

# Aproximación a los Criterios de Calidad para el Agua de Riego

F. J. Illa Gómez

SERVICIO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO AGRARIO



**E**l agua constituye el recurso máspreciado y limitante en la agricultura de las zonas áridas y semiáridas, en las que la precipitación no es suficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos (también conocidas como evapotranspiración). Por ello en nuestras zonas se debe compensar el déficit hídrico mediante el riego.

## INTRODUCCIÓN

El agua de riego puede proceder de cauces superficiales (ríos, torrentes, acequias, aguas residuales...), de pozos, de recogida de precipitaciones etc. Esta será la materia prima con la que contaremos para efectuar el aporte adicional que cada cultivo requiera. Por ello tendremos que diferenciar claramente entre lo que es el agua químicamente pura (H<sub>2</sub>O), y el recurso natural del que disponemos, que es una sustancia de composición variable, heterogénea y en muchos casos en continua alteración por efecto de la actuación humana. Todos estos compañeros de viaje del agua pura, sean de la naturaleza que sean, nos van a caracterizar el agua de riego.

Una vez cubiertas las necesidades de agua o evapotranspiración, hay que conocer los efectos que el riego puede ejercer en el cultivo, en el suelo y en general en el medio ambiente, y que dependerán del manejo agronómico que se haga del mismo, de las prácticas culturales y muy especialmente de las características que tenga el agua de riego. Esas características se conocen tradicionalmente como **“CALIDAD”** de dicha agua.

El diccionario de uso del Español de María Moliner da varias definiciones de la palabra calidad, entre las que podemos seleccionar estas dos :

a) Refiriéndose a las maneras posibles de las cosas significa “clase”, y se aplica solamente al grado o lugar

ocupado por ellas en la escala de lo bueno y lo malo.

b) Cada uno de los grupos que se hacen de cierta cosa por su grado de bondad o maldad.

Estas dos acepciones son las que habitualmente se asumen cuando hablamos de calidad de un agua; así se dice que el agua es “buena”, “mala”, o simplemente “regular”. Sin embargo, el término “calidad” resulta algo ambiguo, porque no se enjuicia siempre desde la misma perspectiva. Así, un agua con unas características determinadas puede ser calificada de diferente manera según el destino al que la dediquemos.

Las determinaciones analíticas nos van a permitir conocer las características físicas, químicas y biológicas que tenga un agua de riego. Estas características son las que habrá que conocer para saber si podremos, primero, utilizar ese agua para riego ; a su vez, si tendrá alguna restricción de uso (sistema de riego, especies cultivadas, tratamientos especiales...) ; y, por último, las consecuencias que su utilización, correcta o incorrecta, pueda acarrear.

Una vez hechas estas puntualizaciones, definiré la “calidad de un agua de riego” como la prescripción de uso derivada de las características, físicas, químicas y biológicas de dicha agua.

Según esta definición, si conocemos la calidad de un agua de riego seremos capaces de hacer el uso más racional posible de un bien que resul-

ta cada vez más escaso ypreciado, que se está convirtiendo en un recurso estratégico que condiciona el desarrollo y el porvenir de gran parte de los habitantes del planeta.

## CONSTITUYENTES DEL AGUA DE RIEGO

El agua es el disolvente universal, cuyas propiedades fisico-químicas especiales la hacen indispensable para el desarrollo de todos los procesos relacionados con la vida. En un agua podemos encontrar multitud de componentes, que pueden presentarse en disolución, en emulsión o en suspensión. Estos pueden ser de naturaleza inorgánica u orgánica, y entre estos últimos, podemos distinguir entre seres vivos y materia inerte.

La determinación de estos constituyentes se tiene que efectuar mediante muestras que sean representativas del agua que se quiere conocer, y para ello no bastará únicamente con el análisis químico de la misma, como generalmente suele hacerse, pues éste solo da a conocer la concentración y naturaleza de los constituyentes químicos que el agua lleva en disolución.

