

## CONTROL DE LAS OBSTRUCCIONES QUÍMICAS EN RIEGO LOCALIZADO

*Apuntes de Fitotecnia (R. Domingo)*

El procedimiento más eficaz para prevenir la formación de depósitos de carbonatos/sulfatos de calcio y/o magnesio en las instalaciones de riego localizado, como consecuencia del paso a través de los filtros de sustancias disueltas o por la evaporación de agua desde los emisores, es el de inyectar, de forma continua en la red, ácido sulfúrico o clorhídrico para ajustar el pH del agua.

Los riesgos potenciales de obturación por precipitación química pueden preverse mediante el análisis de agua una vez conocidos el Índice de Saturación de Langelier, alcalinidad total y la dureza del agua. Los componentes de los productos agroquímicos incorporados al agua de riego, especialmente los fertilizantes, pueden reaccionar con los iones presentes en el agua de riego y de este modo aumentar el riesgo de obturación.

### Tratamientos preventivos

Mediante la acidificación del agua se pretende alcanzar valores de pH en los que la precipitación no se produzca. La aplicación del ácido puede hacerse durante todo el tiempo de riego o bien en la parte final del mismo, evitando el postriego para que el pH del agua que queda en los laterales sea inferior a 7, y de esta forma evitar la formación de precipitados.

La determinación de la cantidad de ácido a aplicar para alcanzar un pH deseado suele hacerse de las dos maneras siguientes:

i) Determinar en laboratorio *mediante curva de neutralización* el factor ácido (f). Este factor es el número de miliequivalentes de ácido por litro de agua necesarios para alcanzar el pH deseado. Así, si un litro de agua necesita f meq de ácido, 1 m<sup>3</sup> necesitará f eq de ácido. Por tanto serán necesarios f/N litros de ácido por m<sup>3</sup> de agua de riego, siendo N la normalidad del ácido utilizado.

Las normalidades de los ácidos concentrados grado técnico son:

- Ácido Clorhídrico: 12
- Ácido Fosfórico: 45
- Ácido Nítrico: 16
- Ácido Sulfúrico: 36

ii) Determinación del factor f a partir del Índice de Saturación de Langelier (Is).

$$Is = pH_a - pH_c$$

pH<sub>c</sub>, es el pH al cual un agua con una determinada alcalinidad y contenido en calcio, está en equilibrio (ni sobresaturada ni subsaturada de carbonato cálcico).

Los valores positivos del Is indican la tendencia del CaCO<sub>3</sub> a precipitar, mientras que los valores negativos sugieren que el CaCO<sub>3</sub> se mantiene en solución. La tabla 1 indica el procedimiento para calcular el pH<sub>c</sub>, el valor de pH<sub>a</sub> se obtiene directamente de los análisis del laboratorio.

Una expresión que de forma aproximada permite calcular el pH<sub>c</sub> es:

$$pH_c = (pK_2 - pK_c) + p(Ca) + p(Alc)$$

$K_2$  y  $K_c$  son, respectivamente, las constantes de la segunda disociación del ácido carbónico y el producto de solubilidad del carbonato cálcico. Ambas dependen del contenido total de sólidos y de la temperatura.

$p(\text{Ca})$  = expresión logarítmica de la concentración molal de Ca.

$p(\text{Alk})$  = expresión logarítmica de la alcalinidad total expresada como equivalentes de  $(\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-)$ .

El procedimiento a seguir sería el siguiente:

a) Realizar un análisis de agua que incluya las determinaciones: pH, CE ó SDT y  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{HCO}_3^-$  (meq/l).

b) Cálculo del  $pH_c$  (pH calculado):  $pH_c = (pK_2 - pK_c) + p(\text{Ca}) + p(\text{Alc})$ .

b.1) A partir de la suma de las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ , expresadas en meq/l, se obtiene en la columna 2 (Tabla 1) el sumando  $(pK_2 - pK_c)$ . Al depender este término de la temperatura, los valores recogidos en la tabla 1 tan sólo son válidos para 25°C. En el rango entre 15 y 40°, el término  $(pK_2 - pK_c)$  debe incrementarse un 1% por cada °C de descenso por debajo de 25°C, y debe disminuirse un 1% por cada °C de aumento por encima de 25°C.

