

# Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego

Álvaro García O.\*

## (Segunda parte)

### Efecto de iones específicos

Aunque la mayoría de las plantas responden a la salinidad como una función del potencial osmótico total, hay otras que son susceptibles a ciertos iones en forma específica. Un problema de toxicidad difiere de uno de salinidad en que su efecto ocurre dentro de la planta misma y no se debe a un déficit de agua. Generalmente las plantas absorben los iones y los acumulan en los tejidos foliares; cuando esta acumulación excede ciertos niveles se presenta el daño, la magnitud del cual depende de la concentración, del tiempo, de la sensibilidad del cultivo y de uso del agua por la planta (Bingham, 1984; Ayers y Westcot, 1985; Maas y Hoffman, 1977).

Los iones tóxicos más comunes en las aguas de riego son los cloruros, el sodio (Na) y el boro (B). En algunos casos se presentan en menor extensión toxicidades por magnesio (Mg), litio (Li), sulfatos y elementos traza, residuos de pesticidas y contaminantes provenientes de desechos industriales. El daño puede ser causado por un ión individualmente o en combinación con otros.

En muchos casos la salinidad o la presencia de determinados iones en el agua de riego induce desbalances nutricionales o deficiencias causando reducción en los rendimientos o daños a la planta. Así por ejemplo, altos niveles de sulfatos en el agua de riego pueden inducir deficiencias de Mg en uva (Ehlig, 1960), el corazón negro del apio en suelos salinos se debe a deficiencia de Ca causada por altos niveles de sulfatos y bajo contenido de Ca (Geraldson, 1954).

### Cloruros

Es la más común de las toxicidades específicas de iones. Este ión, que permanece libre en la solución del suelo, es absorbido por las plantas y se mueve con la corriente transpiratoria hasta las hojas en donde se acumula. Si en ellas la concentración excede la tolerancia de las plantas se presentan síntomas de toxicidad, los cuales incluyen quemazón o secamiento de los tejidos foliares que se inicia por los ápices y se extiende a lo largo de los márgenes a medida que la severidad de la toxicidad aumenta. En casos de toxicidad excesiva se produce necrosis a menudo acompañada por defoliación. Para plantas muy sensibles los síntomas aparecen cuando las hojas acumulan entre 0.3 y 1.0% de cloruros en base seca. La susceptibilidad varía entre especies y los

síntomas aparecen a concentraciones diversas en el tejido (Bingham, 1984; Ayers y Westcot, 1985).

Aunque no existe información copiosa acerca de la toxicidad de los cloruros y la tolerancia de la plantas, la **Tabla 6** presenta una recopilación hecha por Maas (1984) en el Laboratorio de Salinidad. Estos criterios no se deben usar en una forma rígida sino que se deben considerar las situaciones particulares para cada especie y localidad. Es el caso del cultivo de tabaco, cuya calidad se reduce notablemente al acumular cloruros en los tejidos los cuales afectan las propiedades de combustión de la hoja.

### Sodio

Los síntomas de toxicidad incluyen quemazones, encrespamiento de la hoja y muerte de tejidos lo cual ocurre inicialmente en los bordes externos y, a medida que la severidad de la toxicidad aumenta, progresa en los tejidos intervenales. Los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas y se diferencian de la toxicidad por cloruros en que esta se inicia en el ápice de la hoja. Algunos resultados experimentales han demostrado que la toxicidad del Na se puede modificar o reducir si se encuentra suficiente Ca disponible en el suelo. La fertilización con yeso o con nitrato de Ca puede contribuir a solucionar el problema (Ayers y Westcot, 1985). En la **Tabla 7** aparece la toxicidad relativa de algunos cultivos a la saturación de Na (PSI) del suelo.

