

8. SUELOS SALINOS Y SODICOS Y CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO

Alonso Ramírez Velásquez^{*}

La salinidad es un problema de características relativamente importantes en los suelos Colombianos. Es conocida la existencia de zonas afectadas por sales en el Valle del Cauca, que ocupan un área superior a las 50.000 hectáreas. En el Tolima y en la Costa Atlántica se han reportado suelos afectados por sales o sodio, principalmente en los Distritos de Irrigación de los Ríos Coello y Saldaña, en el Tolima y Santa Lucía en el Atlántico.

Los nutrimentos se encuentran formando parte de sales parcialmente disueltas, que son constituyentes normales de los suelos, sin embargo, bajo condiciones especiales, puede haber exceso de sales que llegan a limitar el desarrollo vegetal. Un suelo con exceso de sales se denomina salino. A su vez un suelo con exceso de sodio (Na) se denomina sódico. El presente artículo trata de los suelos salinos y sódicos, de su adecuada caracterización y manejo y de la calidad de las aguas para irrigación y su caracterización.

8.1. GENERALIDADES.

8.1.1. Suelos Salinos.

Como ya se anotó, un suelo salino es aquel que contiene exceso de sales. Estas sales son principalmente cloruros y sulfatos de sodio, calcio y magnesio, y en menor proporción, bicarbonatos, carbonatos y nitratos; el potasio generalmente no se encuen

* Ingeniero Agrónomo, M.S. Programa de Suelos. Instituto Colombiano Agropecuario. Centro Experimental Palmira. Apartado aéreo 233. Palmira, Colombia.

tra en exceso.

Las sales provienen de descomposición de las rocas y se acumulan al ser transportadas por las aguas que las depositan en las partes bajas, mal drenadas. La presencia de un clima árido favorece su manifestación. En menor proporción, las sales pueden provenir de altas aplicaciones de fertilizantes.

La Tabla 35 muestra la escala recomendada para calificar un suelo por la salinidad de acuerdo con la conductividad eléctrica (C.E.) del extracto de saturación. Por definición, un suelo salino es aquel cuya conductividad eléctrica medida en el extracto de saturación a 25°C es mayor de 4 mmhos/cm(5).

TABLA 35. Escala de salinidad de los suelos por la conductividad eléctrica del extracto de saturación.*

	Grado de salinidad				
	No Salino		Moderada	Salino	
	Normal	Ligera		Fuerte	Muy fuerte
C.E. (mmhos/cm)	0	2	4	8	16

* Según Richards (5).

Existen varias teorías sobre los problemas fisiológicos de las plantas en suelos salinos. En primer lugar se habla sobre la disponibilidad del agua, la cual se vería limitada por los efectos osmóticos de la solución del suelo. Según esta teoría las sales solubles aumentan la succión de los solutos del agua del suelo, disminuyendo, por lo tanto, el agua disponible para las plantas. Parece que esta teoría no tiene mucha

validez dado que ha sido demostrado que las plantas pronto se adaptan a la mayor succión de la solución del suelo, permaneciendo más o menos constante el gradiente de succión entre la sabia en la planta y la solución del suelo (3).

Parece más acertada la teoría de la inhibición osmótica, de acuerdo con la cual el exceso de solutos absorbidos del medio salino es el responsable de la inhibición en el crecimiento vegetal, mediante la acción de las sales en el interior de las plantas.

Finalmente, el efecto perjudicial de la salinidad del suelo sobre las plantas puede deberse a la toxicidad específica de uno o más iones de las sales que se hallen en exceso. Los iones $\text{BO}_4^{=}$, Cl^- , Na^+ y Mg^{++} son reconocidamente tóxicos cuando se hallan presentes en exceso, pero su papel deprimente sobre el crecimiento de las plantas no ha sido muy claramente definido. Se habla de competencia o exclusión de otros elementos que serían absorbidos en menor proporción, presentándose deficiencias de ellos. (2).

8.1.2. Suelos Sódicos.

Un suelo con más de 15% de Na intercambiable es, por definición, sódico (5).