$p(\text{Ca})$ : se obtiene en la tercera columna de la tabla 1 a partir de la concentración de calcio en meq/l.

$p(\text{Alc})$ : se obtiene en la cuarta columna de la tabla 1 a partir de la concentración, en meq/l, de  $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$ .

c) Cálculo de la alcalinidad corregida ( $\text{Alc}_C$ ) para evitar precipitaciones.

$$p(\text{Alc}_C) = p(\text{Alc}) + I_s$$

$\text{Alc}_C = 10^{-p(\text{Alc}_C)}$ ; o bien  $\text{Alc}_C$  puede obtenerse en la cuarta columna de la tabla 1 a partir del valor correspondiente a  $p(\text{Alc}_C)$ . Este  $\text{Alc}_C$  es el valor final de alcalinidad que debe tener el agua para evitar precipitación de  $\text{CaCO}_3$ .

d) Cálculo de la concentración de  $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$  a eliminar ( $\text{Alc}_e$ ).

Esta cantidad será:

$$\begin{aligned} \text{Alc}_e &= \text{Alc} - \text{Alc}_C = [\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-]_{\text{agua de riego}} - [\text{alcalinidad corregida}]_{\text{apartado C}} \\ &= \text{Alc}_e \text{ (meq/l)} \end{aligned}$$

e) Cálculo de ácido a añadir

e.1) Determinación del factor f.

$f = \text{Ácido a añadir (meq/l)} = \text{Alc}_e = \text{CaCO}_3$  (como  $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-$ ) a eliminar (meq/l)

e.2) determinación de los litros de ácido por  $\text{m}^3$  de agua de riego (similar al procedimiento mediante curva de neutralización)

$$\frac{f}{N} = \frac{\text{litros ácido}}{\text{m}^3 \text{ agua riego}}$$

Como frecuentemente los volúmenes de ácido a inyectar por  $\text{m}^3$  de agua son altos, lo que se suele hacer es aplicarlos, tan sólo, durante la última parte del tiempo de riego al

objeto de tratar únicamente el agua que permanece dentro de la instalación tras la finalización del riego.

**Tabla 1.** Procedimiento para calcular el pH<sub>c</sub> de las aguas

<b>pH<sub>c</sub> = (pK<sub>2</sub> - pK<sub>c</sub>) + p(Ca) + p(Alc)</b>			
Concentración (meq/l)	pK <sub>2</sub> - pK <sub>c</sub>	p(Ca)	p(Alc)
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,15	2,0	4,1	3,8
0,20	2,0	4,0	3,7
0,25	2,0	3,9	3,6
0,30	2,0	3,8	3,5
0,40	2,0	3,7	3,4
0,50	2,1	3,6	3,3
0,63	2,1	3,5	3,2
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	2,5	2,2
8,00	2,3	2,4	2,1
10,00	2,3	2,3	2,0
12,50	2,3	2,2	1,9
15,00	2,3	2,1	1,8
20,00	2,4	2,0	1,7
30,00	2,4	1,8	1,5
50,00	2,5	1,6	1,3
80,00	2,5	1,4	1,1

Entrando en la primera columna con las concentraciones, en meq/l, de i) Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup>; ii) Ca; y iii) CO<sub>3</sub><sup>=</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se obtienen los valores de (pK<sub>2</sub> - pK<sub>c</sub>), p(Ca) y p(Alc), respectivamente.

El volumen de agua necesario para que el agua llegue a los últimos emisores puede determinarse cubicando la instalación y aplicando un factor de seguridad de dos o tres como garantía.

El tiempo que tarda el ácido en llegar a los emisores más desfavorables de la instalación (mayor distancia o pendiente ascendente) puede conocerse utilizando papel indicador de pH. En la práctica se recomienda iniciar la aplicación de ácido con una antelación igual al tiempo requerido para alcanzar los emisores más desfavorables desde el comienzo de la inyección.

**Ejemplo. Prevención de obturaciones**

Determinar la cantidad de ácido a añadir a un agua de riego cuyo análisis proporcionó los siguientes datos.

