

MANEJO DE LA PROBLEMATICA DE LA SALINIDAD EN CULTIVOS FERTIRRIGADOS ¹

Por: Alvaro García O.²

1. INTRODUCCION

La aplicación conjunta del agua y los nutrientes necesarios para el óptimo desarrollo de las plantas se conoce como fertirrigación. Entre las ventajas de esta técnica se destacan la alta eficiencia en el uso del agua, optimización en el uso de fertilizantes con una mayor facilidad para la dosificación de los nutrimentos de acuerdo con los requerimientos de la planta en las diversas etapas de su ciclo de vida y, finalmente, reducción en los costos de producción al disminuir la mano de obra y las cantidades de agua y agroquímicos necesarios, lo que generalmente está acompañado de una mejor calidad de las cosechas.

A la fertirrigación se le anotan como principales desventajas la disminución del volumen radical y la formación de sistemas de raíces más superficiales, los problemas causados por la dificultad en el control de la distribución de humedad en el caso de texturas extremas, el alto costo y calidad de los fertilizantes requeridos, los problemas causados a los equipos por precipitación y acumulación de sales poco solubles y la salinización progresiva de los suelos si no se hace un manejo cuidadoso, todo lo cual significa que además del alto costo de la inversión inicial requiere de un manejo más especializado y costoso. Para evitar el efecto de las sales es necesario que el manejo de la fertirrigación se haga teniendo en cuenta todos aquellos factores de suelo, clima y planta que en últimas determinan la oportunidad y cantidad de nutrimentos a aplicar.

2. DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUELO DESDE UN SOLO PUNTO

Cuando la rata de descarga del emisor es mucho mayor que la rata de infiltración se presenta dominancia del movimiento lateral del agua y la penetración es superficial. En suelos arenosos el uso de emisores de alta rata de descarga también da como resultado menor penetración del agua y mayor desplazamiento lateral. Esto significa que las características hidráulicas de los suelos determinan la forma y profundidad del volumen de suelo húmedo (Bresler, 1977).

En medios fuertemente alterados, como en los cultivos de flores, no se deben esperar bulbos típicos si no formas atípicas del volumen de suelo húmedo dadas por el contenido y tipo de materia orgánica adicionada, los contenidos de arcilla y arena, el espesor de la capa alterada, la clase y cantidad de arcillas del suelo subyacente no alterado, la frecuencia de riego, la rata de descarga del emisor y la velocidad de infiltración del medio.

El tamaño y forma del volumen de suelo húmedo son determinados por la capacidad de retención de agua del suelo y por la cantidad de agua suministrada. Si es posible reemplazar automáticamente la cantidad de agua que transpira la planta el volumen y la forma del suelo húmedo se pueden mantener constantes se tiene, entonces, una eficiencia de riego del 100% en el caso de que se pueda prevenir la evaporación desde la superficie del suelo. En el volumen

¹ Contribución de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

² Ingeniero Agrónomo Ph.D. Coordinador Escuela de Posgrados A.A. 237 Palmira. E-mail: posgpalm@bacata.usc.unal.edu.co

húmedo idealmente se deben encontrar toda el agua y los nutrimentos aplicados y si también contiene el 70% del sistema radical se le define como volumen crítico (Ben-Asher et al, 1974). Así, por ejemplo (Sagiv y colaboradores (1975) encontraron que para el tomate sembrado en una duna arenosa la forma del volumen crítico es cilíndrica con un radio y profundidad de 10 cm.

Si se considera que la eficiencia del riego de la evapotranspiración (E_t) y del volumen de agua aplicado al volumen crítico (ΔV) como se expresa en la siguiente relación:

$$E_{\text{irrig}} = E_t / \Delta V \quad (1)$$

para obtener la máxima eficiencia de riego el volumen de agua aplicada al volumen crítico debe ser igual al volumen de agua transpirado ($\Delta V = E_t$).

En la práctica esto equivale a aplicar agua pura (destilada) en cada ciclo de riego a la cual se añade exactamente la cantidad de nutrimentos que la planta va a extraer hasta el próximo riego.

3. EFECTO DEL CONTENIDO DE SALES Y DEL SUPLEMENTO DE NUTRIENTES

La fertigración implica la aplicación de agua que siempre contiene sales y nutrimentos. Es necesario conocer las características de los fertilizantes relacionadas con solubilidad a diferentes temperaturas, el pH de la solución y la conductividad eléctrica de la solución (CE).

4. CARACTERISTICAS DE LOS FERTILIZANTES USADOS EN FERTIGACION

Los productos usados para fertigración deben tener una solubilidad total en agua para evitar los sedimentos en los filtros, no debe cristalizar ni depositar sales a nivel de los emisores de riego, no corroer los componentes metálicos del sistema de riego, deben permanecer tanto como sea posible dentro del bulbo húmedo al alcance de las raíces y ser compatibles entre sí para disminuir

el número de aplicaciones. De ellos se debe conocer las propiedades ya mencionadas: solubilidad a diferentes temperaturas, CE en la solución y pH de la solución.

En el *Cuadro 1* aparece la evaluación de las propiedades físico-químicas mencionadas de algunas fertilizantes usados en fertigración.

La solubilidad de los fertilizantes es una de las variables más importantes a considerar en la elección de fuentes para fertigración. Es importante anotar que la solubilidad está relacionada con la temperatura; así por ejemplo, el K_2SO_4 tiene una solubilidad de 110 g/L de agua a 20°C y de 160 g/L a 30°C propiedad que es necesario tener en cuenta en la preparación de soluciones para evitar precipitaciones.

