

XI. CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRICOLA

La calidad del agua y su disponibilidad es un tema importante desde el punto de vista económico, ecológico y político, ya que de la calidad depende el uso que le dé la humanidad.

La frecuencia e intensidad de la sequía en las zonas semiáridas del territorio nacional ha impulsado el uso del agua subterránea así como la implementación de modernas técnicas de riego.

Sin embargo, se ha caído en la sobre explotación del acuífero con riesgos de intrusión salina que pone en peligro el desarrollo agrícola sustentable y la rentabilidad de los sistemas de riego presurizado al acortar su vida útil por el problema de taponamiento.

En el noroeste de México el estudio de la calidad del agua para riego esta enfocada al agua de pozo de bombeo profundo, y se justifica porque la extracción de agua subterránea complementa el suministro de agua de las presas cuando por sequía no se logra satisfacer la demanda hídrica de los cultivos regionales,

pero Flores y Uvalle en 2000 han mostrado que existe un problema trascendental de salinidad originado por diversos factores.

La calidad del agua para riego juega un papel importante sobre el manejo de láminas, frecuencias de riego y tratamiento a dársele para optimizar su uso en sistemas de riego presurizado.

Enseguida se describen criterios, índices y parámetros involucrados en el estudio de la calidad del agua para riego.

11.1. Calidad del agua para riego agrícola.

Palacios y Aceves en 1970, señalan que es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua, con fines de riego de cultivos agrícolas, para cuya determinación generalmente se toman como base las características químicas, pero actualmente al emplear riego por goteo/microaspersión o aspersión es relevante considerar características físicas y biológicas; así como la tolerancia de los cultivos a las sales, las propiedades del suelo, las condiciones de manejo de suelo y agua y las condiciones climatológicas.

11.1.1. Criterio de salinidad.

Este criterio se evalúa mediante los índices de conductividad eléctrica, salinidad efectiva y salinidad potencial.

Conductividad eléctrica. Se mide con un conductímetro y registra la presencia de sólidos disueltos. El agua pura no conduce la corriente eléctrica. Mientras mayor es el contenido de sólidos disueltos más alto es su valor, y se expresa en ds/m ó mmhos/cm a 25°C.

De la conductividad eléctrica se puede derivar el conocimiento de la cantidad de sólidos totales disueltos en ppm, el contenido de sales en meq/l y la presión osmótica en atmósferas.

$$\text{STD (ppm)} = 0.64 \times \text{C.E.} \times 10^6$$

$$100 < \text{C.E.} \times 10^6 < 5000$$

$$\text{SALES (meq/l)} = 10 \times \text{C.E.} \times 10^3$$

$$0.1 < \text{C.E.} \times 10^3 < 5.0$$

$$\text{P.O. (atm)} = 0.36 \times \text{C.E.} \times 10^3$$

$$3 < \text{C.E.} \times 10^3 < 36$$

En zonas de riego como el DDR No. 38 Rio Mayo, Sonora se ha decretado no emplear aguas para riego agrícola si el agua de pozo contiene mas de 600 ppm STD.

En soluciones nutritivas para fertirrigación da una idea de la concentración de sales solubles en meq/l.

La presión osmótica mide la tensión que tiene que vencer la raíz de la planta para tomar agua y nutrimentos de la solución del suelo.

Salinidad Efectiva. Es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, pues considera la precipitación de los carbonatos de calcio y de magnesio y de los sulfatos de calcio, y que por lo tanto dejan de tener efecto en la presión osmótica de la solución del suelo. Este proceso es más relevante cuando las aguas tienen un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos.

Para calcular la salinidad efectiva hay varias opciones:

Si, $Ca > CO_3 + HCO_3 + SO_4$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$$

Si, $Ca < CO_3 + HCO_3 + SO_4$; pero $Ca > CO_3 + HCO_3$; entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - Ca$$

Si, $Ca < HCO_3 + HCO_3$; pero $Ca + Mg > CO_3 + HCO_3$; entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (CO_3 + HCO_3)$$

Si, $Ca = Mg < CO_3 + HCO_3$; entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (Ca + Mg)$$

Todos los iones se expresan en meq/l

* Si la suma de cationes es menor que la de aniones, deberá emplearse la suma de aniones en lugar de la de cationes:

Salinidad Potencial. Si la humedad aprovechable del suelo disminuye por debajo del 50%, los cloruros y parte de los sulfatos son las últimas sales que quedan en solución. La salinidad potencial es un índice para estimar el peligro este tipo de sales a bajos niveles de humedad y que por lo tanto aumentan considerablemente la presión osmótica.

