

CAPITULO II

CRITERIOS PARA LA EVALUACION DEL AGUA PARA RIEGO

2.1. Criterios FAO

Con base en la tendencia existente hoy en el mundo a definir una forma mas cualitativa que cuantitativa las posibilidades de uso de un agua de riego haciendo que los criterios de clasificación se usen en una forma elástica y particular para cada caso. En este Manual se hace referencia a los criterios propuestos por la FAO (Manual 29,1985) los cuales resumen la mayoría de los principios en uso por el laboratorio de salinidad del USDA.

Los criterios de la FAO han sido usados exitosamente para la evaluación de las sustancias comunmente encontradas en las aguas usadas para el riego de cultivos en varias áreas del mundo, incluyendo aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas de drenaje y aguas negras. En la tabla 2 aparecen dichos criterios.

2.1.1. Hipótesis Sobre las Cuales se basan las Guías para la Evaluación de Aguas según la FAO

En general se asumen las siguientes situaciones:

- i. Suelos con buen drenaje interno.
- ii. Clima árido donde la lluvia no juega un papel significativo en el suministro de agua a las plantas.
- iii. Métodos de riego y manejo de los mismos mediante aplicación no periódica, sino cuando el cultivo ha utilizado una porción considerable del agua del suelo (50% o mas). Al menos 15% del agua aplicada debe percolar por debajo de la zona radicular.
- iv. Los diferentes cultivos tienen diferentes patrones de absorción de agua. Se consideran cultivos y condiciones fisicoquímicas del suelo que permiten un patrón de absorción del 40% en el cuarto superior del sistema radicular, 30% en el segundo y 20% y 10% en los subsiguientes.

Estas hipótesis llevan a la conclusión de que la salinidad en la zona radicular inferior del suelo, es de poca importancia siempre que se mantega libre de sales y con buena humedad de zona radicular activa (Pla, 1979).

2.2. Efectos de las Sales sobre las Plantas

El objetivo primario del riego es proporcionar agua a los cultivos en la cantidad adecuada y en el momento oportuno, para evitar pérdidas en producción debidas a largos periodos de escasez de agua durante las etapas críticas de crecimiento.

Sin embargo el uso continuado de riego con agua que tiene sales en solución, puede traer como consecuencia la salinización de los suelos, reduciendo la disponibilidad de agua para la planta. Las sales en el agua de riego incrementan el esfuerzo que la planta debe ejercer para extraer el agua: ésta fuerza adicional es la que se conoce como efecto osmótico o potencial osmótico. Este es el efecto mas común de las sales y es independiente de la clase de sales disueltas. El tipo de daño producido se conoce como la presión relacionada con el potencial osmótico y se identifica por una reducción en la producción proporcional al aumento en la salinidad del suelo por encima de un cierto nivel crítico.

Moos y Hofman (1977) describen el efecto osmótico en términos de producción relativa (Y) y de CE_e mediante la ecuación:

$$Y = 100 - B (CE_e - A) \quad (1)$$

en donde:

Y = Producción relativa en porcentaje

CE_e = Conductividad eléctrica del extracto en dS/m.

B = Disminución en el rendimiento por unidad de aumento en la salinidad por encima del nivel crítico (pendiente de la recta).

A = Valor crítico de la salinidad en dS/m.

Tabla 2. Criterios para evaluar la calidad de aguas para riego* (1)

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción en el uso		
		Ninguno	Ligero a moderado	Severo
SALINIDAD (2)				
CE _a	dS/m	<0.9	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/L	<450	450-200	>2,000
INFILTRACION (3)				
RAS = 0-3 y CE _a =		>7.0	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⁺) (4)				
Riego superficial (RAS) =	me/L	<3.0	3.1-9.0	>9.0
Riego por aspersión =	me/L	<3.0	3.0	
Cloruros (Cl⁻) (5)				
Riego superficial	me/L	<4.0	4.0-10	>10
Riego por aspersión	me/L	<3.0	>3.0	
Boro (B) (6)				
	mg/L	<0.7	0.7-0.3	>3.0
Elementos traza (ver Tabla 11)				
Nitratos (N-NO ₃ ⁻) (7)	mg/L	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Bicarbonatos (HCO ₃)	mg/L	<5.0	5.0-30	>30
pH			6.5-8.4	

*Anotaciones, siguiente página

Anotaciones

- (1) = Adaptación hecha por Ayers y Wescot (1985), University of California, Committee of Consultants (1974).
- (2) = La salinidad afecta la disponibilidad de agua para las plantas. La CE_e se reporta en términos de decisiemens por metro a 25°C (dS/m) o en milimhos por centímetro (mmho/cm). Ambas medidas son equivalentes siendo la primera la unidad adoptada por el Sistema Internacional de Unidades. TDS equivale a total de sólidos en solución y se expresa en mg/l.
- (3) = Se refiere al efecto del agua de riego sobre las propiedades hídricas de los suelos causando disminución en la velocidad de infiltración del agua. Se evalúa considerando la CE_e y la relación de adsorción de sodio simultáneamente. Esto hace referencia al efecto floculante de las sales y defloculante del sodio. A un valor de RAS dado, la velocidad de infiltración incrementa a medida que la salinidad del agua aumenta.
- (4) = El sodio tiene un efecto tóxico sobre muchas especies, además de los problemas que puede causar al deteriorar las propiedades físicas de los suelos. La Tabla 8 muestra la tolerancia de cultivos al sodio.
- (5) = Véase Tabla 7: Tolerancia de los cultivos al Cl⁻.
- (6) = Véase Tabla 9: Tolerancia de los cultivos al B.
- (7) = N-NO₃ se refiere al nitrógeno nítrico reportado en términos de N elemental.

