

## La calidad del agua de riego para fertirrigación. II parte

En la primera parte de este artículo se realizó una introducción de la manera de enfocar el estudio de la calidad del agua de riego, y se establecieron los criterios básicos para determinarla

### Problema de salinidad. Efectos sobre el suelo

El grado de concentración salina se mide indirectamente basándonos en el hecho de que conforme aumenta la concentración de sales solubles ionizadas en una disolución, ésta conduce mejor la electricidad, luego la medida de la CE nos informa sobre la concentración de sales existente. De este modo se puede conocer la cantidad aproximada de sales (en g/l) que tenemos en disolución

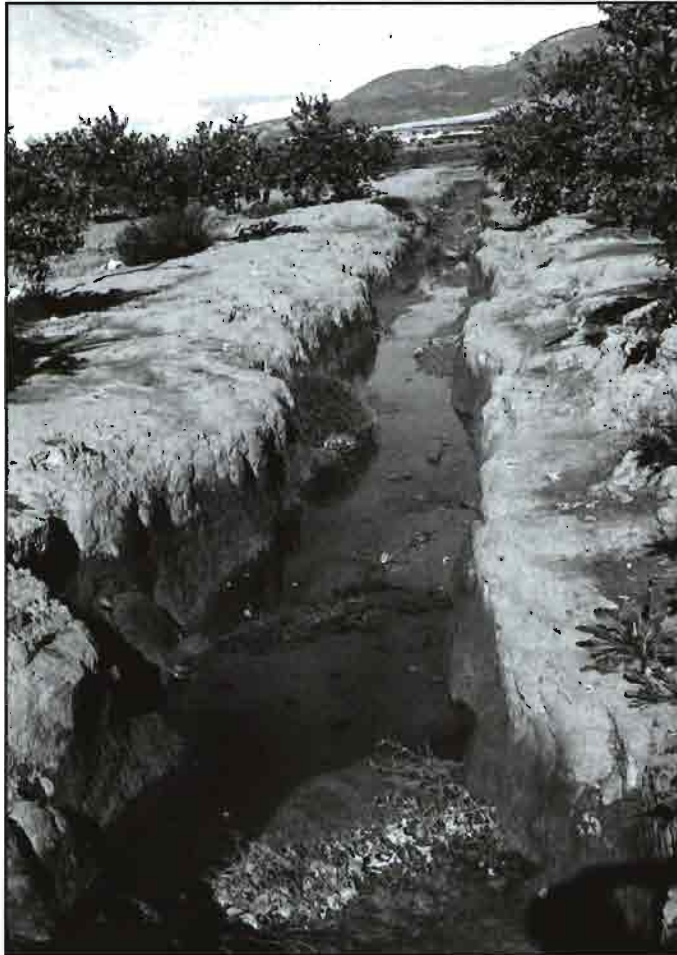
**Cuando se aplican aguas de riego a un suelo, una parte se infiltra y otra es retenida en el propio suelo. Esta fracción retenida es la que aporta sales al suelo**

mediendo la CE (mS/cm) y multiplicándola por un factor que suele variar entre 0.7 y 0.9 en función del tipo de sales que predominen.

Cuando se aplican aguas de riego a un suelo, una parte se infiltra y otra es retenida en el propio suelo. Esta fracción retenida es la que aporta sales al suelo. La acumulación se produce en determinados puntos del perfil, precisamente en aquellos donde tiene lugar o bien la evaporación o bien la extracción de agua por las raíces.

Cada planta tiene unos límites de tolerancia a la salinidad, si bien éstos son mayores en in-

ción. En el cuadro 1 se indican los valores umbrales de CE de diversos cultivos referidos a plantas adultas y riegos tradicionales. En germinación y en estado de plántulas, estos valores generalmente son menores. Valores mayores de los indicados pueden suponer pérdidas de rendimiento superiores al 10%,



*Canal practicado en una plantación de naranjos para facilitar la evacuación de los drenajes*

vierno y en estado adulto que en verano y plantas jóvenes. En cualquier cultivo, su rendimiento no se ve afectado conforme aumenta la salinidad, hasta alcanzar un nivel (valor umbral) a partir del cual el incremento salino conlleva una progresiva disminución, más o menos rápida, de la produc-

aunque se debe tener en cuenta que la climatología de la zona, la variedad, el portainjerto, las propiedades y el tipo de suelo pueden hacer variar notablemente los datos expuestos, que deben tomarse exclusivamente como referencia. Al contenido salino del agua de riego hay que añadir el que aportan los distintos fertilizantes, todos (excepto la urea) son sales que se disocian en sus iones correspondientes en el agua aumentando la CE de la misma. Ade-

más hay que tener en cuenta factores como la propia salinidad del suelo, las lluvias, la frecuencia de riego, etc., que van a influir en la CE de la disolución del suelo.