La mayor o menor solubilidad está directamente relacionada con la eficiencia en el uso del agua y, en muchos casos con pérdidas de eficiencia en el uso del fertilizante ya que el mismo no se solubiliza a tiempo y puede no estar disponible en los momentos de alta demanda por la planta. Más grave aún es la solubilización en momentos no controlados, la cual puede contribuir a hacer más crítica la concentración de sales.

El *Cuadro 2* presenta los índices de acidez y salinidad para los principales fertilizantes usados en fertigración.

Cuadro 1. Evaluación de propiedades de algunos fertilizantes utilizados en riego localizado ⁽¹⁾.

Propiedad evaluada	Urea N-32%	Solución amónico	Nitrato potásico	Nitrato fosfórico	Acido monoamónico	Fosfato blamónico	Fosfato
Solubilidad	+	+	+	X	+	X	X
Inducción de precipitados	X	X	+	+	+	-	-
Poder de corrosión	+	X	X	+	-	X	+
Miscibilidad con otros	+	+	+	X	X	+	+
Pérdidas por volatilización	-	-	-	+	+	X	
Daños a la planta	X	X	X	+	-	X	+

⁽¹⁾ Los signos empleados en la evaluación de propiedades, indican si la actitud del producto es buena (+) intermedia (x) o peligrosa (-)

Fuente: Del amor, F. (1994).

CUADRO 2. PROPIEDADES FISICAS DE LOS PRINCIPALES ABONOS USADOS EN FERTIGACION

ABONO	RIQUEZA % N-P ₂ O ₅ -K ₂ O- Varios	SOLUBILIDAD g/l 20°C	INDICE ACIDEZ ⁽¹⁾	INDICE DE SAL por UF.
Nitrato de cal	15,5-0-0-30(CaO)	1.200	-100	33.4
Nitrato amónico	33,5-0-0	1.600	185	3.0
Sulfato amonio	21-0-0-22 (S)	730	550	3.2
Urea	46-0-0	1.000	158	1.6
Solución N-32	32-0-0	---	---	---
Nitrato Potásico (Cristalizado)	13-0-46	310	115	5.3
Sulfato Potásico	0-0-50-18 (S)	110	Neutro	0.9
Cloruro Potásico	0-0-60	340	Neutro	1.9
Fosfato Monopotásico	0-52-33	230		
Fosfato Monoamónico	12-61-0	220	483	0.5
Fosfato Biamónico	18-46-0	400	357	0.6
Sulfato Ferroso	36 (Fe)	260	---	---
Sulfato Manganeseo	32 (Mn)	500	---	---
Sulfato de Magnesio (7H ₂ O)	16 (Mg)-13(S)	710	---	---
Borax	11 (B)	50	---	---
Sulfato de Zinc (7H ₂ O)	23 (Zn)	750	---	---
Cloruro Cálcico (6H ₂ O)	30 (Ca)	600	---	---
Acido Nítrico	15,5-0-0	---	---	---
Acido Fosfórico	0-64.5-0	5.500	---	---
Quelatos Hierro				
Fe-EDDHA	6 (Fe)	90	---	---
Fe-DTPA	10 (Fe)	220	---	---

⁽¹⁾ El índice de acidez es la cantidad de carbonato cálcico necesaria para neutralizar la acidez producida por 100 unidades de N del abono correspondiente.

Fuente: Castel, 1987.

Giménez (1987) evaluó algunas propiedades físicoquímicas de los fertilizantes más usados en fertirrigación las cuales aparecen en los cuadros 3, 4, 5 y 6.

Cuadro 3. ACIDO FOSFORICO 75 POR 100 (PO₄H₃)

Concent. (%)	pH	Cond.(CE) dS/m	Temp. inicial °C	Temp. final °C
50	0,66	149,4	24,0	34,3
40	0,72	119,2	24,0	32,4
30	0,85	102,5	24,0	30,7
20	1,03	74,6	24,0	28,5
15	1,19	58,2	24,0	27,5
10	1,35	41,9	23,7	25,7
5	1,52	23,5	24,0	25,0
2,5	1,68	15,69	23,6	24,4
1	1,88	8,15	23,7	23,9

CUADRO 4. ACIDO FOSFORICO 75 POR 100 (PO₄H₃)

Concent. (%)	pH	Cond.(CE) dS/m	Temp. inicial °C	Temp. final °C
5	2,03	5,06	23,9	24,0
2,5	2,15	3,51	23,9	23,0
2	2,44	2,74	23,3	23,4
1	2,62	1,672	23,3	23,3
0,5	2,81	0,959	23,3	23,3
0,25	3,06	0,510	23,3	23,3

Fuente: Giménez, M., 1987.

CUADRO 4. KG. DE ABONO SOLUBLE EN 100 LITROS DE AGUA

Temperatura	0°	10°	15,5°	21°	26,7°
Fosfato monoamónico	22,7	29,5	33,9	38,4	43,4
Nitrato potásico	13,0	21,0	27,1	33,5	40,3
Sulfato potásico	7,4	9,2	11,5	12,0	12,8

CUADRO 5. NITRATO POTASICO (13-0-46)

Concent. (%)	pH	Cond. (CE) dS/m	Temp. inicial °C	Temp. final °C	No solubl. (%)
40	10,02	143,5	24,5	12,1	73,1
30	10,02	134,8	24,4	11,6	49,1
20	10,03	127,2	24,7	11,9	13,0
15	10,01	108,6	24,6	13,9	3,4
10	10,00	80,6	24,7	17,3	1,4
5	9,95	47,2	24,6	20,8	---
2,5	9,91	27,2	24,7	22,7	---
1	9,63	13,3	24,6	22,9	---

NITRATO POTASICO (13-0-46)

Concent. (g/L)	pH	Cond. (CE) dS/m	Temp. Inicial °C	Temp. final °C
5	9,43	8,09	24,6	24,5
2,5	9,10	5,20	24,6	24,6
2	7,53	2,44	23,7	23,7
1	7,02	1,269	23,7	23,7
0,5	6,56	0,643	23,7	23,7
0,25	6,56	0,340	23,7	23,7

Fuente: Giménez, M., 1987.