La ecuación (1) implica la existencia de unos valores A y B característicos para una especie dada.

En la tabla 3 aparece la evaluación relativa de la tolerancia a las sales para diferentes cultivos. Esta tabla proporciona los dos parámetros esenciales para expresar la tolerancia a las sales:

A = La salinidad máxima permisible sin que ocurra reducción en los rendimientos o nivel crítico.

B = El porcentaje de disminución en el rendimiento por unidad de aumento en la salinidad mas allá del nivel crítico. Esta información se obtuvo analizando todas las referencias sobre salinidad existentes en el período entre 1950 y 1975 lo cual dió origen al establecimiento de la ecuación citada. Usando la ecuación (1) y la información obtenida en la Tabla 3 se puede deducir el efecto probable de la salinidad del suelo sobre un cultivo dado.

Si se utiliza como corriente la utilización de un exceso de agua de 15 a 20% (fracción de lavado = 0.15 a 0.20) puede utilizarse la salinidad de riego (CE_R) para predecir o estimar la salinidad del suelo (CE_S) usando las siguientes relaciones:

$$CE_{AS} = 3 CE_R$$

$$CE_E = 1.5 CE_R$$

$$CE_{AS} = 2 CE_E$$

Con base en los trabajos de Maas y Hoffman (1977) se han desarrollado tablas de tolerancia y producción potencial para diversos cultivos que son útiles en muchas circunstancias (Tabla 4) (FAO, 1985).

2.3. Efectos del Sodio sobre las Propiedades Físicas de los Suelos

El agua puede causar una reducción severa en la permeabilidad de los suelos cuando su concentración de sales es muy bajo o cuando tiene una alta concentración de sodio. Este elemento cuando está presente en el agua de riego, causa aumento en el contenido del mismo en la solución del suelo, y por ende, en la saturación de Na intercambiable (PSI).

Tabla 3. Tolerancia de algunos cultivos a las sales.

Cultivo	Nivel crítico de salinidad	Porcentaje de disminución en el rendimiento/unidad de aumento en la salinidad mas allá del nivel crítico (B)	Clasificación
Alfalfa	2.0	7.3	MS
Almendro	1.5	19.0	S
Aguacate	-	-	S
Albaricoque	1.6	24	S
Algodón	7.7	5.2	T
Arroz	3.0	12	MS
Brocoli	2.8	9.2	MS
Batata	1.5	11	MS
Cebada (forrajera)	6.0	7.1	MT
Cebada (grano)	8.0	5.0	T
Caupí	1.3	14	MS
Cebolla	1.2	16	S
Ciruela	1.5	18	S
Caña de azúcar	1.7	5.9	MS
Dátil	4.0	3.6	T
Durazno	1.7	21	S
Espinaca	2.0	7.6	MS
Festuca alta	3.9	5.3	MT
Fresa	1.0	33	S
Frijol	1.0	19	S
Limón	-	-	S
Lechuga	1.3	13	MS
Lino	1.7	12	MS
Maní	3.2	29	MS
Maíz dulce	1.7	12	MS
Maíz	1.7	12	MS

Tabla 3. (continuacion)

Cultivo	Nivel crítico de salinidad	Porcentaje de disminución en el rendimiento/unidad de aumento en la salinidad mas allá del nivel crítico (B)	Clasificación
Naranja	1.7	26	S
Oliva	-	-	MT
Okra	-	-	S
Pimienta	1.5	14	MS
Papa	1.7	12	MS
Pasto Bermuda	6.7	6.4	T
Pasto Amor	2.0	8.4	MS
Pasto Rhoades	-	-	MS
Pasto Sudán	2.8	4.3	MT
Rábano	1.2	13	MS
Repollo	1.8	9.7	MS
Remolacha	4.0	9.0	MT
Remolacha azucarera	7.0	5.9	T
Ryegrass perenne	5.6	7.6	MT
Soya	5.0	20	MT
Trébol spp	1.5	12	MS
Toronja	1.8	16	S
Tomate	2.5	9.9	MS
Trigo	6	7.1	MT
Uva	1.5	9.6	MS
Zanahoria	1.0	14	S

Tomado de Maas y Hoffman (1977).

S = Susceptible.

MS = Medianamente Susceptible

NT = Medianamente tolerante.

T = Tolerante.

Tabla 4. Producción relativa de algunos cultivos bajo influencia de la salinidad en el agua de riego (CEa) o en el suelo (CEe).