Según la naturaleza de la materia que hay en el agua, podemos hacer la siguiente distinción :

- \*Componentes inorgánicos disueltos. Calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruro, sulfato, bicarbonato, carbonato.
- \*Componentes inorgánicos en suspensión. Arenas, limos, arcillas.
- \*Componentes orgánicos. Materia orgánica en descomposición (resos vegetales y animales más o menos degradados), humus, microorganismos (virus, bacterias, protozoos, mohos, hongos, esporas), larvas...

### 1. Componentes Inorgánicos Disueltos.

Las sales minerales pueden disolverse en el agua, en mayor o menor cantidad en virtud de sus características

fisico-químicas ; esta propiedad se conoce como solubilidad. Una vez disueltas, las sales tienden a disociar sus componentes en cationes (parte eléctricamente positiva) y aniones (parte eléctricamente negativa).

Por ello, los componentes inorgánicos disueltos los podremos determinar, bien conociendo la cantidad de sólidos totales disueltos (S.T.D.), o bien conociendo los cationes y aniones que hay en disolución. Lo primero nos proporciona una idea global del efecto osmótico que el agua puede producir en la solución del suelo, mientras que el conocimiento de los cationes y aniones nos proporciona, además, información sobre la naturaleza de las sales que se han disuelto y sus posibles efectos tanto beneficiosos (fertilización) como perjudiciales (fitotoxicidades, desagregación e impermeabilización del suelo...).

La cantidad de sólidos totales disueltos se mide normalmente en gramos por litro ; pero hoy en día resulta más cómodo y rápido medir la conductividad eléctrica a 25°C, como medida indirecta de dicho contenido. La fórmula siguiente relaciona ambas medidas:

$$STD \text{ (gr/l)} = 0,64 \times CE_{25}^o \text{ (dS/m)}$$

Esta fórmula es útil como aproximación cuando no se dispone de mejores datos, pero en muy pocas ocasiones nos da la cifra real de la cantidad de sólidos totales disueltos. Esto es así ya que dicha fórmula ha sido obtenida empíricamente, añadiendo cantidades crecientes de una sal determinada y midiendo las conductividades eléctricas resultantes. Por ello, y según la naturaleza de las sales que el agua lleve en disolución, podemos encontrar desviaciones



notables entre el contenido total real y el calculado por la fórmula anterior.

### 2. Componentes Inorgánicos en Suspensión.

Para el empleo de determinados sistemas de riego es importante conocer la presencia de estos constituyentes del agua de riego, porque si bien no tienen importancia en la nutrición vegetal y en los procesos edáficos, pueden resultar determinantes para su buen funcionamiento.

- La **arena** se define como aquellas partículas inorgánicas cuyo tamaño está comprendido entre 50 mm y 2 mm. Suele aparecer frecuentemente en aguas de pozo, y ejerce un efecto abrasivo en los sistemas de agua a presión. Dicho efecto será mayor o menor según la naturaleza y cantidad de las arenas.

- El **limo** es el conjunto de partículas minerales cuyo tamaño oscila entre 2mm y 50mm.

- Por **arcilla** se conoce a las partículas minerales cuyo tamaño es menor de 2mm.

Tanto arcilla como limo no ejercen la acción abrasiva de las arenas, pero pueden producir importantes obstrucciones si no se dota a la instalación de riego del filtrado correspondiente.

La presencia de estos componentes en determinadas cantidades puede producir problemas muy importantes en sistemas de riego a presión. La abrasión de los rodets de las bombas, las obstrucciones de los emisores con la consiguiente disminución de la



eficiencia de uso del agua etc., se podrían prevenir sólo con detectar estos constituyentes y adoptar las soluciones adecuadas.

### 3. Componentes Orgánicos.

Los componentes orgánicos pueden acompañar al agua cuando ésta llega a la explotación, o pueden generarse en ella por la actividad biológica (algas, micelios, larvas...) Este caso es frecuente cuando el agua se deposita en balsas descubiertas y no es tratada químicamente; la luz solar permite la actividad fotosintética de algas y cianobacterias cuyo número puede dispararse, produciendo proliferaciones que suponen problemas de obstrucciones o necesidad de determinados tipos de filtrado y tratamiento del agua en los sistemas de riego a presión.

