

CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACION AGROPECUARIA  
CORPOICA

"CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO"  
INTERPRETACION Y USO

POR: NELSON GUZMAN ROZO  
INGENIERO AGRICOLA

PROGRAMA REGIONAL AGRICOLA  
CENTRO DE INVESTIGACION CARIBIA

SEVILLA (MAGDALENA), ABRIL DE 1994

## SALINIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

El riego constituye el principal factor de salinidad y alcalinidad del suelo cuando no es manejado correctamente, haciendo improductivas muchas regiones agrícolas ricas en recurso suelo.

Toda las aguas de riego tienen un contenido mayor o menor de sales solubles que es necesario conocer, determinando la naturaleza de estas.

Las aguas de riego consideradas peligrosas, tienen un contenido actual de sales que en si mismo no es demasiado perjudicial al cultivo. Los daños se ocasionan cuando esa agua una vez en el suelo, concentra su salinidad a medida que el suelo se seca debido a la evapotranspiración, produciendo alteraciones en la solución del suelo y/o en el complejo de cambio con efectos nocivos a las plantas y el suelo.

### I. CRITERIOS DE CALIDAD

#### A. SALINIDAD EN SENTIDO RESTRINGIDO

Evalua el riesgo de que el uso del agua ocasiona altas concentraciones de sales, con el correspondiente efecto osmótico y disminución del rendimiento de los cultivos. Se evalua con los parámetros:

Conductividad eléctrica	=	CE (umho/cm)
Total de sales disueltas	=	T.S.D. (mgr/ltr)

## B. SODICIDAD

Analiza el riesgo de que se induzca un elevado PSI, con deterioro de la estructura del suelo. Se evalúa con los índices:

- . Relación de adsorción de sodio (RAS)
- . Carbonato de sodio residual (CSR)

## C. TOXICIDAD

Estudia los problemas que pueden ocasionar ciertos iones específicos como el Boro (B), Cloruros (Cl) y el mismo Sodio (Na), aunque en algunos casos se presentan toxicidades por Mg, Li y elementos traza (Fe, Cu, Al).

### ACLARACION

Un problema de toxicidad difiere de uno de salinidad porque su efecto ocurre dentro de la planta misma y no se debe a un déficit de absorción de agua (causado por la presión osmótica de la solución salina).

## II. TOMA DE MUESTRA

- El recipiente ha de ser de vidrio o plástico.
- Cantidad Mínima: 1 litro, llenando hasta el tope para remover el aire. Tapar con corcho recubierto en papel de aluminio.
- Profundidad: A medio fondo.

- En aguas corrientes no se debe tomar en remansos, remolino, etc. (lugares donde la corriente no sea la normal).
- En pozos es conveniente tomar la muestra después de un suficiente tiempo de funcionamiento (Ej: 4 horas).

### III. PARAMETROS A DETERMINAR

#### A. pH

Generalmente no es importante, pero es un buen índice de detección cuando se sospecha que son aguas contaminadas por residuos industriales.

pH normal: 6-7.5

#### B. CONTENIDO TOTAL DE SALES DISUELTAS (T.S.D.)

- Generalmente cuando T.S.D. es mayor a 1.0 gr/Ltr, se restringe su uso.
- Tiene relación con la CE y la presión osmótica de la solución del suelo (Poe)
- A mayor contenido de sales, se tiene mayor conductividad eléctrica (mmho/cm, umho/cm, ds/m).

1 mmho/cm = 1 ds/m (decisiemens/metro)

- T.S.D. (mgs/ltr) = 0.64 x CE (umho/cm)
- CE (mmho/cm) =  $\frac{\text{m.eg/Ltr.}}{12}$  (  $\Sigma$  Aniones o Cationes )
- T.S.D. (ppm) = 64 x  $\Sigma$  Cat (m.eg/Ltr)

ppm = mgr/1000 gr y tratandose de agua se puede admitir que  
 1000 gr = 1 litro, luego  
 ppm = mgr/ltr.