### Boro

El B es requerido por las plantas en cantidades relativamente pequeñas, sin embargo cuando se encuentra presente en cantidades apreciablemente mayores que las necesarias puede ser tóxico. Las toxicidades son comunes en algunas áreas en donde las aguas subterráneas que se usan para riego atraviesan depósitos ricos en este nutrimento. En el suelo los problemas de toxicidades son menos corrientes.

Para la mayoría de los cultivos los síntomas de toxicidad de B aparecen cuando las concentraciones en los tejidos foliares exceden de 250 - 350 mg kg<sup>-1</sup> (base seca). Incluyen amarillamiento inicial de las hojas más viejas, moteados necróticos o secamiento de los tejidos foliares en los ápices y en los bordes. El secamiento y la clorosis a menudo progresan intervenalmente hacia el centro de la hoja a medida que el B se acumula con

\* Ing. Agr., M.Sc., Ph.D. Chair Person Soil Fertility and Plant Nutrition Commission, International Union of Soil Sciences (IUSS). Correo electrónico: agarcia58@yahoo.es

**Tabla 5. Concentración de Ca (Ca<sub>x</sub>) que se espera permanezca cerca de la superficie del agua del suelo después de un riego con agua de una relación dada HCO<sub>3</sub> / Ca y de una CEa dada (1.2.3).**

HCO <sub>3</sub> / Ca	Salinidad del agua (CEa) (dS m <sup>-1</sup> )											
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	16.94
0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.42	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.57
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.33	0.33	0.35	0.37
30.00	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

1) Suárez, 1981.

2) Asume como fuentes de calcio en el suelo a la cal o a silicatos, asume que no hay precipitación de Mg y una presión parcial de CO<sub>2</sub> de 2007 atmósferas cerca de la superficie del suelo.

3) Ca<sub>x</sub>, HCO<sub>3</sub> y Ca reportados en me l<sup>-1</sup>; CEa en dS m<sup>-1</sup>.

**Tabla 6. Tolerancia de algunos cultivos a los cloruros en el extracto de saturación en agua de riego (Adaptado de Maas, 1984).**

Cultivo	Patrones	Concentración permisible de cloruros	
		Extracto de saturación (Cle)	Agua de riego (Cla)
		me l <sup>-1</sup>	
Aguacate	Indias Occidentales	7.5	5.0
	Guatemalteco	6.0	4.0
	Mexicano	5.0	3.3
Cítricos	Mandarina Sunki	25	16.6
	Toronja		
	Mandarina Cleopatra		
	Lima Rangpur		
	Tangelo		
	Limón Rugoso		
	Naranja Agria		
	Mandarina Ponkan	15.0	10.0
	Citromelo 4475		
	Naranja Trifoliada		
Uva	Naranja Dulce	10.0	6.7
	Calamondín		
	Salt Creek 1613-3	40.0	27.0
	Dog Ridge	30.0	20.0
	Thompson sin semilla	20.0	13.3
	Perlete	20.0	13.3
Fresa	Cardenal	10.0	6.7
	Rosa Negra	10.0	6.7
	Lassen	7.5	5.0
	Shasta	5.0	3.3

**Tabla 7. Tolerancia relativa de ciertos cultivos a la saturación de sodio intercambiable en el suelo [Ayers y Westcot, 1985. Adaptado de FAO UNESCO (1973); Pearson (1960) y Abrol (1982)].**

Sensible PSI < 15	Semitolerantes PSI = 15 - 40	Tolerantes PSI > 40
Aguacate	Zanahoria	Alfalfa
Frutales deciduos	Trebol Ladina	Algodón
Nueces	Festuca Alta	Cebada
Habichuela	Lechuga	Pasto Bermuda
Algodón (germinación)	Caña de Azúcar	Pasto Rhodes
Maíz	Avena	Pasto Pará
Arveja	Cebolla	Remolacha
Toronja	Rábano	Remolacha Azucarera
Frijol	Arroz	Sorgo
Lenteja	Mango	
Maní	Espinaca	
Caupí	Trigo	