El análisis individualizado de los componentes orgánicos de un agua de riego resulta complicado y generalmente de poca utilidad. Pero algunas veces resulta muy importante conocer la presencia de ciertos microorganismos, cuando existan compuestos químicos que son sustrato de reacciones metabólicas de oxidación-reducción. Estas reacciones originan precipitados insolubles, que pueden producir obstrucciones en emisores. Se puede citar como ejemplo las ferrobacterias, que viven de la oxidación de compuestos de hierro de Fe(II) a Fe(III), originando productos altamente insolubles.

Cuando el agua va a utilizarse para el riego de plantas hortícolas, mojan-do las partes comestibles, es impor-

tante prevenir la contaminación bacteriana. Para saber el contenido de microorganismos presentes en el agua, hay que recurrir a métodos microbiológicos de recuento.

## VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE UN AGUA

Conociendo las características físicas, químicas y biológicas del agua de riego podremos inferir una serie de criterios que nos van a servir para valorar sus posibilidades de utilización, o prescripción de uso, tal como definía al principio la calidad. Generalmente solo se dispone del análisis químico del agua, por lo que se hará especial referencia a los criterios de calidad química. Estos criterios, si son obtenidos directamente de las determinaciones analíticas, constituyen los tradicionalmente conocidos como “índices de primer grado”; e “índices de segundo grado”, cuando se obtienen a partir de aquellos. Esto es lo que va a exponerse a continuación.

### 1. Criterios de Calidad Física.

Fundamentalmente serán los relacionados con la temperatura del agua. La temperatura puede condicionar la utilización del agua de riego, siempre que sea bastante diferente de la ambiente. Esto suele ocurrir cuando utilizamos aguas subterráneas, que no son depositadas en balsas de riego y son utilizadas directamente en la finca. La disolución de los abonos y el lavado de las sales del suelo son más o menos efectivos según la temperatura del agua. Podemos encontrarnos con aguas subterráneas termales, que tendrán temperaturas superiores a la ambiente, pero lo normal es que la temperatura sea inferior a la ambiental.

En el caso de aguas termales, hay que tener presente que al contacto con el suelo se produce un descenso de temperatura que puede producir una precipitación de sales en el perfil, que podría conducir a su salinización.

Si las aguas son muy frías, las solubilidades de los abonos y las sales serán muy bajas. Además la actividad biológica del suelo se verá condicionada en la medida en que descienda su temperatura, y puede producirse un shock en las raíces por la disminución de la temperatura y transpiración intensa en partes aéreas.

Por ello es interesante esperar a que se produzca el atemperamiento de las aguas antes de ser utilizadas para regar.

### 2. Criterios de Calidad Química.

La calidad química del agua de riego viene condicionada por la concentración y naturaleza de sus constituyentes químicos en solución. El análisis químico de un agua permite evaluar los problemas actuales derivados de su calidad, predecir parte de los futuros y definir - junto con otras variables - las prácticas más adecuadas para su manejo. Por ello, tradicionalmente la clasificación de las aguas en función de su calidad, se ha basado en el análisis químico de sus componentes solubles.

La mayoría de laboratorios cuando analizan un agua determinan, de



forma habitual los siguientes parámetros:

- Conductividad eléctrica (CE<sub>25°C</sub>).
- Cationes: Na<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>.
- Aniones: CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.
- pH
- Relación de absorción de sodio SAR.

Estas determinaciones nos permiten conocer la calidad química de un agua, que se valora desde tres grandes puntos de vista, según influyen en la salinidad, la sodicidad y la toxicidad.

### 2.1. Criterios de salinidad.

La salinidad del agua es probablemente el criterio primordial de calidad, pues determina en gran medida la disponibilidad del agua por la planta a través de su efecto osmótico y consiguiente disminución del potencial total en el suelo.

Cuando regamos el suelo, una parte del agua se infiltra en profundidad y otra es retenida por diversas fuerzas. Esta agua retenida es precisamente la que aporta las sales al suelo. Estas se acumulan en determinados puntos del perfil, fundamentalmente aquellos donde se produce la evaporación o la extracción del agua por parte de las raíces. Esto supone para la planta un aumento de dificultad para la toma de agua a medida que aumenta la salinidad de la solución del suelo.