	100%		90%		75%		50%		0%	
	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a
Cebada	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Algodón	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Remolacha azucarera	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sorgo	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Trigo	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Soya	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
Caupí	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13	8.8
Maíz	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Arroz	3.0	2.0	2.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
Café de azúcar	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12
Maíz	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Frijol	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Zuchino	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Remolacha	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
Calabaza	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.3	6.3	4.2	9.4	6.3
Brocoli	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
Tomate	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13	8.4
Pepino	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
Espinaca	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	2.5	8.6	5.7	15	10

Tabla 4. (Continuación)

	100%		90%		75%		50%		0%	
	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a
Apio	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
Papa	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	5.7
Repollo	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	1.7	4.6	12	8.1
Maiz dulce	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Batata	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.1
Pimienta	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Lechuga	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Rábano	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
Cebolla	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Zenahoria	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
Frijol	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Nabo	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8.0
Agropiron	7.5	5.0	9.9	6.6	13	9.0	19	13	31	21
Pasto Bermuda	6.9	4.6	8.5	5.6	11	7.2	15	9.8	23	15
Cebada forrajera	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.4	13	8.7	20	13
Ryegrass	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12	8.1	19	13
Festuca alta	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12	7.8	20	13
Pasto Sudán	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14	9.6	26	17
Caupí	1.5	1.7	3.4	2.3	4.8	3.2	7.1	4.8	12	7.8
Alfalfa	2.0	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16	10
Maiz forrajero	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15	10
Trébol	1.5	1.0	3.2	2.2	5.9	3.9	10	6.8	19	13

Tabla 4. (Continuación)

	100%		90%		75%		50%		0%	
	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a	CE _e	CE _a
Trébol Rojo	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Trébol Ladino	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Dátil	4.0	2.7	6.8	4.5	11	7.3	18	12	32	21
Toronja	1.8	1.2	2.4	1.6	3.4	2.2	4.9	3.3	8.0	5.4
Durazno	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3
Alvaricoque	1.6	1.1	2.0	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
Vid	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Almendra	1.5	1.0	2.0	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5
Círcuela	1.5	1.0	2.1	1.4	2.9	1.9	4.3	2.9	7.1	4.7
Fresa	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4.0	2.7

1) Adaptado de Mass y Hoffman (1977) y Mass (1984).

2) CE_e significa salinidad promedio de la zona radicular determinada como CE del extracto de saturación reportado en decisiemens por metro (dS/m) o en milimhos por cm (mmho/cm) a 25° C.

CE_a se refiere a la salinidad del agua de riego expresada en las mismas unidades.

Generalmente, la acumulación de Na intercambiable en los suelos a niveles superiores al 10 o 20% de la CIC trae como consecuencia el deterioro de la estructura del suelo, puesto que a esas saturaciones se presentan los fenómenos de dispersión y expansión los cuales están interrelacionados e influenciados por la sodicidad y las características electrolíticas del suelo. Ambos fenómenos ejercen una marcada influencia sobre la conductividad hidráulica del suelo.

La dispersión promueve el movimiento de partículas al interior de los poros y la disminución del diámetro efectivo de los poros reduciendo la conductividad hidráulica.

También puede ocurrir la cohesión total. Este fenómeno se puede presentar a valores de PSI relativamente bajos (entre 10 y 20%).

La expansión de las arcillas también reduce el diámetro de los poros, y por consiguiente la conductividad hidráulica. Este fenómeno está limitado generalmente a valores de PSI mayores de 25%.

La dispersión causada por el PSI a valores mas bajos que los necesarios para la expansión se atribuye al efecto de la composición de cationes intercambiables sobre la integridad estructural de las partículas de arcilla. Las partículas de arcilla saturadas con Ca consisten de "pequeños" de 4 a 6 laminillas agrupadas con un espesor de 9 amstrong. Estos pequeños reciben el nombre de "tactoides". La superficie efectiva del tactoide se limita a las caras superior e inferior y a los bordes. La expansión es restringida debido a que las laminillas individuales son mantenidas fuertemente unidas por el Ca^{2+} presente en las posiciones interlaminares del tactoide. A medida que el PSI excede de 15 y se aproxima a 20 se crean fuerzas repulsivas entre tactoides debido a la formación de dobles capas difusas mas fuertes, las cuales envuelven el tactoide. De esta manera se favorece la dispersión pero el tactoide permanece intacto hasta que el PSI supera el 25%. Este nivel de saturación de Na es lo suficientemente alto como para saturar todas las superficies exteriores y para promover la entrada del Na^+ al interior desplazando el Ca^{2+} , cuando esto sucede se desarrollan dobles capas difusas en las interlaminas creando las correspondientes fuerzas repulsivas entre cargas de igual signo (+) lo cual causa la ruptura del tactoide en unidades mas pequeñas. La ruptura total se alcanza a valores de PSI cercanos a 50.

Ambos valores son responsables de reducción en el tamaño de los poros y en el bloqueo de los mismos en suelos con materiales arcillosos y expandibles, pero solamente la dispersión lo es en suelos ricos en minerales no expandibles.

La conductividad hidráulica depende del tipo y contenido de arcilla, de la presencia de agentes cementantes especialmente Fe_2O_3 , de la textura, de la conductividad eléctrica y de la RAS.