Tabla 2. Análisis de aguas. ESEA ‘Tomas Ferro’. 2004

pH <sub>25°C</sub> = 8,29 CE <sub>25°C</sub> = 0,95 dS/m		Sales solubles = 0,78 g/l Dureza (°Franceses) = 43,82	
cationes	meq/l	aniones	meq/l
Sodio	2,84	Cloruros	3,14
Potasio	0,21	Sulfatos	7,27
Calcio	4,13	Carbonatos	0,0
Magnesio	4,62	Bicarbonatos	1,64
		Nitratos	0,13
<b>TOTAL</b>	<b>11,80</b>	<b>TOTAL</b>	<b>12,18</b>

$Is = pH_a - pH_c = \dots\dots\dots$  (Tendencia del  $CaCO_3$  a precipitar-necesidad de inyectar ácido al agua de riego)

$pH_c = (pK_2 - pK_c) + p(Ca) + p(Alc) = \dots\dots\dots$

$p(Alc_c) = p(Alc) + Is = \dots\dots\dots \Rightarrow Alc_c = 10^{-p(Alc_c)} = \dots\dots\dots$  meq/l (o bien obtenerlo entrando en la tabla 1 y viendo que concentración en meq/l le corresponde al valor  $p(Alc_c)$  determinado)

**Alcalinidad a eliminar** =  $Alc_e = Alc - Alc_c = \dots\dots\dots$  meq/l

Ácido a añadir (f) = **x,x** meq/l

- Ácido Clorhídrico:  $x,x / 12 = \dots\dots\dots$  l m<sup>-3</sup>
- Ácido Fosfórico:  $x,x / 45 = \dots\dots\dots$
- Ácido Nítrico:  $x,x / 16 = \dots\dots\dots$
- Ácido Sulfúrico:  $x,x / 36 = \dots\dots\dots$

## Tratamientos correctores o de limpieza

Cuando disminuye el coeficiente de uniformidad de riego (CU) de la instalación por problemas de obturación hay que recurrir a tratamientos correctores o de limpieza. La eficiencia de este tipo de tratamientos no siempre es la deseada, ya que en ocasiones las incrustaciones (depósitos de carbonatos, sulfatos y otros) desprendidas no son totalmente disueltas y pueden dar lugar a posteriores obturaciones. Por ello, la mejor forma de evitar la obstrucción es tomar medidas preventivas.

El tratamiento se hace inyectando ácido a altas concentraciones hasta alcanzar valores en el agua de riego del orden del 1-2%, capaces de mantener un pH de 2-3 en el agua que fluye por los emisores más alejados o en situación más desfavorable.

Procedimiento general a seguir:

- Calcular el volumen del conjunto de tuberías de la instalación (V).
- Obtener el volumen de agua a acidular (V') mediante la aplicación de un factor de seguridad 2 (V' = 2 V) o de garantía para que el agua alcanzará los emisores más desfavorables.
- Determinar la cantidad de ácido necesaria (v) y añadirla al depósito de abonado.

$$v = \frac{V \times c}{C}$$

Siendo: v = volumen de ácido (l)

c = concentración deseada (1-2%)

C concentración de la solución de ácido utilizada (%)

- Comenzar la aplicación a baja presión y ajustar el caudal de inyección al de circulación de agua por la red para alcanzar la concentración deseada.
- Suspender el riego cuando haya pasado el volumen calculado. Es conveniente comprobar con papel indicador de pH que se ha conseguido un pH entre 2-3 en el agua que fluye por los últimos goteros.
- Mantener la instalación con el agua acidulada durante 30-60 minutos.
- Limpiar las tuberías, abriendo sus extremos finales, con agua a la máxima presión que permita la instalación. Se comenzará por las tuberías primarias manteniendo cerradas las unidades de riego. Después se procederá con la limpieza de cada unidad de riego, comenzando por las secundarias y terminando por los ramales de riego.
- Determinar el coeficiente de uniformidad de riego, o en su defecto la descarga y presiones de trabajo en la red. La limpieza se habrá conseguido si el CU o la descarga y presiones se han recuperado a los valores correspondientes a la instalación bajo buen funcionamiento. En caso contrario proceder a una nueva inyección de ácido hasta su limpieza total.

