

5. SUELOS SALINOS Y SÓDICOS Y CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO

Alonso Ramírez Veíasquez *

5.1. INTRODUCCION

La salinidad es un problema de características relativamente importantes en los suelos colombianos. Se sabe que existen zonas afectadas por sales que ocupan un área superior a las 50.000 hectáreas en el Valle del Cauca. 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 en Santa Lucía, en el Atlántico.

Los nutrimentos se encuentran formando parte de sales parcialmente disueltas, las cuales son constituyentes normales de los suelos; sin embargo, bajo condiciones especiales, puede haber un exceso de sales tal, que se limite 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 capítulo trata de los suelos salinos y sódicos, de su adecuada caracterización y manejo, de la calidad de las aguas para irrigación y de su caracterización.

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

5.2. GENERALIDADES

5.2.1. Suelos Salinos.

Como ya se anotó, un suelo salino es aquél que contiene exceso de sales.

Estas sales son principalmente cloruros y sulfatos de sodio, calcio y magnesio, y en menor proporción, bicarbonatos y nitratos; el potasio generalmente no se encuentra en exceso.

Las sales provienen de la descomposición de las rocas y se acumulan al ser transportadas por las aguas y depositadas 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 5.1 muestra la escala recomendada para calificar un suelo por su salinidad, de acuerdo con la conductividad eléctrica (C.E.) del extracto de saturación. Por definición, un suelo salino es aquél cuya conductividad eléctrica, medida en el extracto de saturación a 25°C, es mayor de 4 mmhos/cm (5).

Existen varias teorías sobre los problemas fisiológicos de las plantas en suelos salinos. En primer lugar se habla de 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. Pa-

TABLA 5.1. Escala de salinidad de los suelos por la conductividad eléctrica del extracto de saturación. Según Richards (5).

	Grado de Salinidad				
	No Salino		moderada	Salino	
	normal	ligera		fuerte	muy fuerte
C.E. (mmhos/cm)	0	2	4	8	16

rece 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 mas o menos constante el gradiente de succión entre la savia en la planta y en 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 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 (2).

5.2.2. Suelos Sódicos.

Un suelo con más de 15% de Na intercambiable es, por definición, sódico (2). 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. Los suelos sódicos 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).

5.3. CARACTERIZACION DE LOS SUELOS SALINOS Y SODICOS

La Tabla 5.2 muestra las propiedades que se determinan para caracterizar convenientemente un suelo y catalogarlo como salino, sódico, salino-sódico o "normal".

TABLA 5.2. Análisis químico de suelos con características contrastantes.
Tomado del Archivo del Laboratorio de Suelos, ICA, Palmira.

Muestra No.	pH	M.O. %	Textura	Na %	C.E. (mmhos)	Yeso %	CO ₃ ⁼ **S
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.	+++

** 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 5.2 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 caracterizar mejor la situación. Se notará un menor contenido de M.O. en los

suelos sódicos y salino-sódicos; ésta seguramente se ha dispersado y eluviado a los horizontes inferiores. El alto contenido de arcilla en los suelos 3 y 4 hace más crítica su condición, pues contribuye a agravar las precarias condiciones físicas de estos suelos. Finalmente, la presencia de yeso y/o carbonatos permite seleccionar la práctica de recuperación más aconsejable.

5.4. CARACTERIZACION DE LAS AGUAS POR SALINIDAD

Todas las aguas contienen sales disueltas; las aguas subterráneas más que las aguas superficiales y hay aguas subterráneas con diferente grado de salinización. La Tabla 5.3 muestra un análisis de aguas con las determinaciones comúnmente realizadas. 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 saber: (1) su contenido de sales; (2) el peligro del sodio y (3) la presencia de elementos en concentración tóxica.

TABLA 5.3. Análisis de una muestra de agua para irrigación. Tomada del archivo del Laboratorio de Suelos, ICA, Palmira.

C.E. micro- mhos/cm	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	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

5.4.1. Contenido de Sales.

El contenido de sales se mide por la conductividad eléctrica, expresada en micro-mhos/cm. La Tabla 5.4 clasifica las aguas por su contenido de sales (1).