**Tabla 8. Tolerancia relativa de algunos cultivos al B contenido en las aguas de riego (Maas, 1984).**

<b>Muy sensibles (&lt; 0.5 mg l<sup>-1</sup>)</b>	<b>Moderadamente sensibles (1.0 - 2.0 mg l<sup>-1</sup>)</b>
Limón	Arveja
Zanahoria	Rábano
	Papa
<b>Sensibles (0.5 - 0.75 mg l<sup>-1</sup>)</b>	Pimienta
Aguacate	Pepino
Tomate	
Naranja	<b>Moderadamente tolerantes (2.0 - 4.0 mg l<sup>-1</sup>)</b>
Ciruela	Lechuga
Cereza	Repollo
Durazno	Apio
Albaricoque	Nabo
Higos	Avena
Uva	Maíz
Caupí	Tabaco
Cebolla	Moataza
Nogal	Trébol
	Calabaza
<b>Sensibles (0.75 - 1.00 mg l<sup>-1</sup>)</b>	<b>Tolerantes (4.0 - 6.0 mg l<sup>-1</sup>)</b>
Ajo	Sorgo
Patata	Tomate
Trigo	Alfalfa
Cebada	Remolacha
Girasol	Remolacha Azucarera
Fríjov l	Perejil
Ajonjolí	
Lupino	<b>Muy tolerantes (6.0 - 15.0 mg l<sup>-1</sup>)</b>
Fresa	Algodón
Alcachofa	Espárrago
Maní	

el tiempo. En algunos árboles seriamente afectados los síntomas típicos no aparecen, y en lugar se presenta una goma o exudado en el tronco o en las ramas. Algunas plantas no acumulan suficiente B en los tejidos para ser detectado en un análisis foliar, pero sufren daños a muy bajas concentraciones (Ayers y Westcot, 1985).

Bingham (1984), demostró que el efecto del boro sobre las plantas sigue la misma tendencia que el efecto salino debido al potencial osmótico, por lo cual se puede utilizar una ecuación similar a la propuesta para las sales solubles.

En la **Tabla 8** se presenta la tolerancia relativa al B por parte de algunos cultivos (Maas, 1984), la cual es

una recopilación de los resultados experimentales de algunas décadas en varios lugares del mundo.

### Efectos del riego por aspersión

Se pueden presentar toxicidades debido a la presencia del Na y cloruros en el agua de riego, los cuales pueden ser absorbidos por los tejidos foliares. También la evaporación del agua entre rotaciones de los aspersores puede producir concentración de las sales en el agua que se deposita sobre el follaje.

En cultivos susceptibles al Na o al Cl se pueden producir efectos tóxicos a concentraciones relativamente bajas (3 me l<sup>-1</sup>). La absorción y toxicidad ocurre preferiblemente

**Tabla 9. Tolerancia relativa de algunos cultivos a sales cuando se usa riego por aspersión\* (Maas, 1984).**

Cultivos	----- Concentración de Na <sup>+</sup> o Cl <sup>-</sup> (me l <sup>-1</sup> ) que puede causar daño foliar -----		
	5 - 10	10 - 20	> 20
Almendro	Vid	Alfalfa	Coliflor
Albaricoque	Pimienta	Cebada	Algodón
Cítricos	Papa	Maíz	Remolacha
Ciruelo	Tomate	Pepino	Girasol
		Ajonjolí	
		Sorgo	

\* Daño causado por acumulación directa sobre las hojas.

**Tabla 10. Bicarbonatos\* adicionados con el agua de riego ciclo de cultivo de caña (kg ha<sup>-1</sup>).**

Agua aplicada m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	----- Concentración de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en el agua de riego (mg l <sup>-1</sup> ) -----				
	100	200	400	800	1200
1000	100	200	400	800	1200
2000	200	400	800	1600	2400
4000	400	800	1600	3200	4800
8000	800	1600	3200	6400	9600

\* Bicarbonatos de Ca, Mg, Na y K.

en condiciones de alta temperatura y baja humedad y es agravada por el viento. En la **Tabla 9** se presenta la tolerancia relativa de algunos cultivos a sales cuando se usa riego por aspersión.