Bajo climas áridos con ausencia de lluvias que permitan un lavado de las sales del suelo en profundidad, y en cultivos protegidos, se favorece la acumulación de sales en el suelo, más aún si se emplean aguas de elevado contenido salino y/o existe un uso inadecuado de fertilizantes. Es por esto, que sea necesaria una correcta dosificación del abonado y el uso de aguas de riego de buena calidad o al menos, acordes con el cultivo establecido. Por esta razón resulta imprescindible el control de la CE tanto en suelos como en sistemas hidropónicos.

Los suelos arenosos tendrán una débil capacidad de reten-

**Cada planta tiene unos límites de tolerancia a la salinidad, si bien éstos son mayores en invierno y en estado adulto que en verano y plantas jóvenes**

ción de agua, y por ser muy permeables, drenarán más fácilmente y su salinización será más difícil. Aquéllos que tengan una textura muy fina (arcillosos), tendrán una capacidad de retención grande, su lixiviación será difícil, sobre todo si en su complejo de cambio predominan los iones sodio, como después veremos. En este caso, debido al gran volumen de agua retenida, ésta proporcionará una gran cantidad de sales y el riesgo de salinización será máximo.

De este modo, las aguas de riego y los fertilizantes incorporan sales al suelo (o sustrato) y las aguas de drenaje las eli-

## Cuadro 1: CE umbral (mS/cm a 25°C) del extracto de saturación del suelo (CEs) y del agua de riego (CEa) estimadas para cultivos en estado adulto

Cultivos hortícolas	CE umbral	
	CEs	CEa
Fresa	1.3	0.9
Judía	1.5	1.0
Zanahoria	1.7	1.1
Cebolla	1.8	1.2
Lechuga	2.0	1.3
Rábano	2.0	1.3
Pepino	2.1	1.4
Berenjena	2.5	1.7
Pimiento	2.5	1.7
Patata	2.5	1.7
Col	2.8	1.9
Sandía	3.3	2.2
Melón	3.5	2.4
Tomate	3.8	2.5
Calabaza	3.8	2.6
Brócoli	3.8	2.6
Apio	4.0	2.8
Espinaca	4.2	2.9
Espárrago	4.5	3.2

minan. Cuando la cantidad de sales aportadas supera a la cantidad eliminada, el suelo (o sustrato) sufre un proceso de salinización. Un suelo se considera salino cuando tiene una CE superior a 4 mS/cm en el extracto de saturación. La recuperación de los suelos salinos es muy complicada y costosa. En primer lugar hay que establecer un sistema de drenaje que permita el lavado de sales en exceso; después hay que efectuar este lavado mediante riego, el problema se agrava cuando el riego se realiza también con aguas salinas, lo que exige un control riguroso del contenido de sales del

**Acumulación superficial de sales en riego por goteo alrededor del bulbo húmedo**

agua y del extracto del suelo mediante medidas de CE.

Para efectuar el control de la salinidad del suelo se aconseja:

- \* Agua de riego adecuada
- \* Buen drenaje
- \* Sistema de riego apropiado
- \* Volúmenes de agua adecuados y repartidos en cuantas más veces mejor
- \* Abonado en cantidades pequeñas y frecuentes

\* Control exhaustivo de la CE del medio

Es aconsejable que los suelos sean permeables si el agua de riego tienen un contenido salino alto. De forma generalizada y sabiendo que son factores críticos la climatología de la zona, el tipo de suelo y la especie y variedad cultivada, se puede aconsejar que en riego por aspersión no se sobrepasen los 2.0 mS/cm de CE, en riego por inundación el límite puede situarse en 2.5 y el riego por goteo con un buen manejo del mismo se pueden alcanzar niveles de 4.0 mS/cm en la mezcla fertirrigante sin merma alguna del cultivo.