Por las razones mencionadas los suelos sódicos tienden a dispersarse; al humedecerse se tornan pegajosos y difíciles de laborar. Cuando se secan se forman costras duras y la penetración del agua se restringe fuertemente. A causa de su carácter disperso frecuentemente son salinos debido a su mal drenaje. La remoción de las sales por lavado causa el taponamiento de los poros y microporos, por lo cual las técnicas de recuperación generalmente contemplan la construcción de drenajes y la adición de yeso como enmienda: el yeso proporciona Ca^{+2} para el desplazamiento del Na^{+} del complejo de cambio y como es un electrolito mantiene la floculación del suelo.

2.3.1. Estimación del Efecto del Sodio: Uso de la RAS

Para la predicción de un problema potencial ocasionado por el sodio, se han usado una serie de criterios en el pasado, tales como el carbonato de sodio residual (CSR) y el porcentaje de sodio posible (PSP) (Eaton, 1959; Richards, 1954). Richards, (1954) propuso el uso de la relación de adsorción de sodio (RAS) cuya ecuación se presenta a continuación:

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\frac{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}}{2}} \quad (2)$$

en donde:

Na, Ca y Mg se expresan en meq/L

Esta relación da una idea del peligro potencial debido a un exceso de Na sobre el Ca y el Mg. Las investigaciones realizadas por el Laboratorio de Salinidad del USDA, a nivel de campo e invernadero, sobre el equilibrio entre aguas altas en sodio y el PSI han demostrado que la RAS es un índice efectivo del peligro potencial de un agua en equilibrio con el suelo.

Algunos factores de los cationes involucrados, pueden influenciar el equilibrio mencionado y hacer variar la relación. Mas aún, es necesario mencionar que la relación RAS-PSI se estableció inicialmente para 59 suelos del Oeste de los Estados Unidos (Manual 60). Para suelos de Israel Levy y Mor (1965) encontraron que la relación funciona bien. En suelos de la India, Agrawal y Yadav (1956) encontraron que solo el 50% de las muestras analizadas presentaron una buena correlación entre los dos parámetros y Groenewegen (1961) encontró que para los suelos de Australia hay una buena correlación cuando estos tienen valores de pH superiores a 6.5. En Colombia es necesario verificar la validez de dicha relación.

La composición del agua de riego, el manejo del riego y el drenaje (fracción del lavado) y las características del suelo son los tres factores principales que afectan la RAS. Esta relación cuando se expresa según la fórmula de Richards (1954), no considera los cambios que se suceden en la solución del suelo debido a la solubilidad del Ca presente, como resultados de los procesos de dilución o precipitación después de un riego. La precipitación ocurre después de la presencia de cantidades suficientes de calcio y de carbonatos, bicarbonatos o sulfatos que exceden la solubilidad del carbonato de calcio o yeso. La dilución de minerales se ve favorecida por la presencia de CO₂ disuelto en el agua y por la remoción de los iones por las plantas o por procesos de lavado. Poco después del riego pueden ocurrir procesos de dilución o precipitación que cambian la concentración de calcio y hacen que se establezca una nueva situación de equilibrio diferente de aquella presente en el agua de riego (Ayers y Westcot, 1985). Mientras tanto, el Na soluble permanece en equilibrio con el Na intercambiable.

La ecuación (2) no toma en cuenta esos cambios, por lo que pueden presentarse errores en la predicción.

Posteriormente se propuso el uso de la RAS ajustada de Bower y Maasland (1963), el cual sí considera los procesos de precipitación y dilución mediante la inclusión del índice

de saturación de Langgier (1936), el cual considera simplemente que al alcanzar el punto de saturación en presencia de bicarbonatos el excedente se precipitará como CaCO_3 .

El índice de saturación se define como la diferencia entre el pH actual del agua (pH_a) y un pH calculado (pH_c) del agua en equilibrio con el CaCO_3 . Se expresa matemáticamente:

$$IS = \text{pH}_a - \text{pH}_c \quad (3)$$

Valores positivos de este índice ($\text{pH}_a > \text{pH}_c$) indican la tendencia del CaCO_3 a precipitar mientras que valores negativos indican la tendencia del CaCO_3 a disolver.

El RAS ajustado se calcula:

$$\text{RAS}(aj) = \text{RAS} [1 + (8.4 - \text{pH}_c)] \quad (4)$$

en donde:

$$\text{pH}_c = (\text{pK}_2 - \text{pK}_c) + \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) - \text{p}(\text{AlK}) \quad (5)$$

pH_c = pH del agua en equilibrio con el CaCO_3 .

pK_2 = Logaritmo negativo de la segunda constante de disociación del H_2CO_3 .

pK_c = Logaritmo negativo de la constante de solubilidad del CaCO_3 .

$\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg})$ = Logaritmo negativo de la concentración equivalente de $(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$.

Bower y Mealand (1963) adoptaron un valor de $\text{pH}_a = 8.4$, con base de que el suelo tiene más capacidad amortiguadora que el agua, y en que un suelo no ácido que contenga CaCO_3 tiene un pH de 8.4.

