



## IV CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2018

Aguascalientes, Ags., del 15 al 18 de octubre de 2018

### METODOLOGÍA PARA LA REHABILITACIÓN DE SUELOS SALINOS CON DRENAJE SUBTERRÁNEO PARCELARIO

**José Rodolfo Namuche Vargas<sup>1\*</sup>; Carlos Fuentes Ruiz<sup>1</sup>; María Dolores Olvera Salgado<sup>1</sup>;  
Olga Xóchitl Cisneros Estrada<sup>1</sup>; Pedro Pacheco Hernández<sup>1</sup>; Adilene Ávila García<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Coordinación de Riego y Drenaje. Subcoordinación de Contaminación y Drenaje Agrícola. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

[rnamuche@tlaloc.imta.mx](mailto:rnamuche@tlaloc.imta.mx) - 01 777 329 3600 Ext. 106 (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup>Colaborador externo, Camino al río, s/n, Lázaro Cárdenas, Ayutla de los libres, Guerrero, C.P. 39200. México.

#### Resumen

Se presenta una metodología para la rehabilitación de suelos salinos con drenaje subterráneo parcelario, se demuestra que es una tecnología muy redituable; su aplicación permite incrementar la productividad agrícola y es apropiada para el desarrollo sustentable del medio rural, lo que permite recomendar su transferencia a otras áreas con esta misma problemática. Se dan a conocer los resultados más relevantes: a) Se realizaron muestreo y análisis físico-químico de suelo y agua; b) Se realizaron 20 pruebas de conductividad hidráulica por el método del pozo barrenado, los valores varían de 0.203 a 1,218, con una media de 0.710 m/día; c) El sistema de drenaje subterráneo parcelario por tratarse de un experimento se diseñó considerando dos espaciamientos: 25 m y 50 m. c) La instalación del sistema de drenaje se realizó con una zanjadora tipo cincel, tuvo un avance de 1500 metros de tubería por día. d) La calidad del agua, en cuanto a sales totales, para los lavados es de 0.17 dS/m y la calidad de dicha agua drenada por las tuberías de drenaje varía desde 16 hasta 30 dS/m. e) Los intervalos de lavado se programaron cada 15 días aplicando láminas que normalmente usa el productor en sus riegos tradicionales. f) La cantidad de sales extraídas desde el 16 de agosto hasta el 15 de diciembre fue de 166.4 y 104.9 ton en las líneas de 50 y 25 m, respectivamente. g) El sistema de drenaje está funcionando muy bien y no se ha manifestado problema alguno en cuanto a la longitud de las líneas y a la carencia de filtro. h) No se existe diferencia entre los espaciamientos de 25 y 50m y el rendimiento obtenido es de 5 ton/ha, superior a 4 ton/ha, que es la media del distrito de riego. Esta metodología se ha aplicado y en la actualidad se han instalado 100 000 ha.

**Palabras claves:** Drenaje subterráneo, Lámina de lavado, Agua drenada



## **Introducción**

De modo conceptual el drenaje es la eliminación de un exceso de agua y las sales del suelo a un ritmo que permita el desarrollo normal de la planta, su diseño y construcción se presentan como una tecnología alterna para un adecuado control de la salinidad y la alcalinidad. Una buena técnica implica, generalmente establecer un sistema considerando drenaje superficial y subterráneo en debidas proporciones, la eficacia del drenaje subterráneo depende de un buen diseño del sistema de drenaje y del cultivo a establecer para una adecuada distribución del agua superficial en el terreno.

El drenaje de tierras de riego tiene dos objetivos: el primero es el de reducir el exceso de agua y el segundo el de controlar y reducir la salinización o acidificación en los suelos que inevitablemente acompaña a las tierras que tienen drenaje natural insuficiente en las regiones áridas, semiáridas y húmedas. Los fines específicos del drenaje de tierras agrícolas son tres en la mayoría de las ocasiones: i) Aprovechamiento y mejora del terreno, ii) Protección contra el anegamiento y iii) Seguridad contra la infiltración desde las zanjas de irrigación, o para controlar o prevenir la formación de álcali.

México cuenta con aproximadamente 6.4 millones de hectáreas bajo riego, de las cuales cerca del 10% presenta problemas de drenaje o salinidad. En particular, en el Distrito de Riego N° 076 del Valle del Carrizo, Sinaloa, en el estudio de salinidad del realizado por la Comisión Nacional del Agua (1995), muestra que de 43 000 ha de la superficie total, 8 000 ha presenta problemas de salinidad y manto freático somero.

