

## **XII SALINIDAD DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS**

### ***12.1. Panorama general de la salinidad.***

Las estadísticas mundiales indican que anualmente se explotan 14 billones de hectáreas de suelos agrícolas, de las cuales solo el 15 por ciento recibe riego, pero de esta superficie se obtiene del 30 al 40 por ciento de la producción de alimento.

La superficie mundial de suelos agrícolas en un 26% se encuentra afectada por exceso de iones sodio, 20% por iones distintos a sodio, 26% bajo la influencia de inundaciones y 11% están afectados por la sequía. De modo que solo el 10% está formado por suelos libres de estrés.

La superficie agrícola de riego en un 10% esta afectada por sales y se registra que anualmente 10 millones de hectáreas se dejan de sembrar y otros tantos dan lugar a bajos rendimientos debido a los problemas de salinidad.

Se estima que una tercera parte de los suelos agrícolas en zonas áridas y semiáridas reflejan algún grado de acumulación de sales.

En México se estima que existen 6 millones de hectáreas bajo riego, de las cuales casi la mitad están incorporada en los 80 Distritos de Riego, y el resto en 30,000 unidades de riego.

El problema de suelos agrícolas afectados por sales en México se ha dividido en cinco regiones: En la región Noroeste de 1454390 ha, 287,608 que corresponden al 20% están afectadas por sales; Región Centro Norte 16.6%; Noreste y Lerma-Balsas 12% cada una, y la región Sureste con 6.6%. Esto da un total de 470,320 ha afectadas por salinidad, según De la Peña en 1996.

En la región Noroeste la península de Baja California tiene el mayor problema de salinidad en sus suelos con un 45.3%, seguido por Sinaloa 17.1%, Sonora 13% y Nayarit 0.2%.

En el sur de Sonora, Distrito de Riego 038, Río Mayo, comprende 96,857 ha de las cuales 11,164 ha son suelos salinos; 7,649 ha suelos salino-sódicos y 136 ha suelos sódicos. Aproximadamente el 20% de la superficie agrícola tiene algún grado de salinidad.

Los módulos 1, 5 y 6 del Distrito de Riego 038, Río Mayo, localizados en el sur del Distrito y cerca de la costa son los más afectados pues el 54% de los suelos salinos y el 68% de los salino-sódicos se encuentran aquí y esto tiene importancia socioeconómica pues representan estos módulos el 22% de la superficie agrícola y el 25% de los usuarios del Distrito 038.

Las causas y consecuencias técnicas de la salinidad son muy similares en cualquier región agrícola del mundo por lo que las estrategias generales son de aplicación universal y el manejo específico estará condicionado por las condiciones del lugar.

## **12.2. Causas de la salinidad.**

La principal causa de la salinidad es el ambiente árido y semiárido que con la alta demanda evaporativa fomenta la acumulación de sales en la zona radical de los cultivos y que la precipitación anual es insuficiente para eliminarlas por arrastre superficial o lavado.

La eliminación de sales por lavado se ve muy limitada con drenaje interno del suelo deteriorado y manto freático superficial.

La cercanía de la costa y la altura sobre el nivel del mar son fuentes primarias de salinidad. Se menciona que la brisa marina puede influir 50 a 150 Km de la costa variando con la distancia la relación  $\text{Cl}^-$  a  $\text{Na}^+$ . Mientras que el  $\text{K}^+$  generalmente es de origen terrestre la deposición de  $\text{Mg}^{++}$  es de origen marítimo. Se considera que  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  se incrementan con la distancia de la costa al interior del continente.

La intemperización de los minerales del suelo y la existencia de sales fósiles también son causas primarias de salinidad que se agudizan en condiciones heterogéneas de microtopografía y las propiedades fisicoquímicas del perfil del suelo, donde textura, estructura, porosidad, permeabilidad, capacidad de retención de humedad y de intercambio catiónico juegan un papel muy importante.

La calidad del agua de riego agrícola y el manejo agronómico de los cultivos son dos factores de salinidad de los suelos, susceptibles de control para conservar y mejorar el potencial productivo de los suelos afectados por sales.

### **12.3. Consecuencias técnicas:**

Los efectos adversos de las sales para las plantas se agrupan en tres categorías: la mayor importancia es el efecto osmótico, el cual limita la habilidad de la planta para absorber agua y nutrimentos de la solución del suelo para su proceso de crecimiento. La segunda categoría involucra el efecto de iones específicos, o la toxicidad de iones específicos a varios procesos fisiológicos de la planta. En la tercera categoría se ubica el efecto secundario del ión sodio sobre las propiedades físicas del suelo. El exceso de sodio intercambiable provoca el hinchamiento y/o dispersión del suelo, dificultando la infiltración del agua, la penetración de las raíces y la respiración de estas últimas.