### Consideraciones en fertirrigación

El concepto de fracción de lixiviación (FL), se define

como la fracción de agua de riego que debe atravesar la zona de raíces para impedir que la salinidad del suelo exceda de un valor deseado.

Respecto a lo anterior, en riego por goteo, de forma orientativa, se pueden aplicar las fórmulas siguientes:

Necesidades de lixiviación =  $CEa/2CE \text{ máx.}$  (extracto saturado). Siendo:

**Conviene regar cuando llueve, ya que si las lluvias son poco intensas, se corre el peligro de que parte de las sales acumuladas en la superficie se arrastren hasta la zona radicular**

- \* CEa = CE del agua de riego
- \* CE máx = Máxima CE del extracto saturado que tolera un determinado cultivo (varía entre 8 y 12 según cultivo).

El cuadro 2 expone los valores de CE máx (mS/cm a 25°C) para los cultivos más habituales.

La distribución y el flujo de sales en el suelo se ve afectado por la frecuencia y por la localización de los riegos. Tras la aplicación de un riego, debido a los procesos evapotranspirativos, va descendiendo la humedad del suelo/sustrato, lo que provoca una progresiva concentración de las sales disueltas, sobre todo de aquellas proporcionalmente menos absorbidas por el cultivo, hasta la aplicación del siguiente riego. Cuanto mayor sea el intervalo entre riegos, mayores valores de salinidad total se alcanzarán en la disolución del suelo, y mayor será la presión osmótica de la disolución, esto añadido a la mayor dificultad de absorción debida al descenso de humedad, se traduce en enormes dificultades para la absorción de agua por parte de la planta.

Se estima que en condiciones normales la concentración de sales del agua aplicada en el riego aumenta de 4 a 10 veces en la disolución del suelo. La programación del riego, cuando la salinidad es un factor importante en la disponibilidad del



**Cuadro 2:**  
**CE máxima (mS/cm a 25º)**  
**estimada para el**  
**crecimiento de diferentes**  
**cultivos**

Cultivos hortícolas	CE máxima
Fresa	4.5
Judía	6.0
Zanahoria	8.0
Cebolla	8.0
Apio	9.0
Lechuga	10.0
Rábano	10.0
Pepino	11.0
Berenjena	12.0
Pimiento	10.0
Patata	11.0
Col	12.0
Sandía	15.0
Melón	16.0
Tomate	14.0
Calabaza	16.0
Brócoli	14.0
Espinaca	16.0
Espárrago	20.0

agua por las plantas, debe tender a que se suministre el agua requerida y se evite el estado de estrés hídrico en los cultivos. De este modo, una mayor frecuencia de riegos favorece la absorción de agua por parte de las raíces por el doble efecto de mantener elevada la humedad en el suelo y evitar aumentos desmesurados de la salinidad en la disolución del suelo. Por esta razón, aguas de riego que por su elevado contenido salino resultan inutilizables mediante métodos de riego tradicionales, pueden ser empleadas en riego por goteo, siempre y cuando se efectúe un adecuado manejo del mismo.

Por otro lado, la distribución de sales en el perfil del suelo es consecuencia directa del régimen de humedad de éste. Así en riego por goteo, bajo el emisor se presenta una zona muy lavada de sales que se acumulan en las superficie que delimita el bulbo húmedo generado y sobre todo en la superficie

del suelo, donde se muestran las características afloraciones salinas de color blanco. De las características físico-químicas del suelo, especialmente de su textura, y de los caudales y volúmenes de riego empleados depende la forma del bulbo húmedo y por tanto la distribución de sales en el perfil del suelo. La consecuencia agronómica de esto es evidente, en la zona interna del bulbo, más lavada, se ve favorecido el crecimiento radicular, mientras que la periferia del bulbo donde se acumulan las sales, constituye una barrera para el desarrollo de las raíces, con lo que éstas permanecen en una zona muy localizada dentro del perfil del suelo, y de este modo, el cultivo se hace extremadamente dependiente del adecuado manejo del riego. Cuando ocurren lluvias no muy intensas, se corre el peligro de que parte de las sales acumuladas en la superficie del suelo se arrastren hasta la zona de desarrollo del sistema radicular, por esta razón conviene regar cuando llueva para favorecer la migración de

**Los climas áridos sin lluvias que permitan un lavado de las sales del suelo en profundidad, y en cultivos protegidos, favorecen la acumulación de sales en el suelo**

las sales fuera de la zona de máxima desarrollo del sistema de raíces.