- Por tanto, la CE representa la concentración en sales que tiene el agua, que causan una presión osmótica (Poe) en la solución del suelo.

$$a > CEe \implies > Poe$$

Poe (atm) = 0.38 x CEe (mmho/cm), en los límites de 3 a 30 mmho/cm.

$$Po = \frac{n}{CH \text{ (b.v.)}} \times Poe$$

CEe = Conductividad eléctrica extracto saturación del suelo (mmho/cm).

Poe = Presión osmótica extracto de saturación (atm)

Po = Presión osmótica solución del suelo en humedad considerada (atm)

CH = Contenido humedad considerada del suelo (% b.v.)

n = Porosidad total del suelo (%)

### Paradoja

A mayor salinidad del agua =====> Mayor dosis de riego  
 (para lavar sales)

- Los iones considerados en el análisis son:

CACIONES : Ca<sup>++</sup> , Mg<sup>++</sup> , Na<sup>+</sup> , K<sup>+</sup>

ANIONES : Cl<sup>-</sup> , CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> , SO<sub>4</sub><sup>=</sup> , CO<sub>3</sub><sup>=</sup> , NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Los mas abundantes son  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^{-}$  y  $\text{SO}_4^{-}$

- En general, las aguas cuya CE sea menor de 750 umho/cm son satisfactorias para el riego por lo que respecta a sales, aún cuando los cultivos sensibles puedan tener leves perjuicios.
- En algunos casos agua con CE superior a 2500 umho/cm, dan buenas cosechas. "Al cultivo no le molesta tanto la concentración de sales en el agua de riego, como la acumulación de estas en la zona de raíces". Ver Figura 1 y Tablas 1 y 2.
- Para un contenido determinado de sales, la concentración será menor, cuanto mayor sea el contenido de humedad del suelo. La humedad máxima que un suelo retiene corresponde a la capacidad de campo y ésta es mayor en suelos pesados (arcillosos) que en suelos livianos (arenosos); por tanto, las presiones osmóticas de los suelos francos son inferiores a la de los suelos arenosos, para un mismo contenido de sales.
- Comparando dos estados de humedad diferente, existe la siguiente relación entre sus conductividades eléctricas:

$$\text{CEe} \times n = \text{CEcc} \times \text{CC} = \text{CEmp} \times \text{PMP}$$

$\text{CEcc}$  = Conductiv. eléct. a capacidad de campo (mmho/cm)

$\text{CEmp}$  = Conductiv. eléct. en punto de marchitez (mmho/cm)

$\text{PMP}$  = Humedad suelo en punto de marchitez (% b.v.)

$\text{CC}$  = Humedad suelo a capacidad de campo (% b.v.)