### Problemas misceláneos

#### Alta saturación de magnesio (Mg<sup>2+</sup>)

La acumulación de Mg<sup>2+</sup> en el complejo de cambio bajo ciertas condiciones es un fenómeno bien conocido. El uso de aguas de riego que contienen altas cantidades de Mg<sup>2+</sup> puede traer como consecuencia el aumento en el complejo de saturación de Mg intercambiable del suelo (PMgi). También suelos derivados de materiales parentales ricos en Mg, o materiales serpentínicos, comunes en algunas áreas como el Valle del Cauca o en Distrito de la Doctrina en Córdoba, tienen un alto contenido de Mg<sup>2+</sup> intercambiable. En este tipo de suelos se producen problemas de infiltración similares a los que produce el Na.

Aunque actualmente existe mucha información que soporta el punto de vista de que el Mg actúa en el suelo de forma semejante al Ca, también es cierto que muchos investigadores han encontrado que el Mg<sup>2+</sup> tiene la capacidad de ayudar a desarrollar niveles mayores de PSI en suelos y en materiales arcillosos. Hay un efecto específico del Mg intercambiable sobre las propiedades físicas de los suelos causando disminución en la

conductividad hidráulica por que tiene características dispersivas. El grado de dispersión aumenta a medida que aumenta la relación Mg:Ca en el suelo (García y Pratt, 1988; García y González, 2000; García, 2002).

El Mg<sup>2+</sup> intercambiable puede reducir el crecimiento de las plantas debido a un efecto directo de toxicidad. La disminución en la producción puede atribuirse a una deficiencia de Ca causada por altos niveles de Mg en el suelo. Debido a la existencia de información contradictoria y a la carencia de un parámetro preciso que permita determinar la peligrosidad del peligro potencial para el suelo o los cultivos al usar un agua con una concentración dada de Mg, se recomienda una evaluación cuidadosa de la misma cuando la relación Ca:Mg del agua sea menor que 1. En este caso, la determinación del contenido de Ca disponible en el suelo es necesaria para determinar si debe añadirse una enmienda cálcica.

#### Reacción (pH)

El pH en las aguas de riego fluctúa normalmente entre 6.5 y 8.4. Un valor anormal por encima o (por debajo de este rango) da indicación de que el agua necesita análisis más detallados. Un agua con un contenido bajo de sales (CEa < 0.2 dS m<sup>-1</sup>) a veces tiene un pH por fuera del rango, como sucede en el valle del Río Cauca, lo cual indica la necesidad de conocer su composición.