En condiciones de salinidad conviene que los riegos sean más frecuentes y que cada uno de ellos lleve consigo su porcentaje de lavado, es decir, el exceso necesario para arrastrar las sales fuera de la zona de in-

**Cuadro 3:**  
**Tolerancia aproximada de diferentes cultivos a los**  
**cloruros, expresados en meq/l en la disolución del suelo**

Cultivo	Cloruros admitidos	Cultivo	Cloruros admitidos
Aguacate	4	Lechuga	8
Judía	4	Pimiento	8
Limón	4.5	Geranio	8
Tabaco	4.5	Pepino	10
Fresa	6	Tomate	15
Naranja	7	Gладиоlo	20
Arroz	7	Algodón	20
Sorgo	7.5	Remolacha	25

fluencia de las raíces y mantener baja la salinidad dentro del bulbo y, a la vez, aumentar el volumen de la zona de baja salinidad.

Las necesidades de riego a emplear son consecuencia de tres factores:

\* La que necesita el suelo para mantener su capacidad de campo, y que dependerá fundamentalmente de los procesos evaporativos que sufra éste.

\* La que consume el cultivo en función de su transpiración.

\* La necesaria para mantener las sales fuera de la zona de influencia de las raíces. Estas necesidades de lavado pueden ser calculadas orientativamente mediante la fórmula antes mencionada.

**Efectos sobre los cultivos**

Existe un desequilibrio en la dinámica del agua en la planta en condiciones de salinidad, hay mayor resistencia a la pérdida de agua por la hoja al incrementarse el nivel salino. El nivel de quinina, que controla la apertura estomática, es bajo, mientras el del ácido abscísico, que es responsable del cierre de los estomas, aumenta en condiciones de salinidad. La fotosíntesis se ve reducida siempre en condiciones salinas. Cuando el nivel de salinidad es alto, el daño del aparato fotosintético se incrementa, lo que se traduce en síntomas foliares de clorosis, necrosis y paralelamente una reducción de la fotosíntesis por unidad de superficie foliar.

Bajo condiciones salinas la planta requiere más energía para absorber agua y nutrientes, energía que debe ser suministrada por los procesos de fotosíntesis y respiración, por tanto, en condiciones de salinidad se evidencia una disminución en la fijación del CO<sub>2</sub> y del desarrollo de la planta. Algunas especies, incluso algunas variedades dentro de una misma es-

**Cuanto mayor sea el intervalo entre riegos, mayores valores de salinidad total en la disolución, y mayor la presión osmótica de la disolución; añadido a la mayor dificultad de absorción se traduce en enormes dificultades para la absorción de agua por la planta**

pecie, son más tolerantes que otras, y pueden extraer el agua con mayor facilidad.

**Problemas de infiltración**

Algunas propiedades físicas de los suelos, tales como la dispersión de las partículas, la estructura del suelo o la estabili-



**Acumulación de drenajes de procedencia agrícola**

dad de los agregados, están directamente relacionadas con el tipo de iones intercambiables. Así, los iones divalentes, y en particular el calcio proporcionan características físicas favorables a los suelos, mientras que el sodio adsorbido determina la dispersión e hinchamiento de las arcillas, llegando, cuando su proporción es suficientemente elevada, a causar la dispersión y la reducción de la permeabilidad de los suelos.

Se considera generalmente que, cuando el sodio de cambio del suelo alcanza el 10% de la capacidad de cambio catiónica, el deterioro de las características físicas es ya importante, tanto más cuanto más elevado sea su contenido en arcilla. Las aguas de salinidad muy baja

(<0.5 dS/m) también pueden provocar problemas de infiltración, ya que tienden a lixiviar las sales y minerales solubles, incluyendo las del calcio, reduciendo así la influencia de este elemento sobre la estabilidad de los agregados y la estructura del suelo frente al efecto dispersante del sodio.