Este índice se calcula fácilmente con la fórmula:

$$SP = Cl + 1/2 SO_4$$

Todos los iones se expresan en meq/l.

11.1.2. Criterio de Sodidad.

Este criterio mide el efecto probable de sodio sobre las propiedades físicas del suelo.

Cuando el sodio se encuentra presente en alta concentración en el agua de riego y el calcio y magnesio se precipitan en la solución del suelo por la acción de carbonatos y bicarbonatos, entonces el sodio se acumula y substituye el calcio y magnesio en el intercambio de cationes dando lugar a un desequilibrio eléctrico de las partículas coloidales del suelo debido al predominio de cargas negativas, las partículas se repelen, el suelo se deflocula (suelta) y pierde estructura, con lo que existe menos entrada de oxígeno al suelo, disminuye la permeabilidad, se fomenta la compactación y encostramiento, con lo que en última instancia se afecta el desarrollo normal de los cultivos (Hanson, 1993).

Para el cálculo de sus índices como la relación de adsorción del suelo (RAS), el carbonato de sodio residual (CSR) y el porcentaje de sodio posible (PSP), también se emplean las determinaciones de aniones y cationes en miliequivalentes por litro (meq/l).

Relación de Adsorción de Sodio. Es uno de los índices más evaluados para medir el peligro de sodificación que presenta el agua de riego. Su cálculo es sencillo y se correlaciona con el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) del suelo que está en equilibrio con el agua de riego. Así mientras mayor es el valor de RAS, es de esperarse mayor valor del PSI del suelo y mayor peligro de sodificación del suelo.

El RAS se calcula:

$$\text{RAS} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg})/2]^{1/2}$$

$$\text{RASaj} = \text{Na} / [(\text{Ca}_x + \text{Mg})/2]^{1/2}$$

Ayers y Westcot en 1985 manifiestan que es más conveniente ajustar el RAS considerando la precipitación de Ca por los iones HCO_3 , con lo que se substituye el la misma fórmula Ca por Ca_x , el cual se obtiene de una tabla que relaciona la razón HCO_3/Ca y la salinidad del agua de riego en (ds/m).

Los valores de Ca_x para calcular el RASaj según Suárez en 1981, se presentan a continuación:

Valores de Ca_x , para calcular el RASaj de la ecuación anterior.

Relación HCO_3/Ca	Salinidad del agua de riego; dS/m								
	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
0.05	13.2	13.9	14.4	14.8	15.3	15.9	16.4	17.3	18.0
0.10	8.3	8.8	9.1	9.3	9.6	10.0	10.4	10.9	11.3
0.20	5.2	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.9	7.1
0.30	4.0	4.2	4.4	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4
0.40	3.3	3.5	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3	4.5
0.50	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.7	3.9
1.00	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.4	2.5
2.00	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5
3.00	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2
4.00	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0
5.00	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
10.00	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
20.00	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
30.00	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3

Un agua con un alto RAS representa más riesgo al suelo si la concentración de sales solubles es menor, esto se debe a que entre más baja conductividad eléctrica, mayor será el impacto del sodio en la reducción de la conductividad hidráulica o velocidad de infiltración del suelo. Pero el agua salina representa riesgo de salinización y daño para la productividad agrícola. Mientras que la salinidad se corrige por lavado, la sodicidad requiere el uso de mejoradores.

Carbonato de Sodio Residual. Se expresa en meq/l e indica el peligro de sodificación una vez precipitados los carbonatos y bicarbonatos de calcio y de magnesio.

Se calcula:
$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

El riesgo de CSR se reduce a través de la eliminación de carbonatos y bicarbonatos con tratamiento ácido ya sea sulfúrico, nítrico o fosfórico. En sistemas de fertirrigación es indispensable su eliminación pues provocan taponamiento de los emisores.

Porcentaje de Sodio Posible. El peligro de desplazamiento del calcio y magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando el contenido de sodio en solución es más de la mitad de los cationes disueltos. El porcentaje de sodio posible (PSP) es más representativo cuando se refiere a la salinidad efectiva:

$$\text{PSP} = \frac{\text{Na}}{\text{SE}} \times 100$$

Donde: Na y SE se expresan en meq/l.

11.1.3. Criterio de Toxicidad.

La toxicidad por iones específicos involucra el sodio, cloruro y boro.