CUADRO 6. POTASA SOLUBLE (SO₄K₂)

Concent. (%)	pH	Cond. (CE) dS/m	Temp. inicial °C	Temp. final °C	No solubl. (%)
40	9,14	93,2	24,2	20,5	97,53
30	9,13	89,4	24,3	20,6	84,11
20	9,11	84,6	23,6	20,1	63,21
15	9,08	81,4	23,6	20,2	23,76
10	9,01	73,6	23,9	20,7	4,77
5	8,85	41,9	24,1	22,5	Indicios
2,5	8,60	22,7	24,3	23,3	----
1	8,20	10,6	24,4	24,0	----

POTASA SOLUBLE (SO₄K₂)

Concent. (g/L)	pH	Cond. (CE) dS/m	Temp. inicial °C	Temp. final °C
5	7,88	6,08	24,3	24,0
2,5	7,70	3,60	24,4	24,2
2	7,47	2,58	24,0	24,0
1	7,14	1,415	24,0	24,0
0,5	6,63	0,765	24,0	24,0
0,25	6,55	0,320	24,0	24,0

Fuente: Giménez, M., 1987.

En estos cuadros se puede observar claramente el efecto salino de todas las soluciones empleadas. En consecuencia, es necesario manejar el fertirriego cuidadosamente para que en ningún caso exceda los niveles críticos de tolerancia del cultivo.

En el *Cuadro 7* se presentan los niveles de tolerancia a las sales de algunas especies frecuentemente manejadas bajo fertigación y en el *Cuadro 8* la tolerancia de algunas especies a los cloruros en el extracto de saturación y en el agua de riego.

Cuadro 7. Tolerancia a las sales de algunos cultivos

Cultivo	Nivel crítico (A) dS/m	(B)*	Clasificación
Alfalfa	2.0	7.3	MS
Algodón	7.7	5.2	T
Arroz	3.0	12.0	MS
Brócoli	2.8	9.2	MS
Batata	1.5	11.0	MS
Cebada (grano)	8.0	5.0	T
Caupí	1.3	14.0	MS
Cebolla	1.2	16.0	S
Ciruela	1.5	18.0	S
Caña de azúcar	1.7	5.9	MS
Durazno	1.7	21.0	S
Espinaca	2.0	7.6	MS
Fresa	1.0	33.0	S
Fríjol	1.0	19.0	S
Lechuga	1.3	13.0	MS
Maní	3.2	29.0	MS
Maíz	1.7	12.0	MS
Naranja	1.7	16.0	S
Pimienta	1.5	14.0	MS
Papa	1.7	12.0	MS
Pasto Bermuda	6.9	6.4	T
Pasto amor	2.0	8.4	MS
Pasto Sudán	2.8	4.3	MT
Rábano	1.2	13.0	MS
Repollo	1.8	9.7	MS
Remolacha	4.0	9.0	MT
Soya	5.0	20.0	MT
Trébol spp.	1.5	12.0	MS
Toronja	1.8	16.0	S
Tomate	2.5	9.9	MS
Trigo	6.0	7.1	MT
Uva	1.5	9.6	MS
Zanahoria	1.0	14.0	S
Rosa	3.0		MS
Gypsophila	2.0	---	S
Crisantero	5.5	---	T
Clavel	3.0	---	MS
Azalea	1.0	---	S

* (B) Porcentaje de disminución en el rendimiento por unidad de aumento en salinidad más allá del nivel crítico.

S = Susceptible
 MT = Medianamente tolerante
 (Maas y Hoffman, 1983)

MS = Medianamente susceptible
 T = Tolerante

**Cuadro 8. Tolerancia de algunos cultivos a los cloruros
en el extracto de saturación y en el agua de riego**

Especie	Concentración permisible de cloruros Extracto de saturación	Agua de Riego
AGUACATE		
Indias Occidentales	7.5	5.0
Guatemalteco	6.0	4.0
Mexicano	5.0	3.3
CITRICOS		
Toronja, Mandarina Cleopatra	25.0	16.6
Tangelo, Naranja Agria, Limón rugoso	15.0	10.0
Citrumelo, Calamondín, N, Trifoliada	10.0	6.7
CULTIVOS MISCELANEOS		
Remolacha aprox.	90.0	---
Maíz	70.0	---
Tomate	39.0	---
Pasto Rhoades	24.0	---
Frijol	18.0-24.0	---
Geranio	25.0-30.0	30.0
Aster	40.0	---
Gardenia	25.0	---
Gladiolo	40.0	---
Rosas	---	5.0
Clavel	---	5.0
Crisantemo	---	5.0

Adaptado de Maas y Hoffman (1984), Western Fertilizer Handbook (S.F.)