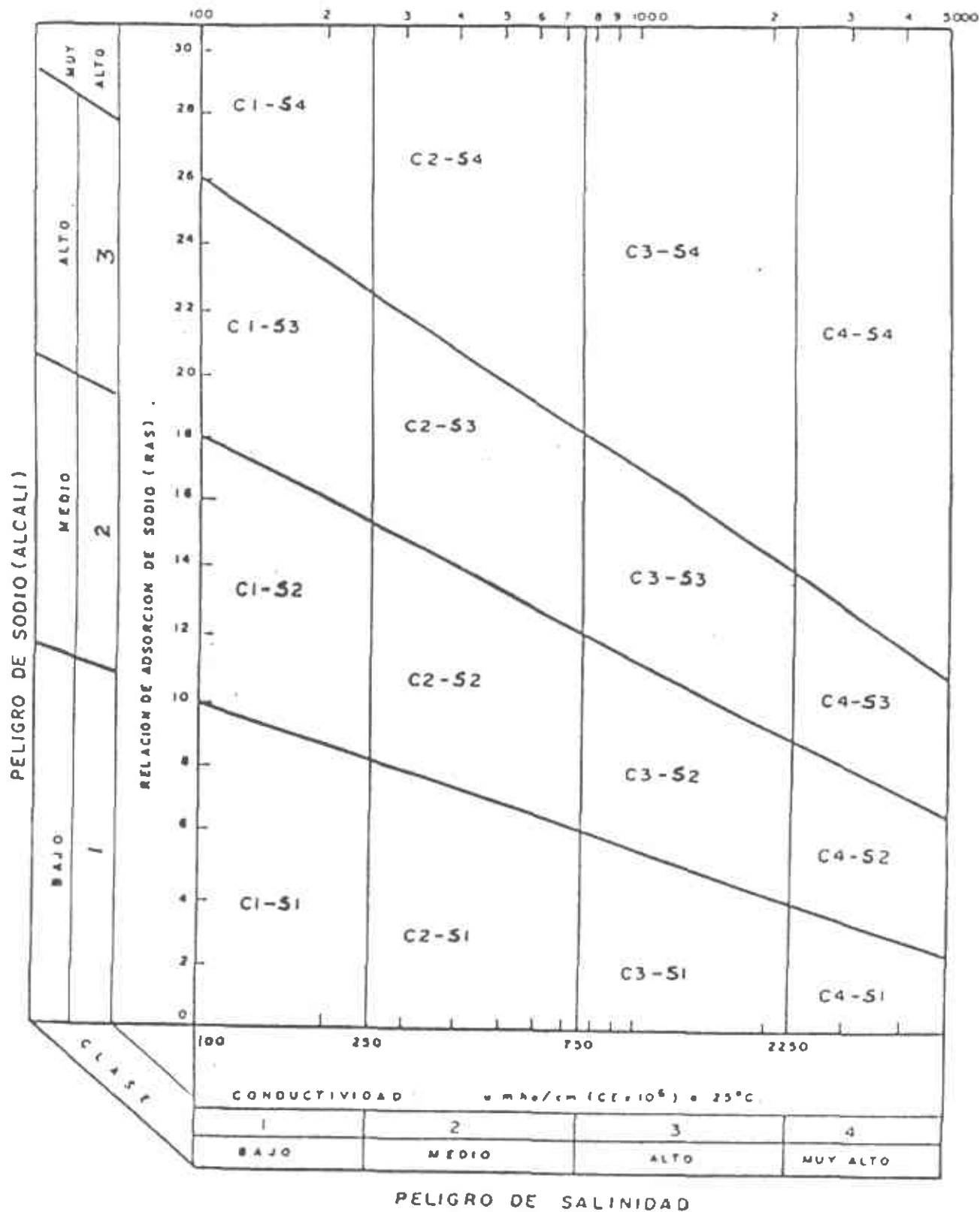


FIGURA 1. DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO  
FUENTE : RICHARDS (1954)

TABLA 1. CLASIFICACION DE AGUA DE RIEGO SEGUN RIESGO DE  
 SALINIDAD DEL SUELO (CE). NORMA RIVERSIDE

CLASIFICACION	CE a 25°C (umho/cm)	CONCENTRACION SALES (mgr/Ltr)	RIESGO SALINIDAD
- AGUA DE BAJA SALINIDAD C1	0 - 250	0 - 160	BAJO
- AGUA DE SALINIDAD MEDIA C2	250 - 750	160 - 480	MEDIO
- AGUA ALTAMENTE SALINA C3	750 - 2250	480 - 1440	ALTO
- AGUA MUY ALTAMENTE SALINA C4	> 2250	> 1440	MUY ALTO

FUENTE: PIZARRO (1990)

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES  
 AGROPECUARIAS Y ZOOTECNICAS  
 CAROLINA, GUAYAS, VENEZUELA

TABLA 2. TOLERANCIA A AGUAS SALINAS DE ALGUNOS CULTIVOS

SENSITIVOS < 1000 umho/cm.	SEMI-TOLERANTES < 1750 umho/cm.	TOLERANTES < 4000 umho/cm.
CITRICOS	MAIZ	PASTOS
AGUACATE	SORGO	ALGODON
RABANO	ARROZ	PALMERAS
LECHUGA	PAPA	RENOLACHA
ZANAHORIA	CEBOLLA	AVENA
FRIJOL	GIRASOL	ESPARRAGOS
	TRIGO	
	TONATE	
	VID	

FUENTE: AVIDAN, A. 1990

- En sentido práctico se acepta que:

$$CE_{cc} = 2CE_e = 3CE_{ar} \quad \text{No siempre se cumple}$$

$CE_{ar}$  = Conductividad eléctrica agua de riego (mmho/cm)

### C. CONTENIDO EN POTASIO

Se puede considerar el aporte de este elemento como nutriente al suelo.