Cabe aclarar que la respuesta vegetal al grado y tipo de salinidad es diferente, y que la sensibilidad de las plantas a los efectos nocivos de la salinidad varía de una especie a otra y aún entre etapas de crecimiento para una misma especie.

### **12.4. Características de los suelos afectados por sales.**

Los suelos afectados por sales pueden ser caracterizados como salinos, salino sódico y sódicos, y para ello se emplea la medición de tres parámetros: Conductividad eléctrica del extracto de saturación, porcentaje de sodio intercambiable y pH.

### **12.4.1. Suelo salino.**

Su C.E. es mayor de 4 mmhos/cm a 25°C con un PSI menor de 15 y generalmente pH menor de 8.5.

Se reconocen por la presencia de costras blancas de sal en su superficie, llamadas "álcali blanco" o "solonchaks".

El tipo y cantidad de sales es muy variable. Los cloruros y los sulfatos son los principales aniones solubles, el contenido de bicarbonatos es relativamente bajo y no se encuentra carbonato. El contenido de sodio soluble supera la suma de Ca + Mg pero las relaciones de adsorción de sodio no son elevadas. Pueden estar presentes sales de baja solubilidad como el sulfato de calcio (yeso) y carbonatos de calcio y magnesio (caliza).

La cantidad de sales solubles controla la presión osmótica de la solución del suelo y si es alta perjudica el crecimiento vegetal.

Los suelos salinos casi siempre están floculados por el exceso de sales y la falta de alto sodio intercambiable. En consecuencia, la permeabilidad es igual o mayor a la de suelos similares no salinos.

El mejoramiento del suelo salino se logra mediante el simple lavado, siempre que se cuente con drenaje adecuado.

### **12.4.2. Suelo salino-sódico.**

Este tipo de suelo se forma como resultado de los procesos combinados de salinización y acumulación de sodio. Su C.E. es mayor de 4 mmhos/cm a 25°C y el PSI mayor de 15. El pH rara vez es mayor de 8.5 cuando hay exceso de sales y el suelo está floculado.

El lavado elimina sales solubles, provoca elevación del pH, deflocula el suelo, y se vuelve desfavorable para la entrada de agua y las labores de labranza. El retorno de sales solubles baja el pH y flocula de nuevo el suelo.

Tiene que eliminarse el exceso de sales y sodio intercambiable para mejorar las condiciones físicas del suelo.

La incorporación de yeso y lavado pueden mejorar este tipo de suelos. Si el suelo contiene yeso, solo es necesario el lavado y desde luego drenaje.

### **12.4.3. Suelo sódico.**

La conductividad eléctrica del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25°C, el PSI es mayor de 15 y el pH varía entre 8.5 a 10. Se les llama "álcali negro" o "solonetz". La materia orgánica se dispersa y disuelta se deposita en la superficie debido a la evaporación provocando un oscurecimiento.

El sodio dispersa las arcillas que se transportan hacia el subsuelo donde se acumulan, se compactan y provocan baja permeabilidad.

Aquí si hay carbonatos junto a cloruros, sulfatos y bicarbonatos. El sodio es mucho mayor que el Ca + Mg.

Su mejoramiento implica el uso de mejoradores químicos como el yeso agrícola o el ácido sulfúrico según haya ausencia o no de carbonatos de calcio y magnesio en el suelo.

### **12.5. Determinación de la salinidad del suelo.**

Generalmente la salinidad del suelo esta referida a la Conductividad Eléctrica del extracto de saturación, pero es mas fácil y rápida la determinación en una relación suelo:agua 1:2 ó 1:5.

Agrolab en 1999, cita la relación entre la conductividad eléctrica en el extracto de saturación y la medida en extracto 1:2 para suelos de diversas texturas del centro de México:

C.E. extracto de sat.                      C.E. suelo: agua, 1:2

|           |            |
|-----------|------------|
| < 0.4     | < 0.15     |
| 0.4 - 1.2 | 0.15 - 0.5 |
| 1.2 - 2.4 | 0.5 - 1.0  |
| 2.4 - 3.8 | 1.0 - 1.5  |
| 3.8 - 5.5 | 1.5 - 2.0  |
| 5.5 - 7.9 | 2.0 - 2.5  |
| > 7.9     | > 2.5      |