La presencia de Na en exceso confiere al suelo propiedades físicas indeseables. La superficie del suelo toma un color oscuro, frecuentemente negro, debido a las partículas dispersas de humus; las partículas de arcilla eluvian (migran) al horizonte B, que adquiere características de un incipiente clay-pan; este horizonte es muy impermeable. Estos suelos son muy difíciles de manejar, muy plásticos y pegajosos en húmedo y duros y compactos en seco (6). El suelo adquiere valores altos de pH, usualmente por encima de 8.3, aunque en ocasiones, el pH superficial es ligeramente ácido, por lixiviación de las bases, incluido el sodio, que en este caso se acumulan en el horizonte B. Cuando además del exceso de Na el suelo tiene una conductividad eléctrica superior a 4

mmhos/cm, se denomina salino-sódico (5).

8.2. CARACTERIZACION DE LOS SUELOS SALINOS Y SODICOS.

La Tabla 36 muestra las propiedades que se determinan para caracterizar convenientemente un suelo salino, sódico o salino-sódico.

TABLA 36. Análisis químico de salinidad.*

Muestra No.	pH	M.O. %	Textura	Na %	C.E. (mmhos)	Yeso %	CO ₃ ⁼ **
1	6.5	4.0	F.Ar.	2	0.3	tr.	-
2	7.1	3.8	F.A.	5	8.0	tr.	+
3	8.5	1.0	Ar.	30	2.5	0.06	+++
4	7.3	2.8	Ar.	18	4.0	Tr.	+
5	7.8	3.6	F.	4	0.5	Tr.	++

* Fuente: archivo del laboratorio de suelos, ICA-Palmira.

** Reacción al HCl 0.1 N: (-)=ninguna; (+)=ligera; (++)=moderada; (+++)=fuerte.

El grado de salinidad de un suelo se estima por la C.E. de su extracto de saturación. Una C.E. mayor de 4 mmhos/cm indica un suelo salino. El Na intercambiable sirve para definir la condición de sodio; si éste es superior al 15%, el suelo es sódico. Si ambas condiciones están presentes, el suelo es salino sódico. En la Tabla 36 se nota que el pH del suelo sódico es muy alto (8.5), y que los demás suelos, incluido el suelo No.4, que es salino-sódico, tienen un pH inferior a 8.3; esto se debe a que en presencia de exceso de sales, el sodio no se hidroliza y por consiguiente no hay producción de

oxidrilos (OH^-). Las demás columnas sirven para analizar un poco más la situación. Se notará un menor contenido de M.O. en los suelos sódicos y salino-sódicos; ésta seguramente ha sido dispersada y eluviada a los horizontes inferiores. El alto contenido de arcilla en los suelos 3 y 4 hace más difícil su condición, pues contribuye a agravar las otras propiedades físicas de estos suelos. Finalmente, la presencia de yeso y/o carbonatos permite seleccionar la práctica de recuperación más aconsejable.

8.3. CARACTERIZACION DE LAS AGUAS POR SALINIDAD.

Todas las aguas contienen sales disueltas; las aguas subterráneas más que las aguas superficiales, y entre las aguas subterráneas las hay con diferente grado de salinización. La Tabla 37 muestra un análisis de aguas con las determinaciones comunmente analizadas. Tal información contiene todos los datos que se requieren para una adecuada interpretación de una muestra de agua que se desee usar con fines agrícolas. Nos permite calificar los tres aspectos más importantes: a) su contenido de sales; b) el peligro del sodio y c) la presencia de elementos en concentración tóxica.

TABLA 37. Análisis de una muestra de agua de irrigación*

C.E. micro- mhos/cm	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	$\text{CO}_3^{=}$	HCO_3^-	Cl^-	$\text{SO}_4^{=}$	B (ppm)
	m.e./l				m.e./l				
838	3.5	2.4	3.5	0.4	0.0	3.5	0.3	5.4	0.3

* Fuente: archivo del laboratorio de suelos. ICA- Palmira.

3.3.1. Contenido de Sales.

El contenido de sales se mide por la conductividad eléctrica, expresada en micro-mhos/cm. La Tabla 38 clasifica las aguas por su contenido de sales (1).