### Ejemplo. Corrección de obturaciones

La forma más exacta para determinar el volumen de ácido a inyectar al agua de riego, para bajar el pH, es a partir de la realización en laboratorio de la curva de valoración del agua problema. En este ejemplo se presentan tres curvas de valoración correspondientes a tres aguas de distinta procedencia y que han sido obtenidas a partir de la adición del ácido grado industrial a emplear (Figura 1).

El caudal de ácido a inyectar a la red se determina por un procedimiento análogo al anteriormente expuesto.

$$q = \frac{Q \times c}{C}$$

siendo: q = caudal de inyección de ácido en litros/hora

Q = caudal de circulación de agua en la instalación en litros/hora

c = concentración de ácido en el agua de riego (curva de valoración) en litros de ácido/1000 litros de agua

C = concentración del ácido grado industrial empleado en %

La inyección del ácido debe hacerse después del sistema de filtración de la instalación, evitando los componentes metálicos que pudieran ser corroídos. La bomba de inyección de la instalación debe permitir el empleo de ácidos.

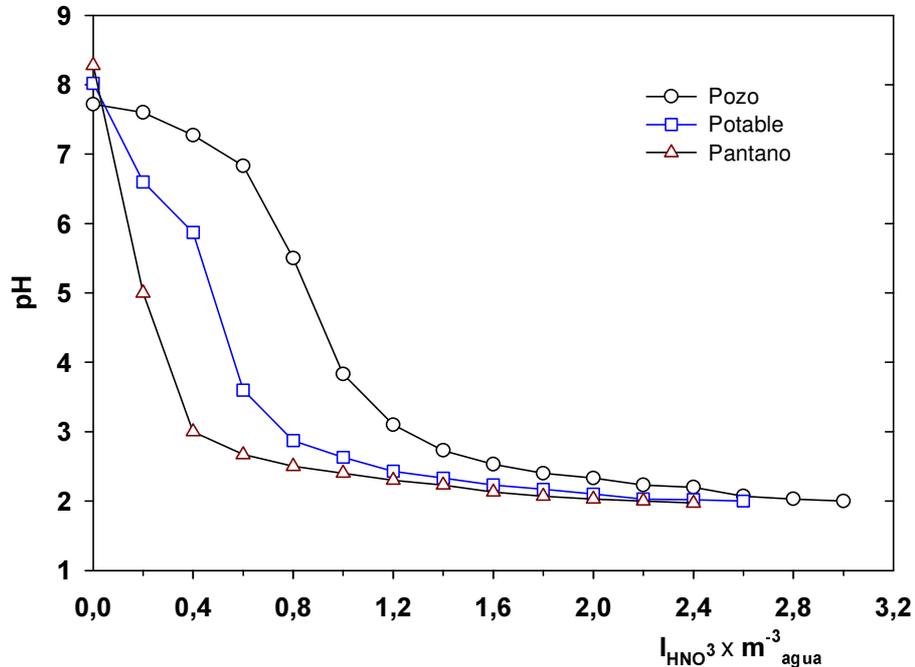


Figura 1. Curvas de valoración correspondientes a tres tipos de agua de diferente procedencia (variación pH vs ácido nítrico (61%, 40° Be y  $d = 1,36 \text{ g cm}^{-3}$ ))

Determinar el caudal de ácido necesario a inyectar para bajar el pH del agua de riego en la red a 2 cuando el riego se realiza con el agua de pozo cuya curva de valoración se recoge en la figura 1, y el caudal de circulación por la red es de 35 m<sup>3</sup>/h.

- a) Concentración necesaria de ácido en el agua para bajar el pH a 2:

$$c = \dots\dots\dots \text{l/m}^3 \text{ (Figura 1)}$$

b)  $q = \frac{Q \text{ l/h} \times c \text{ l/1000l}}{100/100} = \dots\dots\dots \text{l/h}$

- c) Comprobar con papel indicador de pH que se ha conseguido un pH 2 en el agua que fluye por los goteros más alejados. De no ser así corregir el caudal de inyección. A continuación se seguirán los pasos indicados en el apartado: Tratamientos correctores o de limpieza.