En el perfil del suelo húmedo las sales solubles se concentran en la periferia del bulbo cerca del frente húmedo. Si la planta extrae más agua que sales de este volumen de suelo restringido, se produce un incremento gradual de la concentración de sales en la zona crítica que inevitablemente crece con cada ciclo de riego. El uso de aguas salinas rápidamente conduce a alcanzar niveles de salinidad en el volumen crítico peligrosos para las plantas. Para evitar esto, se trata de mantener el volumen crítico a una tensión de humedad casi constante con un contenido óptimo de nutrimentos y sales añadiendo un exceso de agua para lavar (excede la cantidad transpirada y la capacidad de retención de humedad del suelo).

En algunas zonas se usa la fertigación continua bajo condiciones que implican peligro de salinización. La planta no sufre de estreses por agua sales o nutrimentos, pero este sistema puede causar problemas de aireación aún en suelos arenosos, a más de que implica la pérdida de nutrimentos y agua. El exceso de estos puede llegar por percolación a contaminar las aguas subsuperficiales.

Una vez que se inicia la fertigación el agua en el volumen crítico se disminuye debido a infiltración y evapotranspiración. Cuando la evapotranspiración es baja, un riego al día es suficiente para mantener una humedad adecuada en la zona húmeda y a medida que aumenta la ET aumenta la necesidad de riego.

En los climas áridos donde la evaporación de la superficie del suelo es un componente importante del balance de aguas, las sales móviles en el suelo tienden a acumularse en la periferia de la zona húmeda, la cual es especialmente tóxica para el caso de plántulas porque todo el sistema radical se encuentra en una zona muy altamente salina aún cuando se riega con aguas de muy buena calidad. Experimentos de Kafkafi y Bar Yosef (1980) muestran que usando altos o bajos suministros de agua (6 y 3 mm/día respectivamente) los iones K y NO₃ (móviles) se concentran en los 5 cm superficiales y en un radio de 10 a 30 cm del emisor.

Una planta creciendo en un volumen de suelo húmedo de las características anteriores enfrenta problemas como fluctuaciones en el suplemento de agua y nutrimentos, en las temperaturas día-noche y niveles cambiantes de nutrición y salinidad.

Las diferencias en el suplemento de agua para plantas con sistemas radicales restringidos causan reducciones en el potencial de agua de la hoja y, en consecuencia, en el rendimiento por lo que entre más pequeño sea el volumen radical más frecuente deberá ser el suministro de agua y nutrientes. Plantas con sistemas radicales restringidos tienen en consecuencia reducción en la parte aérea (Carmi et al, 1992).

Esto permite concluir que desde el principio del cultivo se debe procurar el mejor desarrollo radical posible mediante el mantenimiento de un volumen crítico tan grande como sea posible (fertigación fuerte), lo que se puede lograr con el uso de microaspersores en los casos en que ello sea posible desde el punto de vista sanitario. También se puede recurrir al uso de giberelinas y citoquininas ya que existe un complejo desarrollo hormonal en las respuestas de las raíces confinadas en volúmenes muy restringidos.

Igualmente, se sabe que los sistemas muy restringidos y muy superficiales pueden causar problemas en especies muy susceptibles a las temperaturas altas o bajas. Se puede concluir

que el tamaño del sistema radical determina el éxito de cualquier cultivo bajo fertigación con bajo nivel de control.

5. SUMINISTRO DE NUTRIENTES VS ESTADO FENOLOGICO

Se sabe que tanto el largo del ciclo de vida como la aparición de los diferentes estados fenológicos de una especie o variedad dependen de su adaptación a las condiciones agroecológicas y de manejo y que la absorción de nutrimentos tiene patrones diferentes durante los diferentes estados fenológicos. Así, experimentos de Kafkafi et al (1984) muestran que en tomate la aplicación frecuente de la misma solución nutritiva sin tener en cuenta la absorción diaria de sales y nutrimentos por la planta puede causar una acumulación de sales en el volumen crítico.

La absorción de los diferentes nutrimentos cambia de acuerdo con el estado fisiológico de la planta, aún cuando se mantiene constante la concentración del nutrimento en la solución durante todo el ciclo de vida de la planta.

Las plantas seleccionan sus nutrimentos de acuerdo a la demanda. Así, por ejemplo, el algodón absorbe preferencialmente potasio a partir de la formación de las bellotas (Halevi, 1976). La absorción de cationes trae como consecuencia la extrusión de protones (H⁺) lo que causa disminución del pH. Esto explica la acidificación progresiva de los suelos del Tolima sembrados con maní o las observaciones de Kafkafi (1994) en fresa.

El conocimiento de estos mecanismos puede explicar la salinización estacional o los cambios de pH que se presentan en algunos cultivos como las flores y plantea la necesidad de realizar investigaciones sobre la eficiencia de la fertigación para evitar degradación de suelos y aguas, se deben determinar las demandas estacionales por los diferentes nutrimentos durante el ciclo de vida para programar la fertigación lo más ajustadamente posible en lo referente a

composición de la solución nutritiva, cantidad y oportunidad en el suministro para cada condición ambiental y estado fisiológico.

En el *Cuadro 9* se presenta la duración aproximada de estados fenológicos importantes en algunos cultivos comerciales.