TABLA 38. Clasificación de las aguas por su conductividad eléctrica:

C.E. x 10 ⁶ (micro-mhos/cm)	Evaluación de la Salinidad
<250	Baja
250-750	Media
750-2250	Alta
>2250	Muy alta

También pueden calcularse la salinidad efectiva y la salinidad potencial, las cuales toman en cuenta la reducción en concentración salina a medida que se precipitan los carbonatos de calcio y magnesio, y el sulfato de calcio.

La salinidad efectiva (SE) se obtiene sumando los cationes menos los carbonatos de calcio y magnesio más los sulfatos de calcio que puedan formarse y se expresa en miliequivalentes por litro.

La salinidad potencial (SP) se calcula sumando el contenido de cloruros más 1/2 del contenido de sulfatos expresados en m.e./l. La Tabla 39 clasifica las aguas de acuerdo con su SE y SP (4).

3.3.2. Peligro de Sodio.

Debido al riesgo que entraña el uso continuado de aguas cargadas de sodio se re_

quiere medir su presencia y para el efecto se consideran los siguientes parámetros:

8.3.2.1. Relación de Adsorción de Sodio (RAS).

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

TABLA 39. Clasificación de las aguas de acuerdo con su salinidad efectiva (SE) o su salinidad potencial (SP).

Clase	SE ó SP m.e. / l
Buena	<3
Condicionada	3 a 15
No recomendable	>15

Se calcula con base en el contenido de calcio, magnesio y sodio expresados en miliequivalentes por litro y se fundamenta en el hecho de que el RAS está correlacionado con el porcentaje de sodio intercambiable del suelo en equilibrio con el agua de riego (5).

En la Figura 9 se usa esta medida junto con la conductividad eléctrica para clasificar las aguas de riego (5).

3.2.2. Porcentaje de Sodio Actual

$$\% \text{ Na actual} = \frac{\text{Na} \times 100}{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)}$$

Es la proporción del sodio presente con base en la suma total de cationes (4).