Como ya se ha explicado en 2.1 la salinidad se mide por la cantidad de sólidos totales disueltos (STD g/l) o mediante la expresión de la Conductividad Eléctrica (CE dS/m).

El aumento de sales en el perfil de un suelo bien drenado, está relacionado con su permeabilidad, que a su vez se encuentra estrechamente ligada a la textura de dicho suelo. A medida que aquella es mayor, las fuerzas de retención se debilitan y el lixiviado de las sales es más fácil. Así, un suelo arenoso por ser muy permeable se lavará fácilmente y su salinización será más difícil. En suelos de textura franca aumentará la capacidad de retención, su capacidad de lavado

será menor y aumentará el riesgo de salinización. Y en suelos arcillosos, cuya capacidad de retención es muy grande, el lavado será muy difícil, siendo máximo el riesgo de salinización. Esto será aún mayor si en el complejo de cambio predominan iones sodio, que pueden producir la dispersión de las arcillas, disminuyendo aún más la permeabilidad de dicho suelo.

El concepto “fracción de lavado” (FL), desarrollado por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (U.S.S.L.S.), introduce un aporte suplementario de agua al riego en función de su salinidad y de las necesidades de drenaje requeridas para que no se depositen las sales en el horizonte de cultivo. Para los suelos cuya textura oscila entre franco-arenosa y arcillosa la fracción de lavado se puede calcular mediante las siguientes expresiones.

- Métodos de riego superficial:

$$FL = \frac{CE_{H2O}}{5CE_e - CE_{H2O}}$$

- Métodos de riego de alta frecuencia:

$$FL = \frac{CE_{H2O}}{2(Max.CE_e)}$$

Siendo :

CE<sup>H2O</sup>, la conductividad eléctrica del agua de riego.

CE<sub>e</sub>, la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para un cultivo determinado, en función del grado de reducción de cosecha que se esté dispuesto a tolerar (valores tabulados).

Máx. CE<sub>e</sub>, es la conductividad eléctrica máxima del extracto de saturación del suelo, referida a un cultivo dado (valores tabulados).

En condiciones de salinidad existe un desequilibrio en la dinámica del agua en la planta. Esta reacciona ofreciendo una mayor resistencia a la pérdida de agua, relacionada con un aumento de la resistencia estomática



y de la resistencia del mesófilo. A la vez se producen cambios metabólicos, variando los niveles y proporciones hormonales (para favorecer el cierre estomático), y se da una reducción de la fotosíntesis debido al menor intercambio de CO<sub>2</sub> por los estomas. En condiciones extremas de salinidad, o en especies particularmente sensibles, se producen daños irreversibles en el aparato fotosintético, apareciendo síntomas que empiezan por clorosis acentuadas en las hojas, que suelen evolucionar hasta producir necrosis de las mismas.

En diversas experiencias se ha comprobado que las plantas tienen cierta capacidad de tolerancia creciente a la salinidad, gracias a esos mecanismos que son capaces de poner en marcha. Esto explica que muchos cultivos perennes toleren el riego con aguas cuya salinidad excede lo máximo que citado en la bibliografía para los mismos. Esto sin duda se debe a que la salinidad de las aguas con que se riegan ha ido aumentando paulatinamente, hasta llegar a los niveles actuales, lo que a su vez ha permitido ese proceso de “adaptación” de las plantas.

### 2.2. Criterios de Infiltración.

En las zonas áridas o semiáridas,

como las de los ambientes mediterráneos, los suelos presentan en el complejo de cambio una notable abundancia de los cationes divalentes calcio y magnesio. El sodio es un catión monovalente que tiende a reemplazar parcialmente en el complejo de cambio a los cationes divalentes. Si el agua de riego contiene cantidades elevadas de sodio, éste puede acabar siendo predominante en el complejo de cambio, desplazando principalmente al calcio y al magnesio.