TABLA 5.4. Clasificación de las aguas por su conductividad eléctrica. Tomada de Allison (1).

C.E. x 10 ⁶ (micromhos/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 y restándoles 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 mas la mitad del contenido de sulfatos, expresadas en m.e./l. La Tabla 5.5 clasifica las aguas de acuerdo con su SE y SP (4).

TABLA 5.5. Clasificación de las aguas de acuerdo con su salinidad efectiva (SE) o su salinidad potencial (SP). Tomada de Palacios y Aceves (4).

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

5.4.2. Peligro del Sodio.

Debido al riesgo que entraña el uso continuado de aguas cargadas de sodio se requiere medir su presencia y para el efecto se consideran los siguientes parámetros:

1. Relación de Adsorción de Sodio (RAS).

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

Se calcula con base en el contenido de calcio, magnesio y sodio expresado 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 5.1 se usa esta medida junto con la conductividad eléctrica para clasificar las aguas de riego (5).

.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).

.3. Porcentaje de Sodio Posible.

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

Es la proporción del sodio que resultaría una vez precipitados los carbonatos de calcio y magnesio y el sulfato de calcio, lo que aumenta relativamente la proporción del sodio sobre los demás cationes. No son recomendables valores por encima de 50 (4).

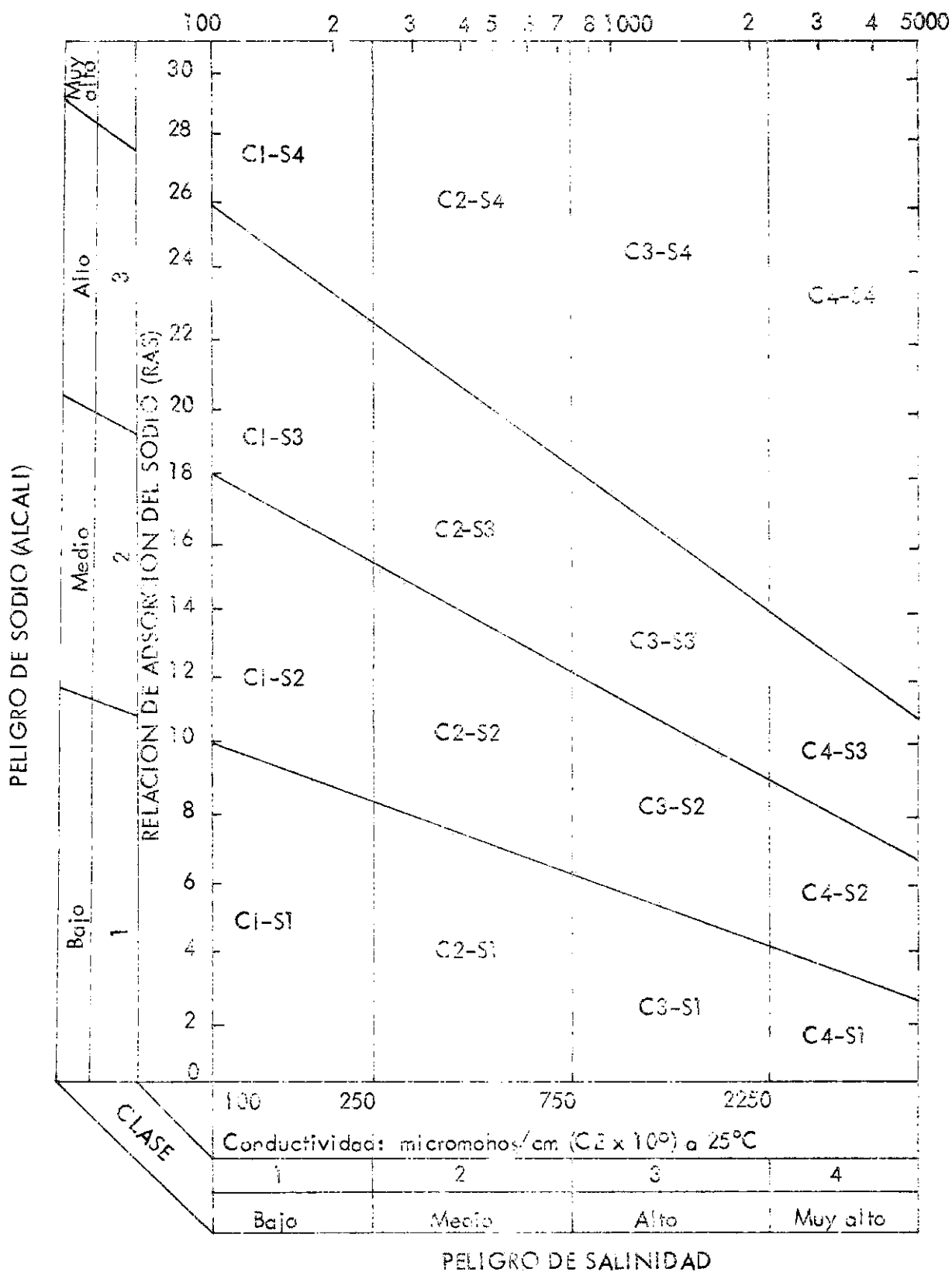


FIGURA 5.1. Diagrama para la clasificación de las aguas de riego. Tomada de Richards (5).

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 del sodio al precipitarse los carbonatos de calcio y magnesio menos solubles.

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio resultantes se hidrolizan fácilmente con elevación del pH del suelo en contacto con el agua.

La Tabla 5.6 clasifica las aguas por su C.S.R. (4).

TABLA 5.6. Clasificación de las aguas de acuerdo con el carbonato de sodio residual (C.S.R.). Tomada de Palacios y Aceves (4).

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

5.4.3. Presencia de Concentraciones Tóxicas de Cloro y Boro.