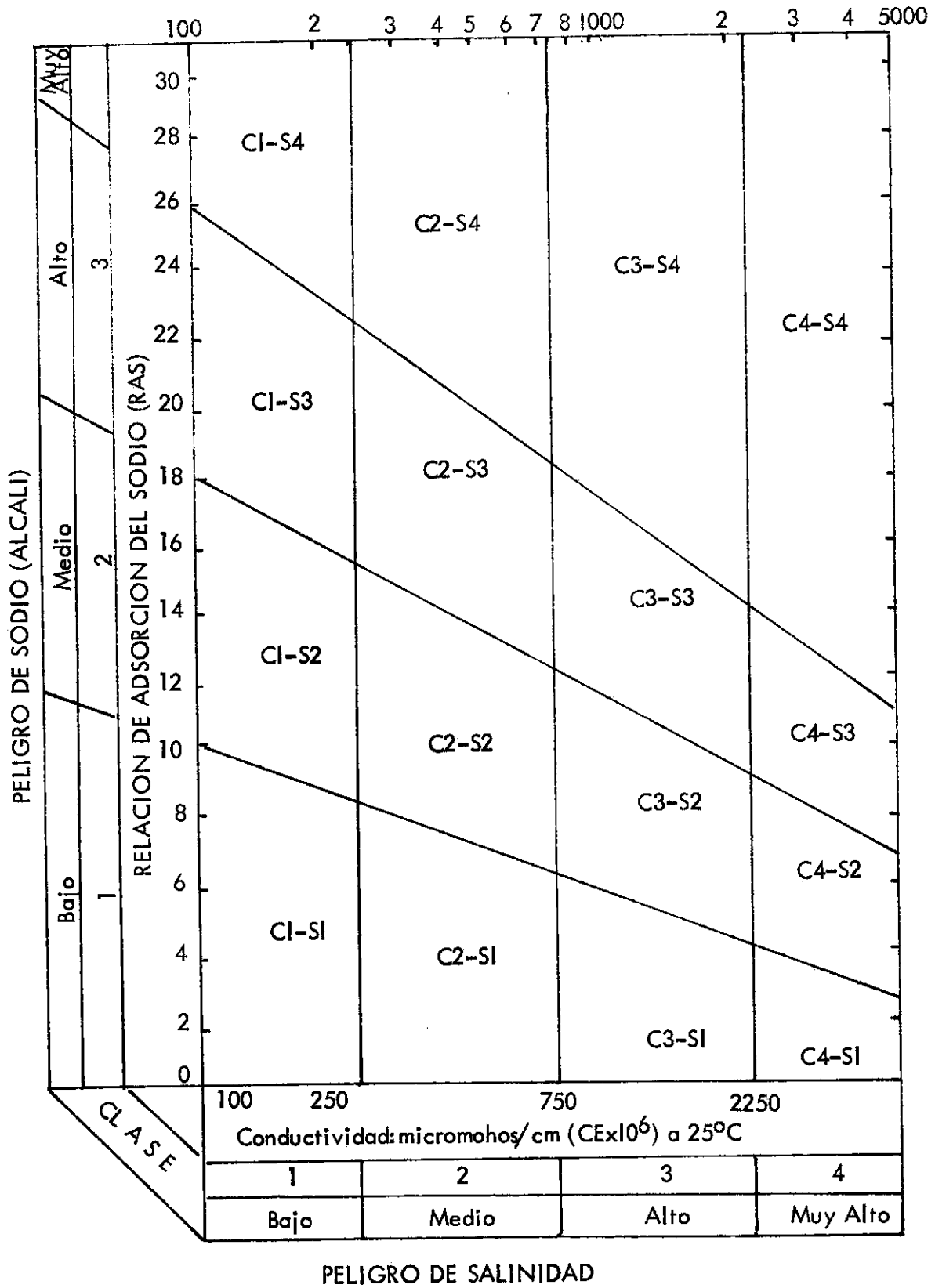


FIGURA 9. Diagrama para la clasificación de las aguas de riego. Tomada de Richards (5).

6.3.2.3. Porcentaje de Sodio Posible.

$$\% \text{ Na posible} = \frac{\text{Na} + 100}{\text{SE}}$$

Es la proporción de sodio que resultaría una vez precipitados los carbonatos de calcio y magnesio y el sulfato de calcio, los que al precipitarse aumentan relativamente la proporción del sodio sobre los demás cationes. Valores por encima de 50 no son recomendables (4).

6.3.2.4. Carbonato de Sodio Residual (C.S.R.)

$$\text{C.S.R.} = (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$$

Es otra medida muy usada, por su relación con el incremento relativo en los carbonatos y bicarbonatos de sodio, al precipitarse los compuestos de calcio y magnesio menos solubles. Los carbonatos y bicarbonatos de sodio se hidrolizan fácilmente con elevación del pH del suelo en contacto con el agua.

La Tabla 40 clasifica las aguas por su C.S.R. (4).

TABLA 40. Clasificación de las aguas de acuerdo con el carbonato de sodio residual (C.S.R.) (4).

Clasificación	C.S.R. m.e./ l
Buena	< 1.25
Condicionada	1.15 a 2.50
No recomendable	> 2.50

6.3.3. Presencia de Concentraciones Tóxicas de Cloro y Boro.

6.3.3.1. Contenido de Cloro. Los cloruros en elevadas concentraciones son tóxicos, especialmente para algunos cultivos. La Tabla 41 presenta los valores límites para evaluar un agua por su contenido de cloro.

TABLA 41. Clasificación de las Aguas por Cloruros (4).

Clasificación	Cl-(m.e./l)
Buena	< 1.0
Condicionada	1.0 - 5.0
No recomendable	> 5.0

6.3.3.2. Contenido de Boro. El boro es muy tóxico para las plantas aun a muy baja concentración. La Tabla 42 presenta los valores límites para su clasificación.

TABLA 42. Clasificación de las aguas de acuerdo con su contenido de boro (4).

Clasificación	B (ppm)
Buena	< 0.30
Condionada	0.30 - 4.0
No recomendable	> 4.0

8.4. RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS Y SÓDICOS

Todo plan de recuperación de un suelo salino requiere de los siguientes estudios bá
sicos:

8.4.1. Diagnóstico del Problema

8.4.1.1. Aspecto Externo. Es un reconocimiento visual de la zona en estudio para de
tectar la presencia de plantas indicadoras y otros signos característicos de áreas afec
tadas por problemas salinos, tales como presencia de costras o parches de color blanquece
no o negro. Los parches blancos corresponden a calvas salinas, los parches de color negro son calvas sódicas.