**Tabla 11. Máximas concentraciones permisibles de elementos traza en el agua de riego (FAO, 1985).**

Elemento	Máxima concentración permisible (mg l <sup>-1</sup> )	Observaciones
Al	5.00	Causa restricción en el crecimiento en suelos ácidos (pH 5.5).
As	0.10	Toxicidad para plantas variables, ej. 12 mg l <sup>-1</sup> para Pasto Sudán, 0 - 05 mg l <sup>-1</sup> para arroz.
Cd	0.01	Tóxico para frijoles, remolacha y nabos a concentraciones tan bajas como 0.1 mg l <sup>-1</sup> en soluciones nutritivas. Debido a su acumulación potencial en plantas se recomienda límites conservadores pues puede ser tóxico para humanos.
Co	0.05	Tóxico para tomate en soluciones nutritivas en concentraciones de 0.1 mg l <sup>-1</sup> . Tiende a inactivarse en suelos neutros y alcalinos.
Cr	0.10	Puede causar toxicidad en algunas plantas. Debido a desconocimiento de sus efectos se recomiendan límites conservadores.
Cu	0.20	Tóxico para muchas especies de plantas en soluciones nutritivas ente 0.1 y 1.0 mg l <sup>-1</sup> .
F	1.00	Se inactiva en suelos neutros y alcalinos.
Fe	5.00	No es tóxico para plantas en suelos bien aireados, pero puede contribuir a la acidificación del suelo, causando disminución del P y Mo aprovechables. En el agua de riego puede causar depósitos en las hojas y equipos.
Li	2.50	Tolerable por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg l <sup>-1</sup> excepto de los cítricos para los cuales es tóxico a bajas concentraciones (0.075 mg l <sup>-1</sup> ); actúa en forma similar al B.
Mn	0.20	Tóxico para muchos cultivos a muy concentraciones. Su toxicidad es común en suelos ácidos.
Mo	0.01	No tóxico para plantas en las concentraciones en los suelos y aguas. Puede ser tóxico para animales que se alimentan con forrajes cultivados en suelos altos en este elemento.
Ni	0.20	Para muchas plantas es tóxico a concentraciones entre 0.5 y 1.0 mg l <sup>-1</sup> . La toxicidad se reduce en suelos alcalinos y neutros.
Pb	5.00	Puede inhibir el crecimiento celular a altas concentraciones.
Se	0.02	Concentraciones tan bajas como 0.025 mg l <sup>-1</sup> pueden causar toxicidad en las plantas. En animales se puede presentar seleniosis cuando se alimenta con forrajes altos en este elemento.
V	0.10	Tóxico para muchas plantas a concentraciones relativamente bajas. Es tóxico para muchas plantas a concentraciones variables. A pH 6 y en suelos orgánicos se reduce su toxicidad.
Sn, Ti, W	-	Son excluidos efectivamente por las plantas.

Aunque un agua baja en sales es adecuada para la agricultura, debido a que no causa problemas a los suelos o a los cultivos, puede causar daños (corrosión) a los equipos de riego siendo este el principal peligro que ofrece.

### Bicarbonatos

Las aguas corrientes y, especialmente, las subterráneas de algunas regiones presentan concentraciones elevadas de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Es el caso de los valles de los Ríos Cauca, Magdalena, Sinú, Ariguaní y Cesar, también sucede en la Sabana de Bogotá y en la Guajira en Colombia. El riego con ellas implica acumulación de carbonatos sobre las capas superficiales del suelo con la consecuente alcalinización y disminución de su fertilidad, hasta el punto de hacerlos improductivos.

En el valle del Río Cauca (Colombia) se han encontrado aguas con concentraciones de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> tan altas como 1365 mg l<sup>-1</sup> cerca a Palmira, lo cual para un riego promedio en caña de azúcar de 8000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> de cultivo implica la aplicación casi 11 t ha<sup>-1</sup> de bicarbonatos en poco más de un año. Un agua con alrededor de 200 mg l<sup>-1</sup> implica la adición de casi 2 t ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> de bicarbonatos para el mismo cultivo. En la **Tabla 10** se presentan las cantidades adicionados por hectárea para el cultivo de la caña de azúcar en función de la cantidad de agua aplicada por ciclo de cultivo.

En áreas con agricultura intensiva bajo riego, como en el caso del valle del Río Cauca, las aguas profundas progresiva y periódicamente aumentan en alcalinidad y dureza. Los bicarbonatos y sus cationes acompañantes son responsables en alto grado por dichos fenómenos.