1. Contenido de Cloro. Los cloruros en elevadas concentraciones son tóxicos, especialmente para algunos cultivos. La Tabla 5.7 presenta los valores límite para evaluar un agua por su contenido de cloro.

TABLA 5.7. Clasificación de las aguas por su contenido de cloruros. Tomada de Palacios y Aceves (4).

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

.2. Contenido de Boro. El boro es muy tóxico para las plantas aún a muy baja concentración. La Tabla 5.8 presenta los valores límites para su clasificación.

TABLA 5.8. Clasificación de las aguas de acuerdo con su contenido de boro. Tomada de Palacios y Aceves (4).

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

5.5. RECUPERACION DE LOS SUELOS SALINOS Y SODICOS

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

5.5.1. Diagnóstico del Problema.

.1. Aspecto Externo. Es un reconocimiento visual de la zona en estudio para detectar la presencia de plantas indicadoras y otros signos característicos, tales como presencia de costras o parches de color blanquecino o negro. Los parches blancos corresponden a calvas salinas, los parches de color negro son calvas sódicas.

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

.3. Registros Climáticos. Debe disponerse de adecuada información meteorológica sobre los siguientes aspectos: precipitación, evaporación, temperatura, humedad relativa y radiación solar (luminosidad).

.4. Estudios Preliminares.

- Mapa topográfico con indicación del nivel freático.
- Estudio de suelos. Se requiere un reconocimiento detallado de suelos, a nivel de fases, con estudios físicos que incluyan las determinaciones de conductividad hidráulica y densidad aparente de cada horizonte.

- Muestreo. Para el muestreo del suelo pueden utilizarse varias técnicas. Una consiste en un muestreo sistemático o cuadrícula, a distancias convencionales, de toda una zona, lo 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 lo posible de acuerdo con el perfil genético o a profundidades sistematizadas (0-25; 25-50; 50-100; 100-150 cm), con la ventaja de que al tomarse nuevas muestras se permite una comparación más fácil de los cambios efectuados por el manejo. Las costras se muestrean por separado.