El mecanismo de degradación consiste en que el sodio reemplaza, en el complejo de cambio del suelo, a los cationes calcio y magnesio, produciendo una disgregación de los agregados, con lo que quedan libres partículas muy finas que obstruyen los poros, creando capas impermeables y compactas. Esto origina una falta de infiltración del agua, provocando encharcamientos y una disminución de los poros que afecta a la respiración de las raíces. Los suelos se vuelven más densos y compactos dificultando el laboreo.

Para la estimación del riesgo de impermeabilización del suelo por dispersión de arcillas debida al efecto del sodio (alcalinización), se define la relación de adsorción de sodio (RAS) en el agua de riego como:

$RAS = \frac{Na}{Ca + Mg}$ , los cationes se expresan en meq/l

Esta relación está estrechamente relacionada con el porcentaje de sodio de cambio en el complejo adsorbente del suelo.

### Problemas de toxicidad

Aparte del efecto osmótico, la presencia de sales solubles en la zona radicular determina la absorción de algunos iones específicos que se acumulan en los diversos tejidos y especialmente en la hoja, llegando a provocar efectos tóxicos debidos bien a la toxicidad del propio ion, a la formación inducida de productos metabólicos tóxicos o a desequilibrios iónicos y/o nutricionales. En las aguas de riego normales, los iones más comunes que pueden provocar problemas de toxicidad son cloruro, sodio y boro. También algunos microelementos cuando se utilizan para el riego aguas residuales o existen vertidos industriales incontrolados.

#### Toxicidad por cloruros

El ion cloruro es muy móvil tanto en el suelo como en la

planta y emigra fácilmente hacia las partes de actividad fisiológica: hojas, tallo de gramíneas, tejidos parenquimatosos, etc. Los síntomas visuales característicos son necrosis o quemaduras que aparecen inicialmente en los ápices de las hojas. Si la concentración es muy elevada la necrosis se extiende e incluso se puede producir una defoliación.

El nivel crítico de cloruros en las hojas no está bien definido, pero pueden aparecer daños a partir de 0.3-1 % de cloro so-

---

**Los suelos arenosos tendrán una débil capacidad de retención de agua, y por ser muy permeables, drenarán más fácilmente y su salinización será más difícil**

---

bre materia seca en cultivos sensibles.

El nivel de cloruros admitido como tolerancia aproximada en la disolución del suelo para diferentes cultivos se muestra en el cuadro 3.

#### Toxicidad por sodio

La relación de absorción de sodio (RAS) elevada y el alto nivel de porcentaje de sodio de cambio, están ligados a una absorción aumentada de sodio por parte de la planta. Por esta razón, se utilizan estos parámetros para evaluar el riesgo de toxicidad por sodio.

Los síntomas foliares en el sodio consisten en necrosis o quemaduras que se inician a lo largo del borde de las hojas más viejas, y se extienden a las zonas intervenales al aumentar la concentración de sodio. El sodio puede alterar el balance nutritivo de la planta causando deficiencia relativa de calcio, potasio o magnesio. El nivel crítico



**Embalse para el almacenamiento de agua de riego procedente de pozos**

**Cuadro 4:**  
**Tolerancia aproximada de las plantas a la cantidad de sodio cambiabile del suelo**

Nivel de tolerancia	% sodio cambiabile	Cultivos
Muy sensibles	2-10%	Frutales, agrios
Sensibles	10-20%	Judía, maíz
Tolerantes	20-40%	Trébol, avena, arroz, lechuga, cebolla, sorgo, zanahorias, tomate
Muy tolerantes	>40%	Trigo, algodón, alfalfa, cebada, remolacha

**Cuadro 5:**  
**Tolerancia de diferentes cultivos al contenido en boro del agua de riego**

Nivel de tolerancia	Concentración de boro	Cultivos
Sensible	0.5-1.0 mg/l	Alcahofa, judía, fresa, ciruelo, peral, manzano, uva, lima, melocotón, naranja, pomelo, limón
Semisensible	1.0-2.0 mg/l	Girasol, patata, algodón, tomate, rosa, olivo, cebada, trigo, maíz, avena, calabaza, pimiento, pepino, sorgo
Tolerante	2.0-4.0 mg/l	Espárrago, palmera, remolacha, alfalfa, gladiolo, melón, clavel, haba, cebolla, lechuga, zanahoria

foliar se encuentra a concentraciones de 0.25-0.50% de sodio sobre materia seca, aunque por encima de 0.05% en plantas sensibles pueden ya producirse síntomas de toxicidad. El cuadro 4 muestra de forma aproximada la tolerancia de las plantas a la cantidad de sodio cambiabile del suelo.