Los valores de pH_c se calculan en la Tabla 5.

Investigaciones recientes han demostrado que la RAS ajustada según la ecuación 4, sobrestima el peligro de salinización (Oster y Rhoades, 1977; Oster y Schroer, 1979; y Suarez, 1981). Se sugirió el uso de un factor 0.5 para ajustar el valor obtenido (RAS(aj) x 0.5).

Suarez, (1985) propuso un nuevo procedimiento para calcular la RAS que toma en consideración el efecto de la concentración de CO₂ del bicarbonato (HCO₃) y la salinidad (CE_d) sobre los procesos de dilución y precipitación del calcio. La ecuación sugerida por Suarez es similar a la inicial así:

$$RAS(aj) = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca_x^{2+} + Mg^{2+}}}{2}} \quad (6)$$

en donde:

Na⁺ y Mg²⁺ = Iones presentes en el agua de riego (me/L).

Ca_x = Valor modificado del calcio tomado de la Tabla 6

Estudios del Laboratorio de Salinidad del USDA han demostrado que tanto la ecuación (2) como la ecuación (6) de Suarez dan valores mas reales que la fórmula del RAS(aj) de Bower y Massland (1964) (ecuación 4).

La figura 1 presenta un monograma para determinar el valor de la RAS en un agua de riego y para estimar el correspondiente valor de PSI de un suelo en equilibrio con el agua (Manual 60, 1954).

2.4. Efecto de Iones Especificos

Aunque la mayoría de la 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 las hojas; cuando esta acumulación excede ciertos niveles se presentan 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, 1986; FAO 1985; Maes y Hoffman (1977).

Los iones tóxicos mas comunes en las aguas de riego son los cloruros, el sodio y el boro. En algunos casos se presentan en menor extensión toxicidades por magnesio, litio, 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 magnesio en uva (Ehlig, 1960), el corazón negro del apio en suelos salinos se debe a deficiencia de calcio causada por altos niveles de sulfatos y bajo contenido de Ca (Geraldson, 1954).

2.4.1. Cloruros

Es la mas 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 la concentración de cloruros en las hojas 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 se presntan 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, 1986; FAO, 1985).

Aunque no existe información muy copiosa acerca de la toxicidad de los cloruros y la tolerancia de las plantas, la Tabla 7 presenta una recopilación hecha por Maes (1984) en el Laboratorio de Salinidad. Estos criterios no deben usarse en una forma rígida sino que

deben considerarse 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.

2.4.2. Sodio

Los síntomas de toxicidad de incluyen quemazón en los tejidos, entorchamiento de la hoja y muerte de los tejidos lo cual ocurre inicialmente en los bordes externos y, a medida que la severidad de la toxicidad aumenta, progresa en los tejido intervenales. Los síntomas aparecen primero en las hojas mas 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 sodio se puede modificar o reducir si se encuentra suficiente calcio disponible en el suelo. La fertilización con yeso o con nitrato de calcio puede contribuir a solucionar el problema (FAO, 1985).

En la Tabla 8 aparece la toxicidad relativa de algunos cultivos al PSI del suelo.

2.4.3. Boro

El boro 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.

Los problemas de toxicidades son comunes en algunas áreas en donde las aguas subterráneas que se usan para riego atraviezan 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 aparecen cuando las concentraciones en los tejidos foliares exceden de 250-350 mg/kg (base seca). Los síntomas incluyen amarillamiento inicial de las hojas mas 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 boro se acumula con el tiempo. En algunos árboles seriamente afectados los síntomas típicos no aparecen, y en su lugar se presenta una goma o exudado en el tronco o en las ramas.

Tabla 5. Procedimiento para calcular el pHc del agua en equilibrio con el CaCO_3 .

Concentración me/L	$\text{pK}_2 - \text{pK}_c$	$\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg})$	$\text{p}(\text{AlK})$
0.05	2.0	4.6	4.3
0.10	2.0	4.6	4.3
0.15	2.0	4.1	3.8
0.2	2.0	4.0	3.7
0.25	2.0	3.9	3.6
0.30	2.0	3.8	3.5
0.40	2.0	3.7	3.4
0.50	2.1	3.6	3.3
0.75	2.1	3.4	3.1
1.00	2.1	3.3	3.0
1.25	2.1	3.2	2.9
1.50	2.1	3.1	2.8
2.0	2.2	3.0	2.7
2.5	2.2	2.9	2.6
3.0	2.2	2.8	2.5
4.0	2.2	2.7	2.4
5.0	2.2	2.6	2.3
6.0	2.2	2.5	2.2
8.0	2.3	2.4	2.1
10.0	2.3	2.3	2.0
12.5	2.3	2.2	1.9
15.0	2.3	2.1	1.8
20.0	2.4	2.0	1.7
30.0	2.4	1.8	1.5
50.0	2.5	1.6	1.3
80.0	2.5	1.4	1.1

$\text{pK}_2 - \text{pK}_c$ = Se obtiene sumando las concentraciones de $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}$ obtenidos en el análisis en me/L.

$\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg})$ = Se obtiene sumando las concentraciones de $\text{Ca} + \text{Mg}$ en me/L.