6. TIPO DE FERTILIZANTE A APLICAR NITROGENO

La forma de Nitrógeno absorbido por la planta tiene un efecto pronunciado en la nutrición de la planta y en el crecimiento. En soluciones nutritivas no buferadas las plantas acidifican el medio cuando la fuente de nitrógeno es NH_4^+ y lo alcalinizan cuando es NO_3^- ; y esto tiene consecuencias en la producción de materia seca y en la absorción de nutrimentos. Este tipo de información, a la que no se presta atención cuando se manejan cultivos de tipo semestral o anual en los cuales la fertilización se realiza uno o dos veces durante el ciclo de cosecha, adquiere importancia en cultivos fertiguados como en las flores.

La forma de nitrógeno absorbido por las plantas tiene un efecto marcado en la producción de carbohidratos lo que a su turno afecta el balance de cationes y aniones en la planta (de Wit et al, 1963). Cuando la fuente de N es NO_3^- la concentración de los cationes divalentes es mayor que si la fuente de N es NH_4^+ . Cuando ambas fuentes están presentes en la solución, la planta toma preferencialmente el NH_4^+ si la relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ es mayor de 0.1 (Kafkafi et al, 1971). Cuando el NH_4^+ es solo el 40% del N total en la solución plantas como el tomate absorben alrededor del 80% de su N en esta forma. En muchas especies la toma de NH_4^+ causa disminución en las concentraciones de Ca^{+2} y Mg^{+2} , no afecta la absorción de K^+ y causa aumento del P (Moritsugu et al, 1983). El efecto de la urea sobre la composición mineral es similar al del nitrato en una toma de tipo ácido (Kirkby and Mengel, 1967). Las bajas temperaturas, los suelos ácidos y un suministro diario de NH_4^+ pueden resultar en una acumulación de este ión en el suelo el cual puede causar una disminución en la concentración foliar de Ca^{+2} y Mg^{+2} en la planta pero con efectos salinos menos marcados que cuando el suministro de N se hace en forma de NO_3^- .

Cuadro 9. Duración aproximada de estados fenológicos importantes en algunos cultivos comerciales

CULTIVO	CICLO TOTAL EN DIAS	FASE CRITICA (DIAS)		PRODUCCION COM.
TOMATE	90-110	LLENADO DE FRUTO	35-40	35000 kg
CEBOLLA	150	PRODUCCION DE BULBOS	50	33000 kg
AJO	180	PRODUCCION DE BULBOS	55	10000 kg
CHILE	90-100	CRECIMIENTO FRUTOS	40	20000 kg
MELON CANTALOUPE	90-100	LLENADO DE FRUTOS	40	20000 kg
VID VINIFERA	200	AMARRE - COSECHA	90	40000 kg
VID DE MESA	170	AMARRE - COSECHA	70	30000 kg

Fuente: SQM MEXICO, 1994

También se sabe que el NH_4^+ es metabolizado total y rápidamente en las raíces y que es una buena fuente de N siempre y cuando la raíz tenga unas buenas reservas y suplemento de azúcares. Cuando existen condiciones de alto consumo de azúcar en la raíz (temperaturas altas) y si el suministro de azúcar a la raíz es bajo (etapa de fructificación) el NO_3^- es una mejor fuente de N (Kafkafi, 1994). Debe recordarse que el NO_3^- tiene un efecto salino más fuerte que el NH_4^+ ; así, para la zona de Subachoque (Cundinamarca) se ha encontrado una relación directamente proporcional entre la concentración de NO_3^- en el suelo y la salinidad en el suelo con un valor de $r = 0.927^{**}$ la cual se expresa mediante la ecuación:

$$\text{CE (dS/m)} = 0.55 + 0.01\text{NO}_3^- \quad (2)$$

Las diferentes especies de plantas reaccionan muy diferentemente a las diferentes fuentes de nitrógeno. Algunas son sensibles a la presencia de altas concentraciones de amonio en el agua de irrigación como aquellas que tienen sistemas radicales muy pequeños respecto a la parte aérea o la gran mayoría de especies durante la fructificación cuando las raíces sufren por un suministro pobre de azúcares.

Esto hace que la composición del fertilizante y su concentración en el agua de irrigación deban ser escogidos muy cuidadosamente para cada cultivo, condición climática para asegurar un óptimo crecimiento. Algunas prácticas pueden ayudar como la aplicación de grandes cantidades de agua con muy bajos niveles de nutrientes o no permitir que elementos tóxicos para algunas especies como el NH_4^+ excedan del 10% del N total necesario.

7. MANEJO DEL AGUA PARA FERTIGACION

El Suelo como reservorio de agua

El agua es retenida en el suelo en forma de películas alrededor de las partículas de suelo y en forma temporal en los poros. El suelo está saturado cuando el aire de todos los poros ha sido desplazado por el agua que los ocupa. Luego el agua se mueve fuera de los poros por gravedad

y cuando el drenaje cesa, generalmente después de más o menos un día, el suelo queda a capacidad de campo (CC) o lo que es lo mismo en el Límite Superior de Drenaje (LSD). Cualquier cantidad de agua que se añada en estas condiciones puede causar sobresaturación o condiciones de encharcamiento.

A medida que las raíces de las plantas la absorben, el contenido de agua del suelo disminuye, proceso en el cual ayuda determinadamente la evaporación. Si el proceso continúa sin que se adicione agua, llega un momento en el cual la planta no puede extraer más agua y comienza a marchitarse y cuando ya no se puede recobra del marchitamiento durante la noche se tiene el Punto de Marchitamiento Permanente (PMP) o límite inferior del drenaje (LID). El agua aprovechable para la planta (AAP) es la diferencia entre ambos límites. La cantidad de agua aprovechable que el perfil del suelo puede almacenar depende de su textura y, generalmente, fluctúa entre 33 y 208 mm por metro (Cuadro 10).