8.4.1.2. Registros de Producción. Las producciones obtenidas se comparan con los registros para suelos normales.

8.4.1.3. Registros climáticos. Debe disponerse de adecuada información meteorológica que permita consultar los siguientes aspectos: precipitación, evaporación, temperatura, humedad relativa y radiación solar (luminosidad).

8.4.1.4. Estudios Preliminares.

1. Mapa topográfico con indicación del nivel freático.
2. Estudio de suelos. Se requiere un reconocimiento detallado de suelos, a ni
vel de fases, con estudios físicos que incluyan las determinaciones de con
ductividad hidráulica y densidad aparente de cada horizonte.
3. Muestreo. Para el muestreo del suelo pueden utilizarse varias técnicas. Una consiste en un muestreo sistemático a cuadrícula, a distancias convenciona

les, de toda una zona que permite zonificar las áreas más afectadas. También puede utilizarse el muestreo por parches que requiere más experiencia del técnico y consiste en seleccionar sitios claves para la toma de muestras. La muestra se toma en la posible de acuerdo con el perfil genético o a profundidades sistematizadas (0-25; 25-50; 50-100; 100-150 cm) que tienen la ventaja de que al tomarse nuevas muestras permiten una comparación más fácil de los cambios efectuados por el manejo. Las costras se muestrean por separado.

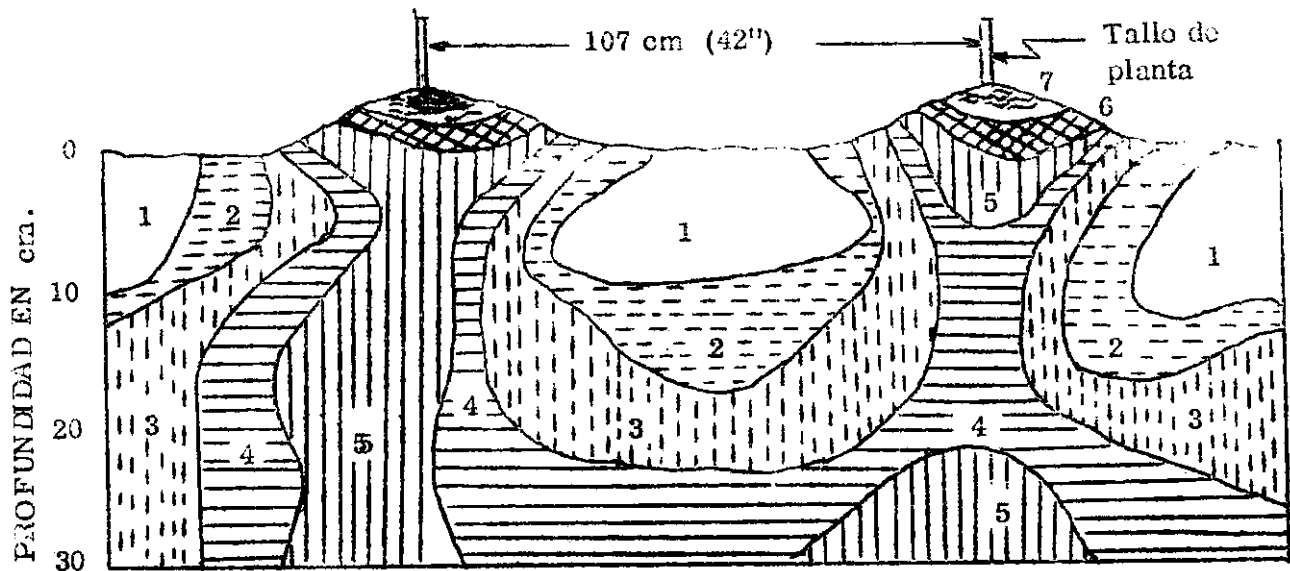
Toda fuente de agua debe muestrearse periódicamente tanto a la entrada como a la salida de cada lote; el agua freática y el agua de drenaje debe muestrearse con mayor frecuencia.