**Tabla 12. Agentes físicos, químicos y biológicos relacionados con la calidad del agua para riego que contribuye a la oclusión de sistemas de riego por goteo (Adaptado por FAO, 1985; Bucks et al., 1979).**

Físicos sólidos en suspensión	Químicos (Precipitación)	Biológicos (Bacterias y algas)
Arenas	Carbonos de Ca ó Mg	<b>Filamentos</b>
Limo	CaSO <sub>4</sub>	Descomposición microbial
Arcilla	Óxidos, hidróxidos	a - Fe
Materia orgánica	Carbonatos, silicatos sulfuros de metales pesados	b - S c - Mn
		<b>Bacteria</b>
		Pequeños organismos acuáticos
		a - Huevos de caracoles b - Larvas

**Tabla 13. Influencia de la calidad del agua como peligro potencial de oclusión a sistemas de riego por goteo (Adaptado por FAO, 1985 de Nakayama, 1982).**

Problema potencial	Unidades	----- Grado de restricción en el uso -----		
		Ninguno	Ligero ó Severo	Moderado
<b>Físico</b>				
Sólido en suspensión	mg l <sup>-1</sup>	< 5.0	50 - 100	> 100
<b>Químico</b>				
pH	mg l <sup>-1</sup>	< 7.0	7.0 - 8.0	> 8.0
Sólidos disueltos	mg l <sup>-1</sup>	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganeso	mg l <sup>-1</sup>	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Hierro	mg l <sup>-1</sup>	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Sulfuro de Hierro	mg l <sup>-1</sup>	< 0.5	0.5 - 20.0	> 2.0
<b>Biológico</b>				
Poblaciones bacteriales	# Máx ml <sup>-1</sup>	< 10 000	10 000 - 50 000	> 50 000

Esto hace imprescindible recurrir al conocimiento periódico de la calidad de agua para riego, a una interpretación cuidadosa del análisis, al uso de fracciones de lavado acordes con la calidad de la misma y de enmiendas cuando las aguas son muy duras.

En el caso de aguas con alta concentración de iones alcalinos se requiere su tratamiento ya sea mediante plantas de tratamiento, ultrafiltración osmosis reversa o mediante el uso de materiales acidificantes como ácidos sulfúrico, fosfórico o la vinaza resultante de la producción de alcohol, la cual presenta ventajas por ser un producto de origen orgánico carente de sustancias químicas adicionadas.

### Contenido de nitratos

Un exceso de nitratos en el agua de riego puede causar daños a los cultivos debido a que induce crecimiento vegetativo en exceso, demorando la madurez y demeritando la calidad. Algunos cultivos son sensibles a concentraciones de N superiores a 5 mg l<sup>-1</sup> y algunos otros toleran concentraciones superiores a 30 mg l<sup>-1</sup>. La sensibilidad varía con la edad del cultivo ya que, altos

niveles de N pueden ser benéficos durante las primeras etapas de crecimiento pero pueden demorar la floración y reducir los rendimientos. Algunos cultivos pueden acumular nitratos en concentraciones excesivas, lo cual puede causar peligro a la salud de animales y humanos, especialmente a los niños.

Un análisis de un agua alta en nitratos indica que debe reprogramarse la fertilización nitrogenada, reduciendo las cantidades a aplicar y procurando balancear los otros nutrientes. También debe pensarse en el uso de variedades o especies menos susceptibles al efecto mencionado o en reducir las cantidades de agua a aplicar. Adicionalmente da indicación de los posibles problemas a los equipos de riego por oclusión de tuberías y aspersores en el mantenimiento de los canales por exceso de crecimiento de vegetación en ellos. (Ayers y Westcot, 1985).

### Toxicidad de elementos traza

No todos los elementos traza son tóxicos y de hecho algunos de ellos son esenciales para el crecimiento de la plantas (Fe, Cu, Mo, Zn). Cuando están presentes en



cantidades que exceden ciertos límites, se presentan acumulaciones en los tejidos y reducciones en el crecimiento. Muchos de ellos se fijan y acumulan en los suelos y los llegan a contaminar cuando se usan repetidamente aguas con concentraciones altas o que exceden las concentraciones de los cultivos, llegando en algunos casos a hacerlos improductivos.