Cuadro 10. Cantidad de agua aprovechable para las plantas en suelos de diferente textura (mm/m)

TEXTURA	AGUA APROVECHABLE EN EL PERFIL DEL SUELO	
	RANGO	PROMEDIO
Arena gruesa	33-42	36
Arenoso franco	62-83	67
Franco arenoso fino	83-125	104
Arena muy fina, francolimoso Franco arcilloso arenoso	125-192	158
Franco arcilloso mod. fino Arcilloso limoso	146-208	175
Arcilloso, arcillo-limoso, arcillo-arenoso fino	133-208	167

(Shockley, 1956)

La aplicación de una cantidad igual de agua a suelos de diferente textura cuando se encuentra a CC humedece el suelo a una mayor profundidad en el caso de los arenosos que en los arcillosos. Aunque los arenosos retienen aproximadamente un tercio del agua aprovechable que retiene un

suelo franco o uno arcilloso, el agua no es retenida muy fuertemente, y por consiguiente, está más disponible para las raíces. La mayor parte del agua aprovechable en una arena puede ser extraída por la raíces a una tensión de 100 kPa (1 bar) o menos. En contraste, en un suelo arcilloso se requiere una tensión 4 veces mayor para extraer la misma cantidad de agua (Mc Carthy et al, 1992).

La absorción de agua y los procesos evaporativos producen una concentración de las sales en el suelo que hacen que el potencial osmótico sea mayor (más negativo) y que el agua disponible para la planta disminuya, lo que se refleja en el

crecimiento y producción. Por ello, se requiere un excelente manejo del agua de acuerdo con su calidad. Ayers y Westcott (1985) en el Manual 29 de la FAO resumen la mayoría de los principios que, sobre calidad de agua para riego, se manejan actualmente. (Cuadro 11).

Actualmente se consideran los efectos que las sales pueden tener sobre la planta (efecto osmótico), sobre el suelo especialmente sobre la capacidad de conducir el agua que puede ser alterada por iones que producen efectos deletéreos sobre el suelo como el Na y el Mg; también se hace hincapié en el peligro de toxicidad específica de algunos iones como Na, Cl, B, etc.

Cuadro 11. Criterios para evaluar la calidad del agua de riego

Problema potencial	Unidades	GRADO DE RESTRICCIÓN EN EL USO		
		Ninguno	Ligero a moderado	Severo
SALINIDAD				
CEa	dS/m	<0.7	3.7-3.0	>3.0
ó TDS	mg/L	<450	450-2000	>2.000
INFILTRACION				
RAS = 0-3 y CEa =		>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
TOXICIDAD DE IONES ESPECIFICOS				
Sodio (Na)				
Riego superficial	RAS	<3	3 - 9	>9
Riego por aspersion	me/L	<3	>3	
Cloruros (Cl)				
Riego superficial	me/L	<4	4 - 10	>10
Riego por aspersion	me/L	>3	>3	
Boro (B)	me/L	<0.7	0.7 - 3.0	>3.0
Elementos traza				
Nitratos (N-NO ₃)	me/L	<5	5 - 30	>30
Bicarbonatos (HCO ₃)	me/L	<1.5	1.5 - 8.5	>8.5
pH	Rango normal	6.5	8.4	

Cuando se planea un sistema de fertigración se debe considerar que el riesgo que para el mismo puede significar algunos agentes potenciales de daño de tipo físico, químico y biológico. Los agentes de tipo físico más importantes son los sólidos en suspensión entre los cuales se tienen arenas, limos, arcillas y materia orgánica. Los de tipo químico están relacionados con las precipitaciones de carbonatos de Calcio y magnesio, de sulfatos de calcio, de fertilizantes

como fosfato, hierro, cinc, cobre y manganeso y con la presencia de metales pesados en forma de óxidos, hidróxidos, carbonatos, silicatos y sulfuros. Los agentes biológicos comprenden algas y bacterias de varios tipos (García, 1990). En el *Cuadro 12* se presentan los parámetros recomendados por Ayers y Westert (1985) para evaluar la calidad del agua para riego teniendo en cuenta los aspectos antes mencionados.

Cuadro 12. Influencia de la calidad del agua como peligro potencial de oclusión a sistemas por goteo

Problema potencial	Unidades	GRADO DE RESTRICCIÓN EN EL USO		
		Ninguno	Ligero a moderado	Severo
FISICO Sólidos en suspensión	mg/L	<50	50 - 100	>100
QUIMICO pH	mg/L	<7.0	70 - 80	>8.0
Sólidos disueltos	mg/L	<500	500 - 2.000	>2000
Manganeso	mg/L	<0.1	0.1 - 1.5	>1.5
Hierro	mg/L	<0.1	0.1 - 1.5	>1.5
Sulfuro de hierro	mg/L	<0.5	0.5 - 20.0	>2.0
BIOLOGICO Poblaciones bacteriales	Número máximo/ml	<10.000	10.000 - 50.000	>50.000

8. REQUERIMIENTO DE LAVADO

A medida que las raíces y la evaporación hacen que se agote el agua en el suelo las sales adicionadas en el riego permanecen en el suelo en donde se acumulan y reducen la disponibilidad de agua para las plantas o causan problemas de toxicidad, de desbalances nutricionales y, algunas, pueden causar deterioro de las condiciones físicas del suelo. Para disminuir estos efectos se acostumbra aplicar un exceso de agua para lavar el exceso de sales de la zona de raíces.