$\text{p}(\text{AlK})$ = Se obtiene sumando las concentraciones de $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ en me/L.

Tabla 6. Concentración de Ca (Ca_x) que se espera permanezca cerca de la superficie del agua del suelo después de un riego con agua de una relación dada HCO_3/Ca y de una CE_a dada 1,2,3.

HCO_3 Ca	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
	Salinidad del agua (CE_a) dS/m											
.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
.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
.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
.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
.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
.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.62	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
.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
.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
.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
.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
.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	1.21	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	0.58
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	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) Suarez (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_2 de 0.0007 atmósferas cerca de la superficie del suelo.

3) Ca_x , HCO_3 y Ca reportadas en me/L; CE_a en dS/m.

Tabla 7. Tolerancia de algunos cultivos a los cloruros en el extracto de saturación y en agua de riego.

Cultivo	Concentración permisible de cloruros		
	Extracto de saturación (Cl ₂)	Agua de riego (Cl ₂)	
	me/L		
	<u>Patrones</u>		
AGUACATE	Indias Occidentales	7.5	5.0
	Guatemalteco	6.0	4.0
	Mexicano	5.0	3.3
CITRICOS	Mandarina Sunki	25.0	16.6
	Toronja		
	Mandarina Cleopatra		
	Lima Rangpur		
	Tangelo		
	Limón Rugoso		
	Naranja Agría		
	Mandarina Ponkan	15.0	10.0
	Citromelo 4475		
	Naranja Trifoliada		
Naranja Dulce			
Calamondin	10.0	6.7	
UYA	Salt Greek	40.0	27.0
	Dog Ridge	30.0	20.0

Tabla 7. (Continuación)

Cultivo	Concentración permisible de cloruros		
	Extracto de saturación (Cl _e)	Agua de riego (Cl _a)	
	me/L		
FRUTALES DE HUESO	Prunus Merleanna	25.0	17.0
	Lovell, Shalil y Yunnan	10.0	6.7
		7.5	5.0
UVA	Thompson sin semilla	20.0	13.3
	Perlete	20.0	13.3
	Cardenal	10.0	6.7
	Rosa Negra	10.0	6.7
FRESA	Lassen	7.5	5.0
	Shasta	5.0	3.3

Adaptado de Meas (1984)

Algunas plantas no acumulan suficiente boro en los tejidos para ser detectado en un análisis de hojas, pero sufren daños a muy bajas concentraciones (FAO, 1985).

En la Tabla 9 se presenta la tolerancia relativa al boro por parte de algunos cultivos elaborado por Mass (1984), la cual es una recopilación de los resultados experimentales de algunas décadas en varios lugares del mundo. Recientemente, Bingham (1986), ha demostrado 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.

El efecto del boro puede atenuarse mediante el uso de técnicas del lavado del suelo, pero debe tenerse en cuenta que la remoción de boro requiere tres veces mas agua que la necesaria para remover las sales solubles.

2.4.4. Efecto del Riego por Aspersión

Se pueden presentar toxicidades debido a la presencia del sodio y cloruros en el agua de riego, los cuales pueden absorberse por las hojas. También la evaporación del agua entre rotaciones de los aspersores puede producir concentración de las sales en el agua que se deposita sobre el follejo.

La toxicidad de cultivos susceptibles al sodio o al cloro puede presentarse a concentraciones relativamente bajas (<3 me/L). La absorción y toxicidad ocurre preferiblemente en condiciones de alta temperatura y baja humedad y es agravada por el viento.

En la Tabla 10 se presenta la tolerancia relativa a las sales por algunos cultivos cuando se usa riego por aspersión (Mass, 1984).

2.5. Problemas Misceláneos

2.5.1. Alta Saturación de Magnesio (Mg^{+2})

La acumulación de Mg^{+2} 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^{+2} puede traer como consecuencia el aumento en el complejo de saturación del Mg

intercambiable del suelo (P Mg I). También suelos derivados de materiales parentales ricos en Mg, o materiales serpentínicos, son comunes en algunas áreas como el Valle del Cauca y tienen un alto contenido de Mg^{+2} intercambiable. Este tipo de suelos ha sido asociado con problemas de infiltración.

Aunque actualmente existe mucha información que soporta el punto de vista de que el Mg actúa en el suelo en forma semejante al calcio, también es cierto que muchos investigadores han encontrado que el Mg^{+2} 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 porque tiene características dispersivas. El grado de dispersión aumenta a medida que aumenta la relación Mg : Ca en el suelo.

El Mg^{+2} intercambiable puede reducir el crecimiento de las plantas debido a un efecto directo de la toxicidad. La disminución en la producción puede atribuirse a una deficiencia de calcio 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 de 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 calcio disponible en el suelo es necesaria para determinar si debe añadirse una enmienda cálcica.

2.5.2. pH

El pH para 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 (CE_s menor de 0.2 dS/m) a veces tiene un pH por fuera del rango, lo cual indica la necesidad de conocer su composición.

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.