Investigaciones citadas por Ayers y Westcot (1985) indican que la gran mayoría de los elementos traza (85%), se acumulan en los primeros centímetros superficiales del suelo. Las plantas varían en su capacidad para absorberlos siendo algunos de ellos excluidos activamente pero otros son absorbidos pasivamente. Algunas plantas los acumulan, siendo un peligro potencial para animales y humanos (seleniosis en vacunos por ejemplo), otras plantas sufren directamente sus toxicidades. En la **Tabla 11** aparecen las toxicidades máximas permisibles de elementos traza en el agua de riego y sus posibles efectos.

### Daños a equipos y estructuras

La calidad del agua está directamente relacionada con los problemas de oclusión de equipos de riego por aspersión y goteo, ya sea total o parcialmente. Este efecto trae como consecuencia desuniformidad en la aplicación y mayores costos operacionales.

En la **Tabla 12** aparecen las causas de problemas físicos químicos y biológicos a los equipos de riego por goteo. A menudo esos factores actúan interrelacionados, haciendo que el problema adquiera características más graves. En la **Tabla 13** se presenta el grado de restricción en el uso de un agua de acuerdo al problema potencial que pueda causar. El reconocimiento de los problemas posibles es una herramienta valiosa para la planeación e instalación de un equipo apropiado. En la **Tabla 14** aparecen los tipos de análisis necesarios para diseñar y operar un equipo de riego por goteo.

El concreto puede ser afectado de varias formas por las aguas de riego. El efecto es el de corrosión causado por intercambio iónico y por expansión debido a reacciones químicas que dan como resultado la formación de compuestos que ocupan un volumen mayor que los componentes originales, un ejemplo característico es el de los sulfatos los cuales al combinarse con el Ca y el Al forman un sulfo-aluminato de calcio que hace que el concreto se expanda y rompa.

Algunos sulfatos son potencialmente más agresivos que otros; es el caso de los sulfatos de magnesio y amonio, los cuales actúan descomponiendo los silicatos hidratados de Ca y reaccionan con el Al y el hidróxido de calcio en el concreto (Ayers y Westcot, 1985). En la **Tabla 15** se presentan los valores límites para evaluar agresividad de aguas y suelos al concreto.

**Tabla 14. Análisis necesario para evaluar la calidad de agua para riego por goteo (FAO, 1985).**

1. Principales sales orgánicas	7. Materia orgánica
2. Dureza	8. Hierro
3. Sólidos en suspensión	9. Oxígeno disuelto
4. Total de sólidos disueltos (TDS)	10. Sulfato de hierro
5. Demanda biológica de oxígeno (BOD)	11. Bacterias "férricas"
6. Demanda química de oxígeno (COD)	12. Bacterias reductoras de sulfatos

**Tabla 15. Valores límites para evaluar la agresividad de aguas y suelos al concreto (Tomado de Biczok, 1972).**

Análisis	----- Intensidad del ataque -----			
	Ninguno	Ligero	Fuerte	Muy fuerte
<b>Agua</b>				
pH	> 6.5	6.5 - 5.5	5.5 - 4.5	< 4.5
Ácido carbónico disolvente				
De carboantos, mg l <sup>-1</sup>	< 15	15 - 30	30 - 60	> 60
Amonio (NH <sub>4</sub> ), mg l <sup>-1</sup>	< 15	15 - 30	30 - 60	> 60
Magnesio (Mg), mg l <sup>-1</sup>	< 100	100 - 300	300 - 1500	> 1500
Sulfato (SO <sub>4</sub> ), mg l <sup>-1</sup>	< 200	200 - 600	600 - 3000	> 3000
<b>Suelo</b>				
Sulfato (SO <sub>4</sub> ), mg l <sup>-1</sup>	< 2000	2000 - 5000	< 5000	