Sodio. En la mayoría de los cultivos, la mayor parte del sodio absorbido por la planta permanece en las raíces y tallos, fuera de las hojas, pero el sodio puede dañar frutales y vid si se acumula en las hojas a niveles tóxicos. Los cultivos difieren en tolerancia a sodio. Aguacate, cítricos, durazno y nogal son muy

susceptibles, lo mismo que frijol, maíz y las leguminosas comestibles. Por otro lado, trigo, algodón, alfalfa, cebada, remolacha y pastos toleran más al sodio.

Los efectos directos de toxicidad pueden demorar semanas, meses e incluso años, y aparecen repentinamente una vez que se hayan alcanzado los niveles tóxicos lo cual es favorecido por altas temperaturas y ambiente seco.

Los síntomas aparecen en hojas viejas, empezando en las puntas y los márgenes con avance hacia el centro. 5 meq Na/l en la solución del suelo pueden dañar al aguacate, cítricos, frutales de hueso. En general mas de 10 meq Na/l afecta a muchos cultivos. El daño también puede resultar si el sodio es absorbido por las hojas durante el riego por aspersión .5 a 10 meq Na/l pueden ocasionar daños en vid, chile, papa y tomate; 10 a 20 meq Na/l afecta alfalfa, cebada, maíz, pepino y girasol; > 20 meq Na/l a coliflor, algodón y remolacha.

Cloruros. Es un elemento esencial, pero un alto contenido en hojas de frutales es tóxico, lo mismo que en hortalizas, fresa y frambuesa. Hay marcadas diferencias entre patrones. Durazno Mariana tolera 17 meq Na/l en el agua, Yunnan solo tolera 5 meq Na/l. En cítricos Sunki Mandarin tolera 15 meq/l y Citromelo 4475 solo 6.7 meq Na/l. Lo mismo sucede en fresa entre Lassen y Shasta.

En riego por aspersión el efecto nocivo es similar al de sodio mencionado anteriormente.

Los síntomas de toxicidad son parecidos a los de exceso de sodio.

Boro. Es un nutrimento esencial, pero puede ser tóxico en concentraciones ligeramente mayores a las necesarias para el crecimiento óptimo. La tolerancia a boro varia con el clima, suelo, variedad y patrón.

Los síntomas aparecen primero en las hojas viejas con amarillamiento y necrosis del tejido vegetal en la punta y márgenes. La necrosis avanza hacia el centro de la hoja. Hay especies de frutales que pueden estar severamente afectadas por boro y no presentan síntomas en las hojas, pero muestran muerte de ramas ("die back") y desarrollar gomosis en el tronco.

11.2. La calidad del agua y los problemas de taponamiento

La obstrucción o taponamiento del sistema de riego presurizado principalmente al nivel de goteros o microaspersores es un problema frecuente que afecta la uniformidad del riego y el éxito de la fertirrigación, pero pueden evitarse con el tratamiento acorde al tipo de problema.

11.2.1 Basura y Arena

La sedimentación y el uso de una serie de rejillas de diferente malla eliminan en primera instancia la basura. Los hidrociclones y filtros de malla separan especialmente arena. Los filtros de arena son el artefacto más útil de filtración, todo esto, con el fin de prevenir los problemas de taponamiento.

11.2.2 Bacterias

Estos microorganismos crecen en el interior de las paredes de las mangueras y de los emisores, se adhieren a las arcillas en el agua, no removidas por filtración, y agudizan el problema de obstrucción.

Los tratamientos comunes para eliminar bacterias lamosas involucran aplicación de cloro, ozono o control de pH.

Cloro. Se puede usar líquido o gas en forma continua en dosis bajas (0.5-1.2 ppm) y ocasionalmente en dosis altas (5-20 ppm). En los extremos de las mangueras se determina la concentración crítica de cloro, debe persistir 0.5 ppm de cloro libre. El cloro libre es ácido hipocloroso e hipoclorito y el porcentaje relativo de cada uno depende del pH del agua. El ácido hipocloroso es mucho más poderoso como biocida que el hipoclorito. Las aguas alcalinas deben acidificarse a pH 6.5 para que domine el ácido hipocloroso. El cloro libre residual es aun activo con las bacterias y se mide fácilmente con un equipo de pruebas para alberca.

La superclorinación de 200 a 500 ppm se usa algunas veces si el sistema ya está obstruido (nota.- puede dañar cultivos). Las mangueras primero deben lavarse, luego inyectar cloro y dejarlo reposar durante la noche (con el sistema apagado) y luego lavar todo el sistema. Puede ser necesario repetir el proceso varias veces.