**Toxicidad por boro**

Normalmente un nivel de 0.05-0.1 ppm de boro en la disolución del suelo es suficiente para cubrir las necesidades de las plantas. Los síntomas visuales de exceso aparecen habitualmente en las hojas más viejas, y consisten en necrosis de puntas y bordes y moteado amarillo o pardo en el limbo de la hoja.

La tolerancia a este elemento según su contenido en el agua de riego, se muestra en el cuadro 5.

**Otras toxicidades**

Los sulfatos, a elevadas concentraciones, más que un efecto de toxicidad, ejercen una acción limitadora en la absorción del calcio por la planta y un aumento en la absorción de sodio y potasio, además de contribuir a la elevación de la presión osmótica del medio.

Los iones bicarbonato y magnesio también pueden producir algún tipo de toxicidad específica, aunque en la mayoría de los casos este es un efecto indirecto, bien por precipitación del calcio o bien por disminución de la absorción de éste.

Las aguas naturales contienen cantidades muy pequeñas de micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo) y de otros elementos traza (Ni, Co, Cd, Ag, Cr, Pb...), de ordinario la concentración es inferior a 0.1 ppm y no existen problemas de toxicidad. Sin embargo puede producirse una contaminación industrial de las aguas naturales de modo que se alcancen concentraciones elevadas, en este caso conviene considerar el riesgo de toxicidad, tanto para el vegetal como para el hombre.

**Interacciones entre nutrientes influenciadas por el factor salinidad**

El potasio y el calcio son los dos únicos iones que pueden ser deficientes como consecuencia de la salinidad en el medio radicular.

Altas concentraciones de ion sodio en la disolución del suelo pueden limitar notablemente la absorción del calcio y, en menor medida, la del potasio, ya que la absorción de este ion se realiza a través de un proceso altamente selectivo.

Por otra parte, parece existir una concentración óptima de nitratos en función del grado de salinidad de la solución, más concretamente en función del nivel de cloruros existente.

Así pues, existe un claro antagonismo entre los iones NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y Cl<sup>-</sup>, de manera que un incremento del primero se traduce en una disminución en la absorción del segundo y lo mismo ocurre a la inversa.

Sin embargo, cuando la fuente nitrogenada está bajo la forma amoniacal, y ésta no está sujeta a rápidos procesos de nitrificación (caso de la fertirrigación con riegos frecuentes), se produce una mayor acumulación de cloruro en la planta, con lo que podría agravarse aún más la situación.

**Sistemas Azud**  
**Tres nuevas gamas de filtrado**

En la próxima convocatoria de la Feria de Maquinaria Agrícola FIMA'99, Sistema Azud presentará sus nuevos productos destinados al filtrado de agua, tres gamas distintas que son compatibles entre sí: Azud Modular, Azud Helix System y Azud Helix Automatic.

Con la nueva gama Azud Modular 300, en metal o en plástico, se cubren las necesidades agronómicas para el filtrado de diferentes caudales de aguas de distintas calidades, utilizando diversos grados de filtración.



Para zonas con agua de pozo, o cuya calidad se ve deteriorada por el contenido en arena, se ha desarrollado un producto especial Azud Helix System, que combina el filtrado por discos con un efecto hidrociclónico especial que realiza con la energía del agua un filtrado en profundidad, logrando mantener el filtro limpio durante más tiempo.

Azud Helix Automatic une las ventajas de las gamas mencionadas y las de la tecnología en automatización es una máquina de filtrado con limpieza automática por retrolavado y filtrado en proceso continuo, sin interrupción del flujo de agua filtrada.

**Antonio Alarcón**  
e-mail: aalarcon@ediho.es

azud@azud.com