Es importante hacer notar que esta problemática prevalece y se incrementa año tras año no obstante que se cuenta con un sistema de drenaje interparcelario. El problema en este distrito, al igual que en otros distritos de riego del país, se ha agudizado a tal grado que desde hace más de una década cientos de hectáreas se han venido abandonando debido a su baja capacidad productiva. Con el fin de contribuir a la solución de esta problemática, en este trabajo se propone una metodología práctica, sencilla y económica de recuperación de suelos salinos con drenaje parcelario. La metodología es validada y transferida en una parcela piloto, lote 17 Ejido Nuevo Sinaloa del Distrito de Riego 076, Valle del Carrizo, Sinaloa.

## **Materiales y Métodos**

Para ilustrar la metodología propuesta, se ha considerado apropiado hacerlo a través de un estudio de caso. Para esto se aprovechará la información y los resultados obtenidos en una parcela piloto ubicada en el Distrito de Riego 076 "Valle del Carrizo, Sinaloa".

### **1.1. Características generales del área piloto**

El área piloto tiene una superficie de 22 ha, ubicada en el Lote 17 del Ejido Nuevo Sinaloa, Módulo 3, Distrito de Riego "Valle El Carrizo", municipio de Ahorne, Estado de



Sinaloa. El clima según la clasificación de Thornthwaite es EdA'a. Provincia de humedad (E) árida; vegetación, desierto. Humedad deficiente en todas las estaciones. Provincia de temperatura (A') tropical. Subprovincia a temperatura (a). La lluvia anual promedio es de 333.7 mm, siendo los meses más lluviosos de julio a octubre. La evaporación anual promedio es de 2,409 mm. La temperatura media anual es de 25°C.

## 1.2. Sistema de drenaje subterráneo parcelario

### - Topografía

Se ha realizado el levantamiento topográfico mediante cuadrículas de 20 \* 20 m, con curvas de nivel a cada 0.10 m. La pendiente promedio es de 0.05 % de Norte-Sur y de 0.08 % de Este-Oeste. También se han levantado los perfiles longitudinales de los drenes colectores abiertos y circundantes a la parcela con secciones transversales cada 50 m, con la finalidad de determinar el desnivel de las líneas al dren colector.

### - Estimación de la conductividad hidráulica a saturación

Es un indicador de la velocidad con la que el agua se mueve en el suelo. Para medir esta variable se utilizó el método del pozo barrenado, la conductividad hidráulica se calcula mediante la fórmula de Ernst (Ritzema, 1994):

$$K_s = C_k \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (1)$$

donde  $K_s$  es la conductividad hidráulica a saturación (m/día),  $\Delta y/\Delta t$  es la velocidad media de recuperación del nivel (cm/s) y  $C_k$  es el coeficiente que toma en cuenta la geometría del flujo (adimensional).  $C_k$  se calcula mediante las fórmulas de Ernst (Ritzema, 1994):

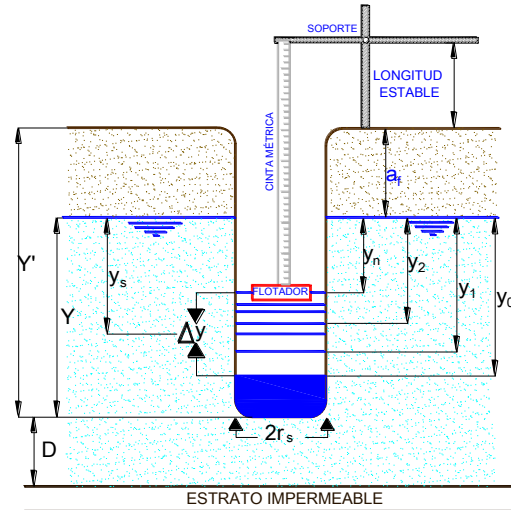
$$\text{Para } D \leq \frac{Y}{2} \quad C_k = \frac{3600}{\left(10 + \frac{Y}{r_s}\right) \left(2 - \frac{y_s}{Y}\right)} \frac{r_s}{y_s} \quad (2)$$

$$\text{Para } D > \frac{Y}{2}, \quad C_k = \frac{4000}{\left(20 + \frac{Y}{r_s}\right) \left(2 - \frac{y_s}{Y}\right)} \frac{r_s}{y_s} \quad (3)$$

Donde:  $y_s$  es la profundidad media entre las profundidades inicial y final durante la prueba,  $D$  es la distancia entre el fondo de la barrenación y el hidroapoyo o estrato impermeable (cm),  $r_s$  el radio del pozo (cuando se usa un tubo perforado como ademe, este valor es el radio externo del tubo) (cm) y  $Y$  es la altura de la columna de agua en el pozo barrenado (cm) (**Figura 1**). La profundidad media ( $y_s$ ) se calcula con:

$$y_s = y_0 - \frac{\Delta y}{2} \quad (4)$$

donde  $y_0$  es el abatimiento inicial (cm),  $\Delta y$  es la recuperación máxima del nivel del agua en el pozo durante la prueba ( $\Delta y \leq 0,25 y_0$ ), (cm). Este procedimiento se esquematiza en la **figura 1**.