La dosis de hipoclorito de sodio líquido para inyección (5.25-15% cloro disponible) se calcula:

$$\text{Disq} = \frac{K(\text{CCL})Q}{\text{COCL}}$$

La dosis de gas de cloro (100% cloro disponible, se calcula:

$$\text{Digc} = K (\text{CCL}) Q$$

Donde:

Disq= Dosis de inyección de la solución química, LPH (GPH).

Digc= Dosis de inyección de gas cloro, Kg/día (lb/día).

K= Factor de conversión de unidades 0.36 para el sistema internacional y 0,006 para el sistema inglés, para hipoclorito y 0.06 en el sistema internacional y 0.0085 en el sistema inglés para gas de cloro.

CCL= Concentración de cloro libre deseada, hipoclorito o hipocloroso, ppm.

Q = Caudal del sistema de riego, LPS (GPM).

COCL = Concentración de hipoclorito en la solución que se inyecta, %.

Es importante recordar:

- La acidificación del agua y la clorinación deben de hacerse en dos puntos de inyección diferente.
- La mezcla de ácido y cloro líquido en el mismo tanque genera gas de cloro tóxico.
- Nunca deben almacenarse juntos ácido y cloro.
- La inyección de cloro puede reducir la efectividad de herbicidas y plaguicidas.
- Siempre adicionar cloro al agua y no a la inversa.

Ozono. La inyección de ozono es reciente, es un oxidante muy fuerte y muy corrosivo, tiene corta vida (30 minutos) por eso solo es efectivo a la entrada del sistema pero puede ser relativamente inefectivo en los extremos de las mangueras.

Control de pH. La acidificación acrecienta la efectividad del cloro o bien puede ser efectivo por sí solo para eliminar bacterias lamosas. Se usa ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico.

En el agua de riego se debe efectuar una titulación con el ácido a emplear para regular el pH entre 6.0 y 6.5.

11.2.3. Fierro y Manganeso.

Ambos elementos son nutrimentos esenciales para los cultivos pero también son fuente de energía para decenas de bacterias en concentraciones tan bajas como 0.1-0.3 ppm. Las bacterias se multiplican y pueden tapar un sistema de riego en un par de semanas. Los revestimientos de pozos profundos son los más afectados y las incrustaciones pueden reducir severamente el caudal. El óxido ferroso se oxida a óxido férrico y al precipitar puede obstruir emisores.

El tratamiento se inicia en el pozo y luego se continúa antes de que el agua entre al filtro. Hay cuatro opciones para esta operación:

- Descargar agua en embalse para aireación.
- Inyectar un oxidante fuerte como el cloro, 1.4 a 3.0 veces la concentración de fierro en ppm.
- Inyectar un polímero para quelatar fierro y manganeso.
- Utilizar una arena especial, llamada arena "verde" en un filtro de arena profundo.

11.2.4. Carbonatos de calcio y de magnesio.

La precipitación de carbonatos tiene lugar en los emisores y provoca su taponamiento. Su presencia se identifica fácilmente con ácido muriático sobre un emisor obstruido. Si se observa efervescencia sobre el material, se trata de carbonatos.

Lo más común es remover los carbonatos del agua en forma de CO_2 mediante adición de ácido sulfúrico.

Se puede calcular la cantidad de ácido a partir de los análisis o de una curva de titulación del agua de riego.

A partir de los análisis de agua se multiplica el contenido de bicarbonatos en ppm o meq/l por factores de conversión a galones/acre-pie, l/ha-m, de ácido sulfúrico al 95%, según las unidades de flujo de agua por el sistema.

Ejemplo:

$$185 \text{ ppm HCO}_3 \times 0.12 = 22.2 \text{ gal/acre-pie}$$

$$185 \text{ ppm HCO}_3 \times 0.46 = 85.1 \text{ l/ha-m}$$

$$185 \text{ ppm HCO}_3 / 61 = 3.0 \text{ meq/l}$$

$$3.0 \text{ meq/l HCO}_3 \times 5 = 15.0 \text{ gal/acre-pie}$$

$$3.0 \text{ meq/l HCO}_3 \times 15.2 = 38 \text{ l/ha-m}$$

Nota: Las concentraciones de carbonato de calcio combinadas con bacterias lamosas son muy difíciles de eliminar.

11.2.5. Intrusión de raíces.

La penetración de raíces por los emisores se da en condiciones de falta de humedad o en sistemas de riego subsuperficial. Se minimiza evitando estrés de humedad durante la estación de crecimiento y luego matando raíces inyectando ácido al final de la estación. Para frutales y viñedos hay herbicidas registrados con este propósito.

Hay cintas y emisores impregnados con treflán u otro agroquímico, pero su efecto decrece con el tiempo.