### D. CONTENIDO EN CLORURO

Este ion no es adsorbible y permanece libre en la solución del suelo, moviéndose hasta las hojas donde se acumula provocando clorosis acentuadas que pueden degenerar en necrosis foliar. Se recomienda un contenido máximo de 500 ppm en aguas de riego. Se utiliza el índice Porcentaje de Cloro (PCL).

$$PCL = \frac{CL + NO_3}{CO_3 + CO_3H + SO_4 + CL + NO_3} \times 100$$

Iones en m.eq./litr. Ver Tablas 3 y 4.

### E. CONTENIDO EN SODIO

Es otro ion que causa toxicidad en los cultivos. Los síntomas son el entorchamiento de la hoja y muerte por quemazón de los tejidos, inicialmente en los bordes externos. Se reduce su toxicidad, si hay buen Ca disponible en el suelo: (aplicando yeso:  $CaCO_3$ ).

Si Na es mayor a 3.25 g/litr. puede dar lugar a toxicidad.

TABLA 3. CLASIFICACION AGUA DE RIEGO SEGUN PCL

PCL	C L A S E
0 - 4	EXCELENTE
4 - 7	BUENA
7 - 12	MEDIA
12 - 20	MALA
> 20	INUTIL

FUENTE: PIZARRO, F. 1978

TABLA 4. AGUAS DE RIEGO SEGUN CONTENIDO DE CLORUROS

CONCENTRACION (m.eq/Ltr.)	PELIGRO CLORUROS
< 2.0	GENERALMENTE SEGURO AUN CON PLANTAS SENSIBLES
2.0 - 4.0	PLANTAS SENSIBLES MOSTRARAN LIGERO A MODERADOS DAÑOS
4.0 - 8.0	PLANTAS MEDIANAMENTE TOLERANTES TENDRAN LIGEROS A MODERADOS DAÑOS
> 8.0	LIGEROS A MODERADOS DAÑOS PARA ALGUNAS PLANTAS TOLERANTES

FUENTE: BIGGAR, J. Y NIELSEN, D.R. 1975

## F. CONTENIDO EN BORO

Es constituyente de la mayoría de las aguas de riego. Para algunos autores es tóxico cuando es mayor de 0.5 ppm, no siendo aconsejable usar aguas que superen 2.5 ppm. Ver Tabla 5.

## G. INDICE DEL MAGNESIO (IMg)\*\*

Una adsorción excesiva de Mg. afecta al suelo y puede inducir deficiencias de Ca en los cultivos. Además si se encuentra en altas concentraciones en la solución del suelo, produce efectos tóxicos.

$$\text{IMg} = \frac{\text{Mg}}{\text{Ca} + \text{Mg}} \times 100 \quad \text{Cationes en m.eq/Ltr}$$

Cuando  $\text{IMg} > 50$  =====> Agua peligrosa

## H. RELACION DE ADSORCION DE SODIO (R.A.S.)\*\*

Expresa la posibilidad de que el agua provoque la sodificación del suelo.

$$\text{R.A.S.} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{1/2 (\text{Ca} + \text{Mg})}} \quad \text{Iones en m.eq/ltr}$$

El Ca ejerce una acción contraria al Na. Si el agua está provista de buen Ca, este puede dominar en el complejo de cambio y el suelo adquiere buenas características de permeabilidad; si el ion dominante es el Na, el suelo se dispersa perdiendo su estructura y adquiere malas características físicas. Ver Tabla 6.