**Figura 1.** Variables que intervienen en el método del pozo barrenado

- Diseño del sistema de drenaje subterráneo

Hooghoudt (1940) desarrolló varias fórmulas la más completa de ellas supone que el flujo no solamente es horizontal, sino que parcialmente hasta alrededor de los drenes hay flujo radial

$$q_0 = \frac{4K_s h(h + 2d_e)}{L^2}, \quad d_e = D_0 \left/ \left[ 1 + \frac{8D_0}{\pi L} \ln \left( \frac{D_0}{P_0} \right) \right] \right. \quad (5)$$

donde: L es el espaciamiento de drenes (m), h es la distancia vertical entre la horizontal que pasa a nivel del fondo de los drenes y el nivel freático en el punto medio entre los drenes(m),  $D_0$  es la distancia vertical entre el fondo del dren y el estrato impermeable (m),  $d_e$  es el espesor del "estrato equivalente" (m),  $q_0$  es la recarga o la cantidad de agua que hay que drenar (m/día),  $P_0$  es el perímetro mojado del dren (m).

### 1.3. Salinidad del suelo

- Directrices para clasificar suelos por salinidad o sodicidad

La degradación del suelo se define como la pérdida de las condiciones normales en sus propiedades físicas, químicas y biológicas por acción natural o antrópica. La degradación natural, que no es muy grave, se debe a procesos lentos de pérdidas y ganancias debidas al desprendimiento de materiales por acción del agua, el viento o la



gravedad. La degradación antrópica que es causada por acción del hombre y sus actividades productivas genera mayores impactos en cortos periodos de tiempo. La erosión, compactación, contaminación, endurecimiento, acidificación, salinización, remoción masal y desertificación, son los principales procesos degradativos del suelo; con base en lo expuesto, los suelos se clasifican en:

- Suelos Normales, son suelos de buena calidad agronómica y donde las plantas presentan buen desarrollo y se obtienen buena producción.
- Suelos salinos, contienen suficientes sales como para limitar el crecimiento de algunos cultivos por disminución en el potencial hídrico total. Los cultivos presentan síntomas de estrés hídrico, y toxicidad de iones: Cl, B, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> a tallos y raíces. Raíces negras o deterioradas, quemaduras en las puntas de las hojas. Desbalances iónicos nutricionales que conducen a deficiencias de: Ca, K, NO<sub>3</sub>, Mg, Mn, P. Formación de residuos de sales en la superficie. La salinidad es cuestión de grado, a mayor concentración, mayor efecto sobre los cultivos.
- Suelos sódicos, contienen cantidades excesivas de sodio (Na) en los sitios de intercambio, las cuales dispersan las partículas de suelo, materia orgánica y arcillas; ocasionando reducción o pérdida de la estructura del suelo. Limita el movimiento de aire y agua, lo que trae como consecuencia la disminución de infiltración, percolación y drenaje deficiente. El Na reemplaza los cationes divalentes y el Na adsorbido está hidratado y aumenta la electronegatividad hasta que las partículas se repelen. Toxicidad de iones: Na, Cl, B, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, en tallos y raíces; así como quemaduras en las puntas de las hojas, desbalances iónicos que conducen a deficiencias de: Ca, K, NO<sub>3</sub>, Mg, Mn, P. En el suelo el pH es alto, mayor de 8.5.
- Suelos salino-sódicos, contienen suficientes sales como para limitar el crecimiento de algunos cultivos y cantidades excesivas de Na en los sitios de intercambio. Los cultivos pueden ser afectados por exceso de sales y Na, pero generalmente drenan muy bien. Las sales proveen cationes en exceso que se adsorben a coloides negativamente cargadas, reduciendo la tendencia a dispersarse. Estos se pueden convertir en suelos sódicos fácilmente. Presentan los mismos problemas de los suelos salinos.
- Suelos calcáreos, contienen CaCO<sub>3</sub> libre, y no necesariamente son salinos ni salino-sódicos. La presencia de carbonatos libres influye en ciertas prácticas de manejo como el uso de herbicidas, aplicación de P y la disponibilidad de micronutrientes. El reducir el pH de estos suelos usualmente no es económico, pero se utilizaría azufre. Presentan colores grises a blancos, reflejan la presencia de contenidos importantes de cuarzo, caolinita u otras arcillas silicatadas, carbonatos de calcio o magnesio, yeso y sales; indicando en la mayoría de los casos mal drenaje y bajos contenidos de coloides como la arcilla y el humus.