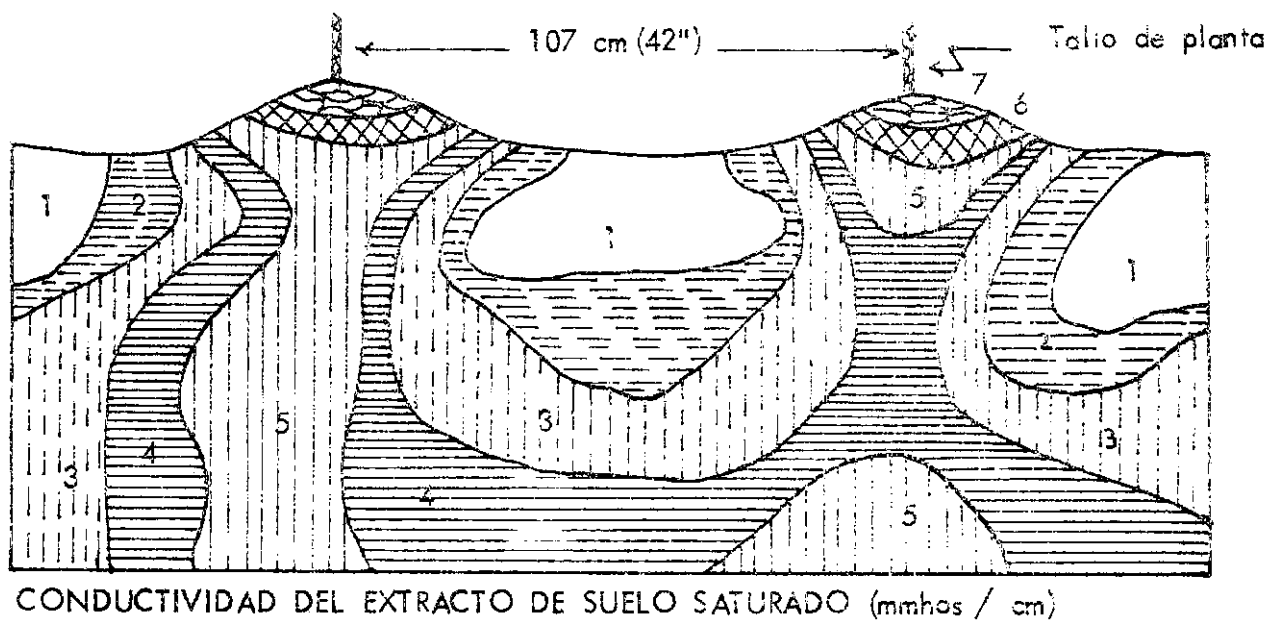
Toda fuente de agua debe muestrearse periódicamente tanto a la entrada como a la salida de cada lote; el agua freática y el agua de drenaje deben muestrearse con mayor frecuencia.

5.5.2. Prácticas de Recuperación.

.1. Interpretación de la Información. En primer lugar debe darse una adecuada interpretación a la información disponible discutida anteriormente.

.2. Elaboración de un Mapa Índice de la Situación. Tanto la situación existente como las labores por ejecutar deben ir consignadas en mapas índices, a una escala conveniente, que ilustren en forma detallada todo cambio presentado.

.3. Lavados. Los suelos salinos se recuperan con la apertura de canales y el uso de agua de buena calidad. En la Figura 5.2 se muestran las zonas de máxima acumulación salina en una siembra de algodón regada por surcos, con agua de salinidad media. En la Figura 5.3 se aprecia una siembra de remolacha en la cual se escoge una mejor colocación para aprovechar la menor concentración salina al fondo del 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.



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

FIGURA 5.1. Distribución de la sal cuando el algodón se riega por surcos. Suelo inicialmente salinizado hasta un 0.2 por ciento de sal e irrigado con agua de salinidad media. Tomada de Richards (5).