TABLA 5. TOLERANCIA RELATIVA DE LOS CULTIVOS AL CONTENIDO DE BORO EN AGUAS DE RIEGO\*

TOLERANTES 4 - 2 ppm.	SEMITOLERANTES 2 - 1 ppm.	SENSIBLES < 1 ppm.
ESPARRAGOS	GIRASOL	NOGAL
PALMA DATILERA	PAPA	CIRUELA
REMOLACHA DE MESA	ALGODON	PERAL
GLADILOLO	TOMATE	MANZANO
HABA	RABANO	VID
CEBOLLA	OLIVO	HIGUERA
NABO	CEBADA	NISPERO
COL	TRIGO	CEREZO
LECHUGA	MAIZ	DURAZNO
ZANAHORIA	SORGO	NARANJA
	AVENA	AGUACATE
	CALABAZA	TORONJA
	PIMIENTO	LIMONERO
	FRIJOL	

\*TOLERANCIA DISMINUYE DE ARRIBA HACIA ABAJO

FUENTE: RICHAH, L.A. 1954

TABLA 6. CLASIFICACION AGUA DE RIEGO SEGUN RIESGO DE SODIFICACION DEL SUELO (R.A.S.)

CLASIFICACION	R. A. S.	
	CE = 100 umho/cm.	CE = 750 umho/cm.
- AGUA BAJO EN SODIO S1	0 - 10	0 - 6
- AGUA MEDIANA EN SODIO S2	10 - 18	6 - 12
- AGUA ALTA EN SODIO S3	18 - 26	12 - 18
- AGUA MUY ALTA EN SODIO S4	> 26	> 18

FUENTE : PIZARRO (1990)

#### I. CARBONATO DE SODIO RESIDUAL (C.S.R.)\*\*

Estima la cantidad de carbonato de Na que permanece en la solución del suelo después que el Ca y Mg han precipitado como carbonato y bicarbonato. Ver Tabla 7.

Es un compuesto tóxico para las plantas y causa modificaciones perjudiciales al suelo.

$$\text{C.S.R.} = [\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H}] - [\text{Ca} + \text{Mg}] \quad \text{iones en m.eq/ltr}$$

#### J. DUREZA

Se refiere al contenido en Ca. En general las aguas muy duras no son recomendables en suelos compactos. Se baja la dureza aireando el agua para provocar la precipitación del Ca. Ver Tabla 8.

Una forma de tratar suelos con alto Na es la aplicación de aguas duras.

$$\text{Dureza} = (2.5 \times \text{Ca} + 4.12 \times \text{Mg.})/10 \quad \text{iones en ppm.}$$

\*\* Indices calculados a partir de los datos obtenidos en el análisis de laboratorio.

#### IV. COMPROBACIONES DE LOS RESULTADOS

$$1. \quad \Sigma \text{Cationes} = \Sigma \text{Aniones}; \quad \text{iones en m.eq/ltr}$$

$$\text{Error admisible} = \pm 5\%$$

TABLA 7. CLASIFICACION AGUA DE RIEGO SEGUN C.S.R.

C.S.R. (meq/Ltr)	CLASIFICACION
$< 1.25$ ENTRE 1.25 y 2.5 $> 2.5$	RECOMENDABLE RECOMENDABLE CON RESERVAS NO RECOMENDABLE

FUENTE: PIZARRO (1990)

TABLA 8. CLASIFICACION AGUA DE RIEGO SEGUN DUREZA

TIPO DE AGUA	DUREZA
MUY DULCE	< 7
DULCE	7 - 14
MEDIANAMENTE DULCE	14 - 22
MEDIANAMENTE DURA	22 - 32
DURA	32 - 54
MUY DURA	> 54

FUENTE: CANOVAS (1980)

2. 
$$\frac{\text{CE (umho/cm)}}{\Sigma \text{Cat (m.eq/ltr)}} = 100.$$
 80 para agua con CO<sub>3</sub>H o SO<sub>4</sub>, donde el Ca y Mg son altos.  
110 para aguas con CL pero ricas en Na.

3. 
$$\text{CE (mmho/cm)} = \frac{\text{m.eq/Ltr. (} \Sigma \text{ Cat. o anión)}}{12}$$

4. T.S.D. (ppm) = 0.64 x CE (umho/cm)

T.S.D. (ppm) = 64 x  $\Sigma$  Cat (m.eq/Ltr.)

## V. NORMAS DE CLASIFICACION

### A. NORMA RIVERSIDE

- Elaborada por Richards, del Laboratorio Riverside en California.
- Considera CE y RAS.
- Es bastante estricta y a veces produce calificaciones desfavorables.
- Es la norma más utilizada.