8.4.2. Prácticas de Recuperación.

8.4.2.1. En primer lugar debe darse una adecuada interpretación a la información disponible discutida anteriormente. Todo plan a ejecutar depende de la correcta utilización de esta información.

8.4.2.2. Elaboración de un mapa índice de la situación. Tanto la situación existente, como las labores a ejecutar deben ir consignadas en mapas índices, a una escala conveniente, que ilustren en forma detallada todo cambio presentado.

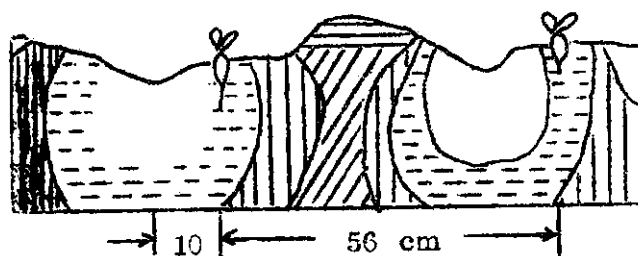
8.4.2.3. Lavados. Los suelos salinos se recuperan con la apertura de drenajes y el uso de agua de buena calidad. En la Figura 10 se muestran las zonas de máxima acumulación salina en una siembra de algodón regado por surcos con agua de salinidad media. En la Figura 11 se aprecia una siembra de remolacha en la cual se escoge una mejor colocación para aprovechar la menor concentración salina al fondo del



CONDUCTIVIDAD DEL EXTRACTO DE SUELO SATURADO (mmhos/cm)

1 menos de 1.0	3 2.0 a 5.0	5 6.0 a 10.7	7 más de 50.0
2 1.1 a 2.1	4 5.0 a 6.0	6 10. a 50	

FIGURA 10. Distribución de la sal cuando el algodón se regó por surcos. Suelo inicialmente salinizado hasta un 0.2 por ciento de sal e irrigado con agua de salinidad media. (Tomada de Richards(5)).



CONCENTRACIONES RELATIVAS DE SALES

Muy baja	Moderadamente alta
Baja	Alta
Moderada	Muy alta

FIGURA 11. Concentración de sales en la zona cercana a las plantas de remolacha con relación a su posición en el surco. (Tomada de Richards(5)).

surco. En regiones de baja precipitación y alta evaporación se aconseja el empleo de mulches o capas de material inerte (residuos de cosecha, tamo de arroz, etc) colocados sobre la superficie para reducir la evaporación.

La cantidad o profundidad del agua aplicada, así como su calidad, influyen directamente en la salinidad. Supongamos que en cada irrigación solo aplicamos suficiente agua para reemplazar el uso consuntivo, es decir el agua tomada por la planta o perdida por evaporación; cada irrigación introducirá una cantidad adicional de sal igual al contenido de sal del agua aplicada. Se requiere por lo tanto aplicar un exceso de agua que permita bajar las sales a una profundidad no perjudicial. Este exceso de agua sobre el uso consuntivo, se llama lavado requerido y se calcula dividiendo la salinidad del agua de irrigación por la salinidad a la que se obtendrá un 50% de descenso en la producción, para el cultivo en cuestión, multiplicando por 100 (I).

$$L.R. = \frac{CE_{ai} \times 100 (\%)}{CE_{es\ 50}}$$

LR= Lavado requerido (%)

CE_{ai}= Conductividad eléctrica del agua de irrigación (mmhos/cm).

CE_{es 50}= Conductividad eléctrica del extracto aceptada por el cultivo para una reducción del 50% en la producción. Este valor se toma de tablas para el cultivo en mención (Ver Tabla 43).

8.4.2.4. Empleo de Enmiendas

Cuando el suelo es sódico o salino-sódico, la recuperación es más difícil. El Na no se desplaza tan fácilmente como las sales; en el caso de un suelo salino-sódico, al lavar las sales, el suelo se dispersa, se impermeabiliza y adquiere las características adversas de los suelos sódicos. Para complicar más las cosas los suelos sódicos

generalmente son de texturas pesadas y poseen una permeabilidad muy lenta. Se requiere pues bajar el Na y mejorar la permeabilidad.