Algunas de las propiedades físicas de los suelos, tales como la estructura y la estabilidad de los agregados, dependen del tipo de iones intercambiables que haya en el complejo de cambio. Los iones divalentes, como el calcio y el magnesio, proporcionan características favorables (estructuración y agregación del complejo arcillo-húmico). Sin embargo, el sodio adsorbido en el complejo de cambio produce el hinchamiento y la dispersión de las arcillas, por lo que si sus niveles son elevados puede reducir notablemente la permeabilidad del suelo. Al efectuar los riegos, el sodio retenido en el complejo de cambio puede intercambiarse por cationes  $H^+$ , procedentes de la disociación del agua en  $H^+$  y  $OH^-$ , formándose hidróxido sódico que elevará considerablemente el pH. Todo ello puede conducir a un proceso de alcalinización del suelo.

Como se ha dicho, los cationes divalentes (fundamentalmente calcio y magnesio) tienen un efecto antagónico respecto al sodio. En base a esto se han desarrollado numerosos estudios que relacionan dichos cationes para

prevenir el riesgo de descenso de permeabilidad que produciría el uso de un agua de riego, debido al aumento del porcentaje de sodio cambiante del suelo. De todas las relaciones iónicas la que mejores predicciones permite

es la denominada “Relación de Adsorción de Sodio” SAR, realizada por el U.S.S.L.S.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

Siendo:

$Na^+$ , la concentración de sodio en el agua de riego, expresada en meq/l.

$Ca^{+2}$ , la concentración de calcio en el agua de riego, expresada en meq/l.

$Mg^{+2}$ , la concentración de magnesio en el agua de riego, expresada en meq/l.

Se produce un descenso de la permeabilidad el suelo conforme este índice aumenta.

Los valores que se obtienen del SAR suelen ser bajos, por lo que se ha introducido un factor de corrección empírico que tiene en cuenta la presencia de aniones como  $CO_3^{=}$  y  $HCO_3^-$  que influyen en la disolución o precipitación de sales alcalinotérricas, en función del pH teórico del agua de riego ( $pH_c$ ) que está en contacto con la caliza y en equilibrio con el  $CO_2$ . Así se obtiene el SAR ajustado ( $SAR_{aj}$ ).

$$SAR_{aj} = \frac{Na^+ [1 + (8,4pH_c)]}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

En función de este índice se establece la siguiente clasificación (Rhoades, 1.972).

El valor del SAR ajustado se ha utilizado ampliamente en los últimos años. Sin embargo diversos trabajos lo han revisado, considerando que este método sobrestima la peligrosidad del sodio. Y así se ha establecido el SAR corregido, que se calcula mediante la siguiente expresión.

Siendo:

$Na^+$ , la concentración de sodio en el agua de riego, expresada en meq/l.

$Ca^o$ , el contenido corregido de calcio en el agua del suelo, expresado en meq/l.

**TABLA 1**

S.A.R.	RIESGO DE DESCENSO DE LA PERMEABILIDAD		
	Conductividad Eléctrica CE25°C dS/m		
	NINGUNO	LIGERO-MODERADO	ALTO
0 - 3	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
6 - 12	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
12 - 20	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
20 - 40	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9

**TABLA 2**

Valores del SAR ajustado y Conductividad Eléctrica dS/m en el agua de riego

RIESGO DE SODIFICACIÓN	CE25°C < 0,4 dS/m S.A.R. ajustado	CE25°C 0,4 a 1,6 dS/m S.A.R. ajustado	CE25°C > 1,6 dS/m S.A.R. ajustado
Sin riesgo	<6	<8	<16
Moderado riesgo	6 - 9	8 - 9	16 - 24
Alto riesgo	>9	>9	>24

$$SAR\ corregido = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

Mg<sup>+2</sup>, la concentración de magnesio en el agua de riego, expresada en meq/l.

Los valores del SAR corregido están muy próximos a los del SAR sin corregir, y la interpretación puede hacerse de modo similar, utilizando la tabla 1.

El valor Ca<sup>0</sup> se recoge en tablas, calculadas en función de la conductividad eléctrica del agua y la relación entre los bicarbonatos y el calcio de la misma. Igualmente hay tablas para obtener el pHc para el SAR ajustado. Por razones de espacio y dado que entre los objetivos de este artículo no está el cálculo de los índices, no se incluye dichas tablas. No obstante, en la bibliografía citada puede ampliarse la información aquí expuesta.