Existen otras normas como la H. Greene y la norma Wilcox, pero no son muy usadas.

## VI. OTROS CRITERIOS PARA CALIFICAR AGUAS DE RIEGO

Además de considerar su composición química, es importante tener en cuenta otros aspectos.

### A. SOLIDOS EN SUSPENSION.

## B. TEXTURA DEL SUELO.

- Sobre el cual se va a cultivar y regar. Un agua cuyo contenido en sales es inadecuada para riego en suelo arcilloso, puede muy bien ser apta en suelo arenoso.
- Permeabilidad y capacidad de campo.
- CE del extracto de saturación.
- Grado de fertilización (fertilizantes aportan más sales).

## C. CULTIVO

- Resistencia a la Salinidad. Existe un fenómeno de adaptación ecológica de las plantas a un medio particular. Se pueden aprovechar variedades con resistencia a la salinidad en zonas áridas donde las aguas salinas son frecuentes.

## D. SISTEMA DE RIEGO

- Condiciona en cierto modo la acción del agua sobre el suelo y las plantas.
- En aspersión se considera el riesgo de obstrucción de equipos y la acción nociva del agua salina sobre las hojas de las plantas. En goteo se considera el primer aspecto anterior.

## E. CLIMA

Lavado de sales por agua lluvia.

## VII. DIFERENCIAR

1. CE Tolerada por los cultivos. Es la CE del agua de la solución del suelo, hallada en el extracto de saturación.
2. CE aceptable en aguas de riego. Es generalmente de menor valor que la anterior.
3. No confundir el RAS del agua de riego con el de la solución del suelo.

### EJEMPLO

Una CE = 3 mmho/cm. (3000 umho/cm.) del extracto de saturación es apta para la mayoría de los cultivos, exceptuando los sensibles, pero se consideraría muy alta en aguas para riego.

## VIII. CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO POR GOTEO

En múltiples ocasiones, los serios problemas en riego por goteo no obedecen a deficiencias en el diseño hidráulico, sino a la falta de un cuidadoso análisis de la fuente de agua a usar.

El agua de riego debe estar libre de sólidos suspendidos muy finos y de sólidos disueltos como Fe y Mn que pueden precipitarse ocasionando problemas de obstrucción. Ver Tabla 9.

TABLA 9. PELIGRO POTENCIAL DE OCLUSION EN RIEGO POR GOTEO

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDAD	GRADO DE RESTRICCION EN EL USO		
		NINGUNO	LIGERO A MODERADO	SEVERO
<u>FISICO</u>				
SOLIDOS EN SUSPENSION	mgr/Ltr (ppm)	< 50	50 - 100	> 100
<u>QUIMICO</u>				
pH		< 7.0	7 - 8	> 8
SOLIDOS DISUFLTOS	mgr/Ltr (ppm)	< 500	500 - 2000	> 2000
MANGANESO	mgr/Ltr (ppm)	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
HTERRO	mgr/Ltr (ppm)	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
SULFURO DE Fe	mgr/Ltr (ppm)	< 0.5	0.5 - 2.0	> 2.0
<u>BIOLOGICO</u>				
POBLACIONES BACTERIALES	No. max/mL	< 10.000	10000 - 50000	> 50000

FUENTE: FAO (1985), ADAPTACION DE NAKAYAMA (1982)

Los problemas principales que inciden en la obstrucción de equipos son:

### 1. FISICOS

Sólidos en suspensión: Arena, limo, arcilla, materia orgánica, algas y bacterias

### 2. QUIMICOS

Precipitación de:

- Carbonatos de Ca y Mg
- Sulfato de Ca
- Oxidos, hidróxidos, silicatos, sulfuros de metales pesados.

### 3. BIOLÓGICOS

Bacterias, huevos de caracol, larvas, filamentos, descomposición microbial de Fe, S y Mn.

El pH incide en las reacciones químicas sucedidas en el agua y el suelo. El pH del agua de riego determina el que varios sólidos estén o no disueltos, tales como, Fe y  $\text{CaCO}_3$ , los cuales, podrían precipitar y causar taponamientos.