TABLA 43. Conductividad eléctrica asociadas con reducción del 50% en los rendimientos de algunos cultivos*

Cultivo	CE x 10 ³ (milimhos/cm)**
Cebada	18
Algodón	16
Alfalfa	8-9
Trigo	14
Avena	9
Sorgo	12
Soya	11
Plátano	8-10
Caña de Azúcar	8
Tomate	8
Arroz	8
Ajonjolí	6
Maní	6
Maíz	7
Habas	6
Repollo	7
Papas	6
Yuca	6
Melón	6
Cebolla	4
Zanahora	4
Cítricos	3-4

* Tomada de Richards (5)

** Conductividad eléctrica del Extracto de Saturación.

Si el suelo contiene yeso o carbonato de calcio en cantidad adecuada, el calcio presente es a veces suficiente para desplazar el sodio; con drenajes y agua en abundancia

cia se recuperan estos suelos. Este es el caso de suelos del Valle del Cauca, los cuales se han podido recuperar a base de drenajes 1/.

Suelos bajos en carbonatos de calcio y yeso, requieren la adición de mejoradores para desplazar el sodio presente. La Tabla 44 contiene las cantidades de yeso o azufre necesarias para substituir las cantidades de sodio intercambiable indicadas.

TABLA 44. Cantidades de yeso o azufre necesarias para substituir, teóricamente, las cantidades indicadas de sodio intercambiable (6).

Sodio intercambiable (m.e./ 100 g suelo)	Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) t/Ha- 15 cm	Azufre t/Ha - 15 cm *
1	1.7	0.32
2	3.4	0.64
3	5.2	0.96
4	6.9	1.28
5	8.6	1.60
6	10.3	1.92
7	12.0	2.24
8	13.7	2.56
9	15.5	2.88
10	17.2	3.20

* 2.000.000 kg de suelo/Ha

En la Tabla 45 se incluyen las toneladas equivalentes a una tonelada de azufre para otros mejoradores. Estas enmiendas deben incorporarse completamente. En el caso de azufre después de aplicado se debe mantener el suelo a capacidad de campo por lo menos 30 días para su oxidación biológica. Después de incorporado y oxidado el azufre u otro mejorador, debe inundarse el suelo una o más veces para permitir el

1/ Estudios no publicados de la C.V.C.

lavado del sodio desplazado. La siembra de arroz en esta etapa de recuperación es aconsejable. No debe olvidarse que todas estas medidas de recuperación deben ir acompañadas de una buena fertilización. Las aplicaciones de zinc y boro han dado buen resultado en los suelos del CIAT en Palmira, pero cualquier otro elemento puede ser limitante y debe estudiarse e incluirse en el plan propuesto.

TABLA 45. Toneladas de diferentes enmiendas equivalentes a una tonelada de azufre (6).

Enmienda	t/Ha de Azufre
Azufre	1
Polisulfuro de calcio(24% S)	4.17
Acido sulfúrico	3.06
Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	5.38
Sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	6.69
Sulfato de aluminio $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	6.94
Caliza (CaCO_3)	3.13

8.5. BIBLIOGRAFIA

1. ALLISON, L.E. 1969. La salinidad y su relación con el riego. Reimpreso de Adelantos en Agronomía. Academic Press, Inc. New York.
2. BLACK, C.A. 1975. Relaciones sobre suelo-planta. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. 1a. Edición.
3. MENDOZA M, A. 1971. La salinidad y alcalinidad de los suelos. Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones de fertilizantes. ICA, Bogotá.
4. PALACIOS, V.O. y E. ACEVES. 1970. Instructivo para el muestreo, Registro de Datos e interpretación de la calidad del agua para riego Agrícola. Chapingo, México.
5. RICHARDS, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Agric. Handbook. 60. U.S. Salinity Laboratory Staff. Washington, D.C.
6. RUSSELL, E.W. 1961. Soil conditions and Plant growth. John Willey & Sons. New York, N.Y. 9th. Edition.