El lavado consiste en la aplicación de agua de riego en exceso para remover las sales de la zona de las raíces. El exceso de agua percola debajo de la misma llevando las sales disueltas. El exceso de agua expresado como porcentaje del agua de riego es la fracción de lavado (FL). El control efectivo de la salinidad significa asegurar que la fracción de lavado es lo suficientemente grande como para prevenir la acumulación de sales en la zona de raíces. La FL se define:

$$FL = \frac{100 V_{ad}}{V_{ai}} \quad (3)$$

en donde:

FL = Fracción de lavado (%)

Vad = Cantidad de agua que drena debajo de la zona de raíces.

Vai = Cantidad de agua de riego menos escorrentía superficial.

A causa de lo impráctico que resulta determinar el volumen de agua de drenaje se han desarrollado algunas técnicas para relacionar la FL con la salinidad promedio de la zona de raíces en el agua de riego. Estas técnicas asumen que el agua de riego es la mayor fuente de sales en el suelo.

La fracción del agua de riego aplicada que debe drenar por debajo de la zona de raíces para mantener la salinidad de esta dentro de los límites de tolerancia para una determinada especie se conoce como requerimientos de lavado (RL). Este se puede expresar como la relación existente entre el volumen del agua de drenaje y el volumen del agua de irrigación:

$$RL = \frac{Vd}{Vi} \quad (4)$$

Este concepto es válido solo en condiciones en las cuales las sales no precipitan o disuelven, cuando la absorción de sales por el cultivo es despreciable. El requerimiento de lavado también puede expresarse en términos de la concentración de sales de las agua.

$$RL = \frac{Vad^*}{Vai^*} = \frac{CEai}{CEd^*} \quad (5)$$

El asterisco (*) indica cantidades requeridas. El volumen de agua de riego necesario V_i^* para cubrir los requerimientos de un cultivo específico (Vuc) y para un drenaje dado se calcula:

$$Vuc = Vai - Vad$$

$$RL = \frac{Vad}{Vai}$$

$$Vad = RL Vai$$

$$Vuc = Vai - RL Vai = Vai (1-RL)$$

$$Vai = \frac{Vuc}{1-RL} = \frac{ET}{1-FL/100} \quad (6)$$

La cantidad de agua de lavado calculado mediante esta última ecuación se debe ajustar de acuerdo con la eficiencia de riego.

Históricamente los RL se han calculado usando la ecuación (6) usando los datos de tolerancia derivados de experimentos manejados con altas fracciones de lavado.

La conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo asociado con una disminución del 50% en el rendimiento (CE_{50}) fue seleccionado para substituir el término CE_d y el requerimiento de lavado:

$$RL = \frac{CEai}{CE_{50}} \quad (7)$$

Como estos cálculos pueden resultar muy conservadores hoy en día se pueden usar a voluntad los datos expresados para una reducción en el rendimiento del 10, 20 o más por ciento.

En la práctica los RL se deben determinar el suelo y la planta bajo cada condición. Los RL demasiado elevados pueden causar la elevación del agua freática altamente salina y causar problemas de aireación y toxicidad a las raíces.

9. LAVADO DE SUELOS SALINOS

Lavado de suelos con niveles freáticos superficiales

En áreas con niveles freáticos superficiales y salinos, el agua freática puede contribuir substancialmente al uso de agua por las plantas. Puesto que la salinidad de esta agua es normalmente mucho mayor que la del agua de riego, su uso o su influencia, puede causar un incremento significativo en la salinidad del suelo. Por consiguiente el uso de los procedimientos tradicionales para estimar la FL y el RL pueden subestimarlos.

Desafortunadamente no existe un método para corregir los métodos tradicionales por el efecto salino del agua freática sobre el suelo. Lo más aproximada es la determinación (estimación) de la cantidad de agua necesaria para lavado durante procesos de preirrigación conocido como **el método de recuperación en preriego**.

Si las sales no se lavan durante la preirrigación y se hace muy poco lavado durante el ciclo del cultivo la salinidad del suelo continuará aumentando en el tiempo.

Estimativos de la cantidad de agua de lavado necesaria demostraría que depende de la contribución del agua freática a las necesidades del cultivo. Cuando la contribución es menor del 30% a 40% se requieren aproximadamente 2.5 cm de agua de lavado para cada 30 cm de suelo a lavar (Hanson, 1993).

El fenómeno básico involucrado en la recuperación es la dilución y movimiento de las sales para llevarlas fuera del perfil radicular. El lavado es el proceso fundamental y el drenaje es indispensable ya sea éste natural, debido a la existencia de buena permeabilidad en suelo y subsuelo, o artificial.

El procedimiento de recuperación es específico para cada caso y depende de factores tales como tipo de suelo (textura y estructura), naturaleza de la salinidad, geología, topografía, suplemento de agua, rotación de cultivos y limitaciones debidas al tiempo.

La cantidad de agua que debe pasar a través del perfil para lavar las sales depende de tres factores: 1) la salinidad inicial; 2) la técnica de aplicación del agua; y 3) la textura del suelo. La técnica de lavado más corriente es la inundación en piscinas que puede ser permanente o intermitente. El riego por aspersion usando grandes volúmenes de agua también puede usarse.