Cuando se presenten problemas de infiltración derivadas del aporte de sodio por el agua de riego, se pueden plantear diversos tipos de soluciones al respecto, como tratamientos y enmiendas químicas o húmicas, o bien labores culturales que mejoren la capacidad de infiltración del suelo.

Los tratamientos químicos consisten en aportar calcio al agua de riego, o aquellas sustancias que puedan producir la liberación del calcio presente en las calizas del suelo (ácido sulfúrico, azufre mineral...).

Las labores culturales y las enmiendas húmicas ejercen un efecto pasajero en las propiedades del suelo, por

lo que deben de repetirse en cada temporada.

### 2.3. Criterios de Toxicidad.

Ciertos iones pueden ejercer un efecto específico sobre la planta, independientemente del efecto osmótico que se produce por su concentración en la solución del suelo antes mencionado, disminuyendo su crecimiento y producción. Este efecto específico puede ser de naturaleza tóxica o nutricional, y está originado por su absorción en la zona radicular y la posterior acumulación en las hojas y tejidos vegetales.

La toxicidad se produce cuando los iones del agua son absorbidos por la planta y se acumulan en ella en cantidades tales que se produce una disminución de su rendimiento, por afectar directamente al metabolismo, a las relaciones hormonales, o estimular la formación de metabolitos tóxicos que pueden ejercer diferentes interacciones fisiológicas.

Los efectos sobre la nutrición de la planta se producen generalmente por la presencia excesiva de ciertos iones que originan un desequilibrio en la absorción de otros; por ello, ciertos elementos minerales necesarios para la nutrición vegetal se encontrarán en niveles carenciales, y las plantas manifestarán la sintomatología típica de esas carencias. Así, puede ocurrir lo siguiente:

- Concentraciones elevadas de sulfato pueden inhibir la absorción de calcio y promover la de sodio.
- Concentraciones elevadas de calcio pueden inhibir la absorción de potasio.

- Concentraciones elevadas de magnesio o sodio inhiben la absorción de calcio o potasio en algunos cultivos.
- Concentraciones elevadas de bicarbonato pueden ocasionar clorosis férrica en frutales y en ornamentales.

Los iones más comunes que pueden provocar fitotoxicidad son el cloruro, el sodio y el boro.

#### • Toxicidad de los cloruros.

El ion cloruro es un importante productor de fitotoxicidades, debido a sus características que hacen que sea muy móvil tanto en el suelo como en la planta. Produce importantes reducciones del crecimiento, antagoniza la absorción de nitratos y, a partir de determinadas concentraciones se manifiestan síntomas en las plantas como necrosis apicales de las hojas, que si la concentración es elevada



puede extenderse a toda la hoja hasta producirse la defoliación. Se ha demostrado que la toxicidad es directamente proporcional a la concentración de cloruros. También se produce un efecto de disminución de fotosíntesis, pues las raíces en presencia de concentraciones elevadas de cloruros producen ácido abscísico (ABA), hormona que es responsable del cierre estomático al ser transportada a las hojas.

• **Toxicidad del sodio**

Los efectos más desfavorables del

osmótica a nivel citoplasmático. Esta interacción puede producir daños en las membranas citoplasmáticas de las células, por la interacción que se origina entre el calcio estructural de la pared vegetal y el sodio absorbido. Los síntomas visuales de toxicidad por sodio son necrosis a lo largo del borde foliar, que pueden penetrar hasta el espacio internervial cuando las concentraciones son muy elevadas.

• **Toxicidad del boro**

Este nutriente suele encontrarse

industria azulejera. Aunque resulta indispensable para el desarrollo de los vegetales, es tomado en reducidas cantidades, y el rango entre carencia y exceso es muy pequeño.

El boro se acumula en hojas fundamentalmente, las cuales suelen manifestar síntomas de exceso típicos, como son las necrosis en los ápices y moteados amarillos de los limbos. Estos síntomas son más abundantes y evidentes en las hojas adultas.