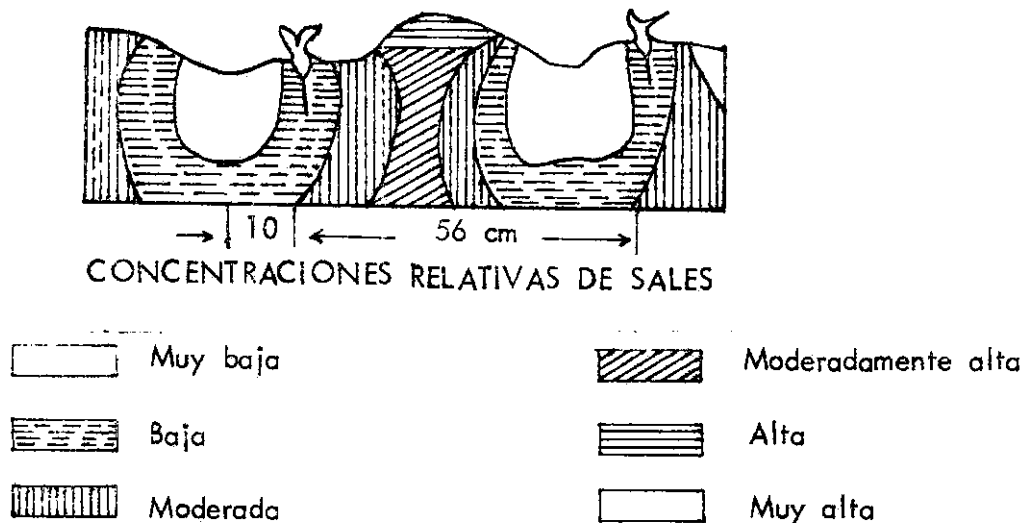


FIGURA 5.3. Concentración de sales en la zona cercana a las plantas de remolacha con relación a su posición en el surco. Tomada de Richards (5).

La cantidad o profundidad del agua aplicada así como su calidad influyen directamente en la salinidad. Supongamos que en cada irrigación sólo 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 (L.R.) 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, multiplicado por 100 (1).

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

- 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 5.9).

.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 textura pesada y poseen una permeabilidad muy lenta. Se requiere pues bajar el Na y mejorar la permeabilidad.

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 se recuperan estos suelos. Este es el caso de suelos del Valle del Cauca, los cuales se han podido recuperar a base de drenaje*.

Suelos bajos en carbonatos de calcio y yeso, requieren la adición de mejoradores para desplazar el sodio presente. La Tabla 5.10 contiene las cantidades de yeso o azufre necesarias para substituir las cantidades de sodio intercambiable indicadas.

* Estudios no publicados de la C.V.C.

TABLA 5.9. Conductividad eléctrica asociada con reducción del 50% en los rendimientos de algunos cultivos. Tomada de Richards (5).

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

* Conductividad eléctrica del Extracto de Saturación.

TABLA 5.10. Cantidades de yeso o azufre necesarias para substituir, teóricamente, las cantidades indicadas de sodio intercambiable. Tomada de Russell (6).

Sodio intercambiable (meq/ 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 5.11 se incluyen las toneladas equivalentes a una tonelada de azufre para otros mejoradores. Estas enmiendas deben incorporarse completamente. En el caso del azufre, después de aplicado, se debe mantener el suelo a capacidad de campo por 60 días para su oxidación biológica. Después de incorporado y oxidado el azufre u otro mejorador debe inundarse el

TABLA 5.11. Toneladas de diferentes enmiendas equivalentes a una tonelada de azufre. Tomado de Russell (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 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8,69
Sulfato de aluminio $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	6,94
Caliza (CaCO_3)	3,13

suelo para permitir el 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 de CIAI en Palmita, pero cualquier otro elemento puede ser limitante y debe estudiarse e incluirse en el plan propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALLISON, L.E. La salinidad y su relación con el riego. New York, Academic Press, 1969. Reimpreso de *Advances in Agronomy*.
2. BLACK, C.A. Relaciones sobre suelo-planta. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1975. 866 p.
3. MENDOZA, M., A. La salinidad y alcalinidad de los suelos. En: Instituto Colombiano Agropecuario. Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones de fertilizantes. Bogotá, 1971. (Mimeo).
4. PALACIOS, V.O.; ACEVES, E. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Chapingo, 1970.
5. RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Washington, U.S. Salinity Laboratory Staff. *Agricultural Handbook* no. 60. 1954.
6. RUSSELL, E.W. Soil conditions and Plant growth. New York, John Wiley, 1961.