## 12.6. Clasificación de los suelos afectados por sales.

| Condición de salinidad | Efecto sobre las plantas                           | C.E. ds/m     |
|------------------------|--|---------------|
| Libre de sales         | No hay restricciones para ningún cultivo           | < 0.75        |
| Muy bajo en sales      | No hay restricciones para ningún cultivo           | 0.75 – 1.15   |
| Muy ligeramente salino | Afecta rendimiento a cultivos <u>muy</u> sensibles | 1.10 – 2.00   |
| Ligeramente salino     | Afecta rendimiento de cultivos sensibles           | 2.01 – 4.00   |
| Medianamente salino    | Afecta rendimiento de casi todos los cultivos      | 4.01 – 8.00   |
| Fuertemente salino     | Pueden crecer cultivos tolerantes a salinidad      | 8.01 – 12.00  |
| Muy fuertemente salino | Pueden crecer cultivos muy tolerantes a salinidad  | 12.01 – 16.00 |
| Extremadamente salino  | Ningún cultivo agrícola crece rentablemente        | > 16.00       |

\* Hay falta de electrólitos K, Na, Ca y Mg.

## 12.7. Estrategias para producir en suelos salinos agrícolas.

Se reconocen dos caminos para enfrentar la problemática de la agricultura en suelos afectados por sales:

- 1) Aprovechamiento del potencial genético de las plantas para adaptarse a las condiciones adversas de suelo.
- 2) Mejoramiento de las condiciones salinas del suelo para adecuarlos a las plantas agrícolas.

La primera ruta requiere de la caracterización e identificación fenotípica genotípica de los mecanismos de adaptación a la salinidad, para lo cual la ingeniería genética y biología molecular ofrecen una gran posibilidad pero Borlaug de acuerdo con Rajaram en 1996, debido a la gran complejidad del genoma de la

planta, pasarán muchos años para que estas técnicas modernas se usen con éxito. Por lo tanto, recomiendan mejorar la aplicación de métodos convencionales de selección genética.

Para mejorar el "screening" para identificar especies y variedades adaptables a suelos salinos se proponen estudios de laboratorio con soluciones salinas, luego de invernadero y finalmente de campo. Con esta estrategia Uvalle-Bueno y Gomez-Casteñeda lograron reducir de 300 líneas del germoplasma de cártamo a solo 10 para evaluarse en campo en 1992.

La segunda ruta requiere de la caracterización fisicoquímica del suelo, y su perfil para implementar medidas de rehabilitación por medios físicos, hidrotécnicos, biológicos y/o químicos.

### ***12.8. Sensitividad de las plantas a la salinidad.***

La sensibilidad vegetal a la salinidad varía frecuentemente con la etapa de desarrollo. La cebada, el maíz, el arroz y el trigo son más sensibles durante la emergencia y las etapas tempranas de crecimiento que durante la germinación o en etapas posteriores incluyendo la formación de grano. Por otro lado la remolacha y el cártamo son más sensibles durante la germinación.

Para evitar fracasos, el productor debe conocer la sensibilidad de sus cultivos en cada etapa de desarrollo, y adoptar prácticas apropiadas del manejo para minimizar el daño por sales. Aun entre variedades hay diferencias en su comportamiento, por ejemplo el trigo duro es más sensible que el trigo harinero.

Los ciclos agrícolas de primavera-verano son más propicios a generar problemas de sales y hay variaciones entre años.

### **12.9. Selección de cultivos para suelos afectados por sales.**

Maas y Hoffman en 1977 desarrollaron una función lineal para calcular el rendimiento relativo de cultivos en diferentes valores de conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo y Carter en 1981 presenta datos en forma tabular para diferentes cultivos dando también, el valor crítico y el decremento en la productividad como un porcentaje de un rendimiento normal por cada unidad de incremento en la conductividad eléctrica del extracto.

### **12.10. Ecuación de tolerancia a la salinidad.**

La ecuación general de tolerancia a la salinidad es:

$$Y = 100 - b (CE_{ext} - A)$$

**Donde:**

- A = El valor crítico en mmhos/cm
- B = El porciento de decremento de la salinidad por unidad de incremento en la salinidad
- $CE_{ext}$  = Conductividad Eléctrica del extracto de saturación en mmhos/cm
- Y = Rendimiento relativo del cultivo.

De la Peña y Uvalle-Bueno desde 1985 manifiestan que la información de Maas-Hoffman y Carter es particularmente útil, sin embargo, consideran que en la práctica generalmente sobrestiman el problema de salinidad, pues es frecuente que se calcule pérdidas en rendimiento relativo de 30 a 50% y en realidad resultan de 15 a 25% respectivamente.

Llerena en 1995 propone una metodología para evaluar más realmente el problema de los suelos afectados por sales y en función del grado de afectación decidir sobre la conveniencia económica de llevar a cabo su rehabilitación para los cultivos agrícolas convencionales u optar por el cambio de uso del suelo.