## Bibliografía

- Abrol, I.P. 1982. Technology of chemical, Physical, and biological amelioration of deteriorated soils. Presented at Panel of Experts on Amelioration and Development of Deteriorated Soils in Egypt, 2-6 may, 1982. Cairo.
- Ayers, R.S., and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage paper 29, FAO, Roma, 156 p.
- Biczok, I. 1972. Concrete corrosion-Concrete Protection. Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 500 p.
- Bingham, F. 1984. Notes on saline soils. Division of Agriculture Sciences, University of California, Riverside, 238 p.
- Ehlig, C.F. 1960. Effects of salinity four varieties of table grapes grown in sand culture. Proceedings, American Society of Horticulture Science, Vol. 76, Joseph, Mich. pp. 323-331.
- García, A., y P.F. Pratt. 1988. Exchangeable sodium in solonetz and related soils. In: Proceedings of the International Symposium in solonetz soils. Problems, properties, utilization. Osijek, Yugoslavia, June 15 to 20. pp. 230-235.
- García, A., y A. González. 2000. Química de los carbonatos y génesis de suelos magnésicos. X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Medellín octubre 11-13/2000. Resúmenes 36 p.
- García, O.A. 2002. Magnesium affected soils in Colombia. Transactions 17th Congress of Soil Science, 14-21 August 2002. Bangkok, Thailand, Paper 2193, 6 p.
- Geraldson, C.M. 1954. The control of black heart of celery. Proceedings, American Society of Horticulture Science, Vol. 63, Joseph, Mich. pp. 353-358.
- Maas, E.V., and C.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment. Journal of irrigation and Drainage Division. ASCE, Vol. 103, No. 1R 2. Proc. Paper 12993 June, 1977, pp. 115-134.
- Maas, E. 1984. Salt tolerance of plants. In: The Handbook of Plant Science in Agriculture. B.R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Nakayama, F.S. 1982. Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. Proc. Irrigation Association Conference, 21-24 February 1982. Portland, Oregon.
- Pearson, G.A. 1960. Tolerance of crops to exchangeable sodium. USDA Information Bulletin No. 216. 4 p.
- Suárez, D.L. 1981. Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage Waters. Soil Sci. Soc. Amer. J. 45:469-475.✻

## Reporte de Investigación Reciente

### Potencial hidrógeno en la rizósfera y formas de fósforo asociadas en un Oxisol cultivado con soya, brachiaria, mijo y sorgo

**Shoninger, E.L., L.C. Gatiboni, y P.R. Ernani. 2012. Rhizosphere pH and phosphorus forms in an Oxisol cultivated with soybean, brachiaria grass, millet and sorghum. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) [online]., 69(4):259-264. ISSN 0103-9016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162012000400004>.**

Las plantas tienen distintas respuestas a la fertilización con roca fosfórica, incluyendo respuestas a través de la alteración de atributos del suelo en la rizósfera. El objetivo de este estudio fue evaluar las alteraciones en el pH y los cambios en el contenido y formas del fósforo en la rizósfera de suelo fertilizado con roca fosfórica como resultado de la especie cultivada. Se desarrolló un experimento en invernadero para evaluar el pH y las formas de fósforo de un Oxisol fertilizado con roca fosfórica y sembrado con cuatro especies. Los tratamientos consistieron de siembras con soya [*Glycine max* (L.) Merrill], brachiaria (*Brachiaria brizantha* Hochst Stapf), mijo [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown] y sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] realizadas en columnas de PVC llenas de suelo y divididas con una malla de nylon (malla de 25  $\mu$ m) para impedir el crecimiento del suelo

en parte de la columna. Luego de 45 días de crecimiento, el suelo fue dividido en capas de 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-7, 7-9, y 9-14 mm fuera del plano de la raíz. Se secó al aire para determinar pH y contenido de P de acuerdo al fraccionamiento de Hedley. En las capas de 1-2 y 2-3 mm, el cultivo de soya produjo un incremento del pH en comparación con el control (sin plantas). En las otras capas, no existieron alteraciones en el pH debido a la presencia de cultivos. El cultivo del mijo, brachiaria y sorgo redujo el contenido de P inorgánico en la mayoría de las formas más lábiles, solamente en la capa de 0-1 mm desde el rizoplano.✻