Después de expuestos los mecanismos de toxicidad de los iones que con

**TABLA 3**

	SULFATOS	BORO	CLORUROS	SODIO
<b>BUENAS</b>	< 0'35 g/l	< 0'33 mg/l	< 0'175 g/l	< 0,25 g/l
<b>TOLERABLES</b>	0'35- 0'60 g/l	0'33- 0'50 mg/l	0'175-0'29 g/l	0,25-0,60 g/l
<b>MEDIOCRES</b>	0'60-0'90 g/l	Perjudicial 0'50- 2 mg/l	sospechosa > 0'29 g/l	peligrosa > 0,60 g/l
<b>IMPROPIAS</b>	> 0'90 g/l	Inutilizable si > 2 mg/l		

sodio son los derivados de su acción osmótica, así como la elevación del SAR que produce. Además de esto, su presencia en exceso antagoniza la absorción de potasio, que es un elemento fundamental de regulación

presente en el agua de riego en concentraciones muy bajas, generalmente por debajo de 0,1 ppm. Suele aparecer en mayor concentración en aguas que sufren contaminación industrial, especialmente por la

más frecuencia causan problemas, podríamos dar como generales los siguientes índices de concentración en aguas de riego, teniendo muy presente que cada cultivo puede mostrar diferente sensibilidad o tolerancia

**TABLA 4**

<b>CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE RIEGO</b>			
<b>RIESGO</b>	<b>CATEGORÍA DEL AGUA</b>		
	<b>BUENA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>BAJA</b>
<i>SALINIDAD</i>			
CE dS/m	< 1,20	1,20 - 3,50	> 3,50
STD g/l	< 0,77	0,77 - 2,24	> 2,24
<i>SODICIDAD</i>			
SARajustado	< 8,0	8,0 - 16,0	> 16,0
CSR (carbonato sódico residual)	< 1,5	1,5 - 2,8	> 2,8
<i>TOXICIDAD</i>			
Sodio (g/l)	< 0,25	0,25 - 0,60	> 0,60
Cloruro (g/l)	< 0,30	0,30 - 0,70	> 0,70
Boro (mg/l)	< 1,00	1,00- 3,50	> 3,50

según sus propias características fisiológicas.

Habrà que evitar la utilización de aguas que contengan sustancias de carácter reductor, como el bicarbonato ferroso, ácido sulfúrico, oligoelementos, metales pesados, que suelen proceder de la contaminación industrial, y cuyos efectos pueden ser nocivos tanto para las plantas como para el hombre, ya que existe la posibilidad de que alguno de esos elementos sea acumulativo y pase a la cadena trófica.

A continuación y a modo de resumen, la siguiente tabla realiza una recopilación de los índices que pueden caracterizar a un agua de riego en función de sus posibles riesgos de utilización (Cerdà y colaboradores, 1.980).



Las características del agua tienen especial relevancia en el riego localizado, desde su diseño hidráulico hasta su manejo, incluyendo en éste los tratamientos de mantenimiento, limpieza y la práctica de la fertirriga-

ción. Dada la gran importancia que el riego localizado está tomando en la actualidad y la extensión que tomaría entrar de lleno en estas cuestiones, es preferible posponer su exposición para más adelante, dedicando un artículo completo a este tema.

Para finalizar, solo cabe resaltar la importancia del buen uso que se haga del agua de cara a un futuro en el que, como decía al inicio, se está convirtiendo en un valor estratégico. La agricultura emplea una gran parte del total del agua que se consume y por ello es importante utilizarla con racionalidad y evitar al máximo su contaminación; esta es una de las mejores y más provechosas inversiones de futuro que se pueden hacer.

## BIBLIOGRAFÍA

Azcón-Bieto, J. y Talón, M. **FISIOLOGÍA Y BIOQUÍMICA VEGETAL**. McGraw-Hill. Interamericana de España.

Bolarín, M.C. y otros. **LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO**. Publicaciones de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Región de Murcia. Serie Congresos nº 3.

Cánovas, J. **CALIDAD AGRO-NÓMICA DE LAS AGUAS DE RIEGO**. Publicaciones de Extensión Agraria.

Doorenbos, J. y Pruitt, W. **LAS NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS**. Estudio FAO : Riegos y drenajes nº 24.

Font Quer, P. **DICCIONARIO DE BOTÁNICA**. Editorial Labor.