Tabla 8. Tolerancia relativa de ciertos cultivos a la saturación de sodio intercambiable en el suelo

Sensibles PSI < 15	Semitolerantes PSI = 15-40	Tolerantes PSI > 40
Aguacate	Zanahoria	Agropiro
Frutales deciduos	Trebol Ladina	Alfalfa
Nueces	Festuca Alta	Algodón
Habichuela	Lechuga	Cebada
Algodón (germinación)	Caña de Azucar	Pasto Bermuda
Maiz	Avena	Pasto Rhoades
Arveja	Cebolla	Pasto Pará
Toronja	Rábano	Remolacha
Naranja	Arroz	Remolacha Azu-
Tangelo	Centeno	carera
Durazno	Ryegrass	
Frijol Mungo	Sorgo	
Lenteja	Espinaca	
Maní	Tomate	
Caupí	Trigo	

FAO, 1985 Adaptado de FAO-UNESCO (1973); Pearson (1960) y Abval (1982)

Tabla 9. Tolerancia relativa de algunos cultivos al boro contenido en las aguas de riego.

<u>Muy Sensibles (0.5 mg/L)</u>	<u>Moderadamente Sensibles (1.0-2.0 mg/L)</u>
Limón	Arveja
	Zanahoria
<u>Sensibles (0.5-0.75 mg/L)</u>	Rábano
Aguacate	Papa
Tomate	Pimienta
Naranja	Pepino
Ciruela	
Cereza	<u>Moderadamente Tolerantes (2-4 mg/L)</u>
Durazno	Lechuga
Alvicoque	Repollo
Higos	Apio
Uva	Nabo
Caupí	Avena
Cebolla	Maíz
Nogal	Tabaco
	Mostaza
<u>Sensibles (0.75-1.0 mg/L)</u>	Trébol
Ajo	Calabaza
Patata	
Trigo	<u>Tolerantes (4.0-6.0 mg/L)</u>
Cebada	Sorgo
Girasol	Tomate
Frijol	Alfalfa
Ajonjolí	Remolacha
Lupino	Remolacha Azucarera
Fresa	Perejil
Alcachofa	
Frijol	<u>Muy tolerantes (6.0-15.0 mg/L)</u>
Maní	Algodón
	Espárrago

Maas, E. (1984)

2.5.3. Contenido de Nitratos

Un exceso de nitratos en el agua de riego puede causar daños a los cultivos debido a que induce un sobrecrecimiento vegetativo, demorando la madurez y demeritando la calidad.

Algunos cultivos son sensibles a concentraciones de nitrógeno superiores a 5 mg/L y algunos otros toleran concentraciones superiores a 30 mg/L. La sensibilidad varía con la edad del cultivo. Así, altos niveles de nitrógeno 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 rendimientos. 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 de 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 (FAO, 1985).

2.5.4. Toxicidad de Elementos Traza

En la Tabla 11 aparecen las toxicidades máximas permisibles de elementos traza en el agua de riego y sus posibles efectos.

No todos los elementos traza son tóxicos y de hecho algunos de ellos son esenciales para el crecimiento de las 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 la FAO (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

Tabla 10. Tolerancia relativa de algunos cultivos a sales cuando se usa riego por aspersión.

Concentración de Na ⁺ o Cl ⁻ (me/L) que puede causar daño foliar*			
< 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Almendro	Vid	Alfalfa	Coliflor
Alvaricoque	Pimienta	Cebaca	Algodón
Cítricos	Papa	Maíz	Remolacha
Ciruelo	Tomate	Pepino	Girasol
		Ajonjolí	
		Sorgo	

Maas, E. (1984)

* Daño causado por acumulación directa sobre las hojas.

un peligro potencial para animales y humanos (seleniosis en vacunos por ejemplo), otras plantas sufren directamente sus toxicidades.

2.5.5. 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 puede 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 calcio y el aluminio 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 calcio y reaccionan con el aluminio y el hidróxido de calcio en el concreto (FAO, 1985). En la tabla 15 se presentan los valores límites para evaluar la agresividad de aguas y suelos al concreto.

Tabla 11. Máximas concentraciones permisibles de elementos traza en el agua de riego.

Elemento	Máxima concentración permisible (mg/L)	Observaciones
Al	5.0	Causa restricción en el crecimiento en suelos ácidos (pH 5.5).
As	0.10	Toxicidad para plantas variable, ej. 12 mg/L para Pasto Sudán , 0.05 mg/L para arroz.
Cd	0.01	Tóxico para frijoles, remolacha y nabos a concentraciones tan bajas como 0.1 mg/L en soluciones nutritivas. Debido a su acumulación potencial en plantas se recomiendan límites conservadores pues puede ser tóxicos para humanos.
Co	0.05	Tóxico para tomate en soluciones nutritivas en concentraciones de 0.1 mg/L. 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 entre 0.1 y 1.0 mg/L.
F	1.0	Se inactiva en suelos neutros y alcalinos.
Fe	5.0	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.

