100.000$ l/h.
- f) Ácido utilizado y cantidad de ácido para bajar el pH del agua de riego a 5,5.
 - Ácido utilizado: nítrico comercial (60% de pureza) diluido al 40%.
 - Volumen de ácido necesario para bajar el pH del agua a 5,5 = 1 l/m³ de agua.

Caudales de inyección y concentraciones de las disoluciones madre

Según lo expuesto en el apartado en que se calcula el caudal de los inyectores, se opta por trabajar con el mismo caudal de inyección para todas las disoluciones madre. Su determinación se realiza en la disolución madre con mayor cantidad de fertilizantes a incorporar a la red de riego (caso más desfavorable), que en nuestro supuesto corresponde al tanque 4 ($T_4 = 9,5$ kg/ha), S (2 ha) y t_a (0,8 h). La concentración a utilizar en la disolución madre es también la más desfavorable, de 0,10 kg/l (100 g/l). El caudal de inyección de las disoluciones madre (q) y de la disolución ácida (q_{ac}) sería:

La evaluación de parámetros se realiza para cada período de programación (semanal, decenal), aplicando en todos los períodos el mismo caudal de inyección determinado para la disolución madre más desfavorable de todo el ciclo de cultivo

$$q = \frac{9,5 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha}}{0,10 \text{ kg/l} \times 0,8 \text{ h}} = 237,5 \text{ l/h} = 250 \text{ l/h}$$

(se mayoriza para ajustar el caudal)

$$q_{ac} = 1 \text{ ml/m}^3 \times 100 \text{ m}^3/\text{h} = 100 \text{ l/h.}$$

Concentración de las disoluciones madre

Se calculan sustituyendo en la **ecuación 6** las cantidades de abonos a inyectar en cada tanque de fertilizantes (T_1 , T_2 , T_3 , y T_4), s (2 ha), el caudal de inyección (250 l/h) y t_a (0,8 h), obteniéndose:

$$C_1 = 30 \text{ g/l}; C_2 = 40 \text{ g/l}; C_3 = 40 \text{ g/l}; C_4 = 95 \text{ g/l}$$

Volumen de cada disolución madre de fertilizante gastada por día

Del cálculo del volumen de cada disolución madre se obtiene:

$$V = t_a (\text{horas/unidad de riego}) \times q (\text{l/h}) \times n^\circ \text{ de unidades de riego y día} = 0,80 \text{ h} \times 250 \text{ l/h} \times 4 \text{ unidades/día} = 800 \text{ litros/día.}$$

El intervalo (l) de relleno de los depósitos sería:

$$l = 2.000 \text{ l}/800 \text{ l/día} = 2,5 \text{ días} = 2 \text{ días}$$

Volumen de ácido gastado por día

Para el cálculo del ácido gastado cada día se realiza la siguiente operación:

$$V_{ac} = q_{ac} \times t_f \times n^\circ \text{ de unidades de riego/día} = 100 \text{ l/h} \times 0,1 \text{ h} \times 4 = 40 \text{ l.}$$

Con ese dato se obtiene el intervalo de relleno del tanque de la siguiente forma:

$$l_{ac} = 500 \text{ l}/40 \text{ l/día} = 12,5 = 12 \text{ días}$$

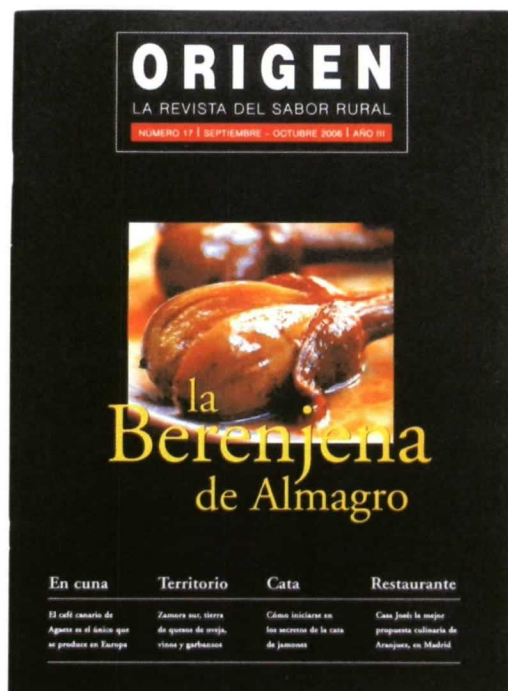
Resumen de parámetros

- Tiempo total de riego = 1 hora
- Tiempo inicial de riego sin abonos y sin ácido = 0,1 horas (6 minutos)
- Tiempo de abonado (sin ácido) = 0,8 horas = 48 minutos
- Tiempo final para eliminación de abonos del agua = 0,1 horas = 6 minutos
- Caudal de inyección de disoluciones madre = 250 l/hora
- Caudal de inyección de ácido = 100 l/hora
- Concentración de las disoluciones madre concentradas en el período programado:

$$C_1 = 30 \text{ g/l}; C_2 = 40 \text{ g/l}; C_3 = 40 \text{ g/l}; C_4 = 95 \text{ g/l}$$

La evaluación de parámetros se realiza para cada período de programación (semanal, decenal), aplicando en todos los períodos el mismo caudal de inyección determinado para la disolución madre más desfavorable de todo el ciclo de cultivo. Los tiempos de riego y su distribución, así como las cantidades de fertilizantes a incorporar diariamente, serán los que correspondan a cada período. Con estos datos se deducen las concentraciones de las disoluciones madre. ■

Disfruta de lo bueno



Porque a partir de ahora, todos los meses, puedes encontrar en **ORIGEN** toda la información sobre los productos de calidad españoles: rutas gastronómicas, entrevistas a los profesionales más destacados del medio, reportajes a fondo sobre la alimentación de calidad, sugerencias de restaurantes, catas, etc. **ORIGEN** es una publicación de referencia, premiada con... No puedes perdértelo.



www.eumedia.es

eumedia 

Más información: Eumedia, S.A. Dpto. de Suscripciones.

c/Claudio Coello, 16, 1º - 28001 Madrid

Tlf.: 91 426 44 30 - Fax: 91 575 32 97

suscripciones@eumedia.es • www.eumedia.es