Fuentes, J. **AGUAS SUBTERRÁNEAS**. Hoja Divulgadora nº 1/92 del Mº de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Moliner, M. **DICCIONARIO DE USO DEL ESPAÑOL**. Editorial Gredos.

Ramos, C. y Ocio, J. **LA AGRICULTURA Y LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR NITRATO**. Hoja Divulgadora nº 7/92 del Mº de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Snoeyink V. y Jenkins, D. **QUÍMICA DEL AGUA**. Editorial LIMUSA.

## GLOSARIO

**ABSORCIÓN**: acción por la que un cuerpo coge y retiene en su masa a otro en estado líquido o gaseoso.

**ADSORCIÓN**: retención de un gas o un líquido por la parte superficial de un sólido.

**COMPLEJO ARCILLO-HÚMICO**: conjunto formado por las partículas de arcilla y la materia orgánica más estable -humus-, de pequeñísimo tamaño, que no se disuelven en el agua sino que se encuentran en la misma en suspensión. Normalmente este complejo se encuentra en forma coagulada por la acción del calcio.

**DISOLUCIÓN**: acción por la que se incorpora a una sustancia líquida otra en cualquier estado que queda íntimamente unida a ella, sin que sus partículas sean perceptibles.

**DRENAJE**: paso del agua a zonas más profundas.

**EMULSIÓN**: líquido en el que se mantienen en suspensión pequeñísimas gotas o partículas de una sustancia insoluble en él.

**ESTOMA**: abertura microscópica en la epidermis de los vegetales, a través de la cual se verifican los cambios de gases entre el interior de los tejidos de las plantas y el exterior

**ESTRUCTURA DEL SUELO**: es la forma en que se unen las diferentes partículas del suelo.

**EVAPOTRANSPIRACIÓN**: Es la cantidad de agua consumida por un cultivo. Es una palabra compuesta formada por evaporación y transpiración; el primer término hace referencia a la evaporación que se produce en la superficie del suelo, y el segundo a la emisión de agua que la planta efectúa a través de sus estomas y tejidos sin lignificar.

**FITOTOXICIDAD**: alteración producida en la planta de carácter abiótico.

**FOTOSÍNTESIS**: proceso fundamental en la vida de las plantas verdes por el que se realiza la fijación del CO<sub>2</sub> atmosférico, que se transforma en azúcares, y se obtiene energía para la realiza-

ción de sus procesos vitales.

**FRACCIÓN DE LAVADO**: consiste en el aporte de agua de riego en que hay que suplementar a las necesidades del cultivo, en función de los requerimientos de drenaje necesarios para que no se depositen sales en el horizonte de cultivo.

**INFILTRACIÓN**: movimiento del agua desde la superficie del suelo hacia abajo.

**MESÓFILO**: conjunto de tejidos que se hallan entre ambas epidermis de la hoja y entre los nervios de la misma.

**METABOLISMO**: complejo de fenómenos físico-químicos que ocurren en la planta por los cuales se llega a sintetizar los diversos cuerpos que integran el organismo, así como por los que la materia es degradada o simplificada.

**METABOLITO**: cualquier producto del metabolismo.

**MICELIO**: conjunto de células vegetativas de los hongos, agrupadas en filamentos llamados hifas, que pueden adoptar estructuras más o menos complejas.

**ÓSMOSIS**: fenómeno que consiste en el paso recíproco de dos líquidos de distinta densidad a través de una membrana porosa interpuesta entre ellos.

**OXIDACIÓN-REDUCCIÓN**: conjunto de fenómenos químicos en los que se produce ganancia (aceptación) o pérdida (cesión) de electrones.

**PERMEABILIDAD**: facultad del suelo para permitir el paso del agua a su través.

**SALINIDAD**: proporción de sal contenida en una solución.

**SOLUBILIDAD**: es la capacidad medible que tiene un sólido de disolverse en un líquido.

**SUSPENSIÓN**: es la manera en que se encuentran dentro de un líquido, partículas de otra sustancia, sólida o líquida, no soluble en él y que no se depositan en el fondo.

**TEXTURA**: es la característica resultante de las proporciones que tiene un suelo de arena, limo y