Tabla 11. (Continuación)

Elemento	Máxima concentración permisible (mg/L)	Observaciones
Li	2.5	Tolerable por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg/L, excepto de los cítricos para los cuales es tóxico a bajas concentraciones (< 0.075 mg/L); actúa en forma similar al boro.
Mn	0.20	Tóxico para muchos cultivos a muy bajas 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. La toxicidad se reduce en suelos alcalinos y neutros.
Pb	5.0	Puede inhibir el crecimiento celular a altas concentraciones.
Se	0.02	Concentraciones tan bajas como 0.025 mg/L pueden causar toxicidad en las plantas. En animales se puede presentar selenosis cuando se alimenta con forrajes altos en este elemento.

Tabla 11. (Continuación)

Elemento	Máxima concentración permisible (mg/L)	Observaciones
V	0.10	Tóxico para muchas plantas a concentraciones relativamente bajas.
Zn orgánicos	2.0	Es tóxico para muchas plantas a concentraciones variables. A pH 6 y en suelos se reduce su toxicidad.
Sn, Tl, W		Son excluidos efectivamente por las plantas.

Fuente FAO, 1985.

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.

Físicos Sólidos en suspensión	Químicos (Precipitación)	Biológicos (Bacterias y algas)
1- Arena 2- Limo 3- Arcilla 4- Materia orgánica	1- Carbonos de Ca o Mg 2- CaSO_4 3- Oxidos, hidróxidos carbonatos, silicatos, sulfuros de metales pesados	1- Filamentos 2- Descomposición microbial a- Fe b- S c- Mn 3- Bacteria 4- Pequeños orga- nismos acuáticos a- Huevos de caracoles b- Larvas

Adaptado por FAO (1985) Bucks et al. (1979).

Tabla 13. Influencia de la calidad del agua como peligro potencial de oclusión a sistemas de riego por goteo.

Problema Potencial	Unidades	Grado de restricción en el uso		
		Ninguno	Ligero e moderado	Severo
<u>Físico</u>				
Sólidos en suspensión	mg/L	< 50	50 - 100	> 100
<u>Químico</u>				
pH		< 7.0	7.0 - 8.0	> 8.0
Sólidos disueltos	mg/L	< 500	500 - 2000	> 2000
Magnesio	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
<u>Biológico</u>				
Poblaciones bacteriales	Número máximo/mL	< 10,000	10,000 - 50,000	> 50,000

Adeptada por FAO (1985) de Nakayama (1982).

Tabla 14. Análisis necesarios para evaluar la calidad de agua para riego por goteo.

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

FAO, 1985.

Tabla 15. Valores límites para evaluar la agresividad de aguas y suelos al concreto.

Análisis	Intensidad del ataque			
	Ninguno	Ligero	Fuerte	Muy fuerte
Agua				
pH	>6.5	6.5-5.5	5.5-4.5	<4.5
Acido carbónico disolvente de cal mg/L	<15	15-30	30-60	>60
Amonio (NH ₄), mg/L	<15	15-30	30-60	>60
Magnesio (Mg), mg/L	<100	100-300	300-1500	>1500
Sulfato (SO ₄), mg/L	<200	200-600	600-3000	>3000
Suelo				
Sulfato (SO ₄), mg/L	<2000	2000-5000		>500

Tomado de Bicsok (1972).

2.6. References

1. Agrawal, R.R. and J.S.P. Yadav. 1956. Diagnostic techniques for the saline and alkaline soils of the Indian Gangesic. *J. Soil Sci.* 7:109-121.
2. Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. *Water quality for agriculture*, FAO Irrigation and Drainage paper 29, FAO, Rome, 156 p.
3. Bingham, P.T. 1986. *Arid zone soils*. Department of Soils and Environmental Sciences. University of California, Riverside. 238 p.
4. Bower, C.A. and M. Meesland. 1963. Sodium hazard of Punjab groundwaters. In *Symposium of water logging and salinity in West Pakistan*. West Pakistan. Erg. Cong. 50:49-61.
5. Chapman, H.D. and P.F. Pratt. 1981. *Methods of analysis for soils, plants and waters*. University of California, Riverside. Division of Agricultural Sciences. 309 p.
6. Eaton, F. M. 1954. Formulas for estimating leaching and gypsum requirements of irrigation waters. *Texas Agr. Exp. Sta. Misc. Publ.* 111.
7. Ehlig, C.F. 1960. Effects of salinity in four varieties of table grapes grown in sand culture. *Proceedings, American Society of Horticulture Science*, Vol. 76, Joseph, Mich. pp. 323-331.
8. Geraldson, C.M. 1954. The control of black heart of celery. *Proceedings, American Society of Horticulture Science*, Vol. 63, Joseph, Mich. pp. 353-358.
9. Greennewagen, H. 1961. Composition of the soluble and exchangeable ions of the salty soil of the Mirral irrigation areas (New South Wales). *J. Soil Sci.* 12:129-141.

9. Groennewegen, H. 1961. Composition of the soluble and exchangeable ions of the salty soil of the Mirrol irrigation areas (New South Wales). J. Soil Sci. 12:129-141.
10. Levy, R. and E. Mohr. 1965. Soluble and exchangeable cation ratios in some soils of Israel. J. Soil Sci. 16:290-295.
11. Maas, E.V. and C.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment. Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE, vol 103, No IR 2. Proc. Paper 12993 June, 1977. p 115-134.