Uvalle-Bueno y Osorio-Alatorre en 1996 proponen una nueva ecuación para estimar el rendimiento medio de cultivos agrícolas en suelos afectados por salinidad. De hecho se emplea la ecuación de pérdida de rendimiento y se ajusta con coeficientes que ponderan la magnitud de la superficie afectada, el estrato afectado por sales (suelo y/o subsuelo), la textura del suelo y el tipo de sales predominante en el extracto de saturación del suelo.

$$RSAS = RSLs \left[ 100 - (RRc) (2 - \alpha^j) (\beta^j) (\gamma^j) (\delta_i) \right]^n$$

**Donde:**

|            |   |
|------------|---|
| RSAS=      | Rendimiento en suelo afectado por sales |
| RSAL=      | Rendimiento en suelo libre de sales     |
| RRc =      | Rendimiento relativo del cultivo        |
| $\alpha$ = | Coefficiente para el tipo de sales      |
| $\beta$ =  | Estrato de suelo afectado               |
| $\gamma$ = | Porcentaje de área afectada por sales   |
| $\delta$ = | Textura del suelo                       |

Es de suma importancia señalar que en esta ecuación todos los parámetros son fácilmente medibles y se puede emplear con éxito en modelos de simulación.

### **12.11. Manejo de suelos afectados por sales.**

Una vez evaluada la magnitud e intensidad de la salinidad se pueden tener diferentes alternativas para su manejo:

#### **12.11.1. Métodos físicos**

Los métodos físicos involucran intensidad de labranza; rastreo, barbecho o cinceleo y nivelación.

En terrenos compactados en el subsuelo se recomienda el cinceleo, siempre y cuando el manto freático no sea superficial.

Si la salinidad se acumula en la capa arable y el subsuelo está libre de sales o su nivel de salinidad es menor se debe barbechar, no obstante que el subsuelo sea más pobre en materia orgánica. En la situación contraria con mayor salinidad en el subsuelo entonces solo es conveniente efectuar rastreos.

La nivelación con criterio agronómico debe contemplar el nivel de materia orgánica en suelo y subsuelo para decidir la profundidad de cortes y rellenos.

#### **12.11.2. Métodos Hidrotécnicos**

La lámina de sobrerriego y la calidad del agua de riego son factores importantes para un eficiente lavado de sales, sin olvidar la frecuencia.

$$\text{LSR} = \frac{\text{CEr}}{\text{CEp} - \text{CEr}} \text{ Lr}$$

Los suelos salinos solo requieren lavado sin la aplicación de mejoradores químicos.

Los suelos sódicos necesitan que las agua de lavado tengan fuertes cantidades de calcio y con conductividades eléctricas de 1000 a 2500 micromhos/cm ó más. Si es posible se regará con aguas saladas para que adquiera el suelo condición salina o salino-sódica e implementar en ese caso una rehabilitación más rápida y efectiva.

### 12.11.3. Métodos biológicos

Aquí se incluyen la incorporación de abonos orgánicos, sustancias húmicas, compostas, así como la incorporación de residuos de cosechas. La labranza de conservación llamada "cero labranza" no debe implementarse en suelos salinos compactados, pero una vez rehabilitados es conveniente adoptar la labranza de conservación con la intensidad que demande la relación suelo/planta.

En la incorporación de rastrojos es importante considerar la relación C/N pues con frecuencia es necesario adicionar nitrógeno para su descomposición.

La incorporación de abonos orgánicos como estiércol o gallinaza debe efectuarse 2 a 3 meses antes de establecer el cultivo sobretodo si se trata de leguminosas, el maíz y el algodón responden bien a aplicaciones recientes de abonos orgánicos.

#### **12.11.4. Métodos químicos**

Se justifican plenamente en suelos sódicos la clave está en calcular la cantidad de mejorador necesario para corregirlo (necesidad de azufre) y que se den las condiciones para que se infiltre en los estratos mas afectados. para ello es necesario el uso de sub-suelo vibratorios o inyección de aire así como el uso de resinas (poliacrilamida), para aumentar la penetración del agua de riego.

Para un suelo sódico hasta la profundidad de 1.20 m su recuperación sin restricciones de lavado requiere 93 ton/ha de yeso, 53 ton/ha de ácido sulfúrico o 17 ton/ha de azufre lo cual es antieconómico y por lo general se acostumbra mejorar por año o cultivo espesores de 30 cm, el rendimiento sigue siendo malo y se dice que el producto químico no sirve cuando lo que realmente pasa es que la cantidad aplicada es insuficiente.

Lavado y aplicación de mejoradores requieren drenaje.

#### **12.12.5. Técnicas especializadas de manejo**

Se refieren a una manera muy peculiar de establecer los surcos, emplear siembras a doble hilera, aumentar la densidad de siembra, acortar la longitud de surcos y aplicar riegos alternados, etc.