La siguiente ecuación describe la reducción en la salinidad del suelo (C/C_0) como una función de la cantidad de agua que pasa por cada unidad de suelo durante el lavado (dl/ds : lámina de agua) (Hoffman, 1981).

$$\frac{C}{C_0} \times \frac{dl}{ds} = K \quad (8)$$

C = Máxima salinidad permisible

C_0 = CEe inicial

ds = Profundidad efectiva a recuperar (cm)

dl = Lámina de riego (cm)

K = Valor que refleja el contenido volumétrico saturado de agua del suelo y la eficiencia de lavado según el tipo de suelo. Para suelos orgánicos $K = 0.45$; suelos franco arcillosos $K = 0.3$; y arenoso franco $K = 0.1$

RESUMEN

El uso de la fertigración hace posible la producción agrícola con muchas ventajas, especialmente en suelos pobres, suelos arenosos, calcáreos, pedregosos y también en cultivos bajo condiciones controladas como los de flores y hortalizas. Se resumen las ventajas y desventajas del uso de esta técnica. Se discute la problemática de la salinización y el manejo de la misma en cultivos bajo fertigración. La planeación del sistema de riego y el suplemento de nutrimentos de acuerdo con el estado fisiológico de desarrollo, y de acuerdo con las características climáticas y de suelo, puede resultar en altas producciones de cultivos de calidad superior con un mínimo de contaminación, pero la acumulación de sales en la superficie del suelo puede prevenir con los riegos localizados de alta frecuencia (fertigración) coberturas plásticas, mulches y lavados.

BIBLIOGRAFIA

- AYERS, R.S. and WESTCOT, D.W. 1985. Water quality for agriculture FAO. Irrigation and Drainage paper No. 29. Rome p. 125.
- BEN ASHER, J., BAR-YOSEF, B., and KAFKAFI, U. 1974. Application of an irrigation model and fertilization considerations in growing tomato and sand dunes. Plant Analysis and fertilizer problems, 7th International Colloquium, Hanover, Germany, pp 35-43.
- BRESLER, E. 1977. Trickle-drip irrigation: principles and applications to soil-water management. *Adv. Agron.* 29: 343-393.
- CARMI, A.; PLAUT, Z.; HEVER B. and GRAVA, A. 1992. Establishment of shallow and restricted root system in cotton and its impact on plant response to irrigation. *Irrig. Sci.* 13:87-91.
- de WIT, C.T.; DIJKSHOORN, W. and NOGGLE, J.C. 1963. Ionic balance and growth of plants. *Versl. Landbouwe. Onderz.* 69:15.
- DEL AMOR, F. 1994. Fertigación. Subgerencia de estudios agrícolas SQM-NITRATOS S.A. (Versión preliminar) Santiago de Chile. 105 p.
- FAO. 1985. Water quality for agriculture irrigation and drainage paper. Vol. 29. 387 p.
- GARCIA OCAMPO, A. 1991. Parámetros para la evaluación de la calidad de aguas para riego. En: *Fundamentos para la interpretación de Análisis de suelos, plantas y aguas para riego.* Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 257-272.
- GARCIA OCAMPO, A. 1994. Diagnóstico y control de la fertilidad en suelos afectados por sales y sodio. En: *Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control.* Nueva edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 469-500.
- GIMENEZ, M. 1987. Abonos líquidos ácidos para fertirrigación por goteo. *Boletín Técnico. Fertilización.* FESA Fertilizantes. pp. 57-67.
- GIMENEZ, M. 1987. Abonos fosfatados y potásicos para fertirrigación por goteo. *Boletín Técnico ERT Fertilizantes.* España.
- HANSON, B. 1993. Reclaiming saline soils. In: *Agricultural salinity and drainage.* p. 77-80.
- KAFKAFI, V.; and WALERSTEIN, I., and FEIGENBAUM, S. 1971. Effect of K and ammonium nitrate on the growth, cation uptake and water requirement of tomato grown and sand culture. 1sr.
- KAFKAFI, V.; DAYAN, E. and AKIRI, B. 1984. Nitrate and phosphate uptake by tomato from nutrient solution in a commercial operation. *Proc. 6th Int. Congr. on Soilless Culture, Lunteren, The Netherlands,* pp. 291-298.
- KAFKAFI, V. 1994. Combined irrigation and fertilization in arid zones. *Israel Journal of plant Sciences.* Vol. 42. pp. 301-320.
- KIRKBY, E.A. and Mengel, K. 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant physiol.* 42: 6-14.
- MASS, E.V., HOFFMAN, G.J., CHABA, G.D., POSS, V.A. and SHANNON, M.C. 1983. Salt sensivity of corn at various growth stages. *Irrig. Sci.* 4, 45-57.
- McCARTHY, M.G., JONES, L.D., DUE, G. 1992. Irrigation principles and practices. In: *Viticulture B.G. combe and P.R. Dry (Eds.) Vol. 2. Practices.* Winetitles. Adelaide. Austr.
- MORITSUGU, M.; SUZUKI, T.; and KAWASAKI, T. 1983. Effects of nitrogen source on growth and mineral uptake in plants under constant pH and conventional culture conditions. *Ber. Ohara Inst. Landwirtsch. Biol. Okayama Univ.* 18: 125-144.
- SAGIV, B., BEN-ASHER, J.; BAR-YOSEF, B., KAFKAFI, V., and GOLDBERG, D. 1975. Combined irrigation and fertilization of tomatoes grown on sand dunes. In: *Ecological research on development of arid zones (Mediterranean deserts) with Special Publication No. 39.* Volcani Center, Bet Dagon, Israel, pp. 141-146.
- SHOCKLEY, D.G. 1956. The influence of moisture holding characteristics upon sprinkler irrigation desing. *Sprinkler irrigation manual, wright Rain,* p. 45-50.