La **tabla 1**, muestra las directrices para evaluar suelos salinos, sódicos o calcáreos.



**Tabla 1.** Directrices para evaluar suelos salinos, sódicos o calcáreos

<b>SUELO</b>	<b>CE (dS/m)</b>	<b>PSI (%)</b>	<b>pH</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Normal	< 4	< 15	6.5-7.5	Buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
Salino	> 4	< 15	7.5-8.5	Se les reconoce por la presencia de costras blancas en su superficie.
Salino-sódico	> 4	> 15	> 8.5	Cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales.
Sódico	< 4	> 15	8.5-10.0	Mala permeabilidad, difícil de trabajar y alta defloculación de sus partículas.
Calcáreos	<4	<15	7.3-8.4	Contienen carbonatos libres que influyen en ciertas prácticas de manejo del cultivo.

- **Conductividad eléctrica (CE)**

Mide la concentración total de sales en una solución, pero no indica qué sales están presentes. La CE se expresa en dS/m. Cuando se habla de la CE, debemos siempre especificar si es la CE del agua de riego, la CE del agua de drenaje o la CE de la solución del suelo. En el caso de la CE de la solución del suelo, hay que especificar el estado de humedad del suelo.

- **Relación de Adsorción de sodio (RAS)**

El RAS es el valor que expresa la actividad relativa del ion sodio contenido en el extracto de saturación del suelo (pasta preparada con suelo y agua) y en las reacciones de intercambio con éste. Se refiere a la velocidad de adsorción de sodio en relación con los iones calcio y magnesio.

- **(pH)**

El pH tiene un efecto directo en el comportamiento químico del suelo y sobre algunos procesos biológicos que se efectúan en él y es capaz de afectar indirectamente algunas propiedades físicas. Un pH ácido no afecta directamente el desarrollo de los cultivos, sin embargo, favorece la deficiencia de calcio, magnesio, fósforo y potasio en el suelo e incrementa la solubilidad de aluminio y manganeso a niveles que pueden ser tóxicos para la planta.

- **Porcentaje de sodio intercambiable (PSI, %)**

El PSI (porcentaje de Sodio intercambiable) se define como la cantidad de Sodio adsorbido por las partículas del suelo, expresado en porcentaje del CIC (capacidad de intercambio catiónico):



### 1.4. Prácticas culturales

Adicionalmente al drenaje subsuperficial, para la rehabilitación de los suelos afectados por sales se tienen que aplicar alguna combinación de prácticas culturales de acuerdo al grado de salinidad y sodicidad del suelo. Estas prácticas se pueden dividir en:

- a) Físicas o mecánicas como subsoleo, rastreo cruzado y empareje o nivelación.
- b) Hidrotécnicas que consisten en la aplicación de láminas de lavado estimadas, por ejemplo, con la fórmula de Volouvyev (1966):

$$L_v = \alpha \text{Log} \left( \frac{CE_i}{CE_o} \right) \tag{7}$$

Donde:  $L_v$  (cm) es la lámina de lavado hasta un metro de profundidad,  $CE_i$  es la conductividad eléctrica (dS/m) antes del lavado,  $CE_o$  es el valor de conductividad eléctrica, que se espera tenga el suelo después del lavado, y  $\alpha$  es un coeficiente que depende del tipo de sales y la textura del suelo (**Tabla 2**).

**Tabla 2.** Valores de  $\alpha$  para diferentes contenidos de cloruros y textura de suelo (De la Peña, S/F)

TEXTUR A	CONTENIDO DE CLORUROS EN % CON RESPECTO A ANIONES			
	63 a 40	40 a 20	20 a 10	< 10
Pesada	122	132	142	178
Media	92	102	112	148
Ligera	62	72	82	118

La experiencia muestra que las sales son solubles si se cumple la siguiente relación:

$$\frac{Na}{Ca + Mg} \leq 3 \tag{8}$$

c) Biológicas. Consisten en la incorporación de rastrojo, materia orgánica, estiércol animal o abono verde; con la finalidad de mejorar la estructura del suelo y por ende la conductividad hidráulica del mismo, haciendo más eficiente el funcionamiento del sistema de drenaje.

d) Químicas. Consisten en aplicar mejoradores como yeso, ácido sulfúrico, etc., con la finalidad de recuperar suelos sódicos, es decir suelos que tienen un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) mayores del 15 % y una conductividad eléctrica menor de 4 dS/m. Antes de decidir si es necesario aplicar un mejorador se debe corroborar con la relación (9). La cantidad de mejorador químico se estima mediante la fórmula siguiente:



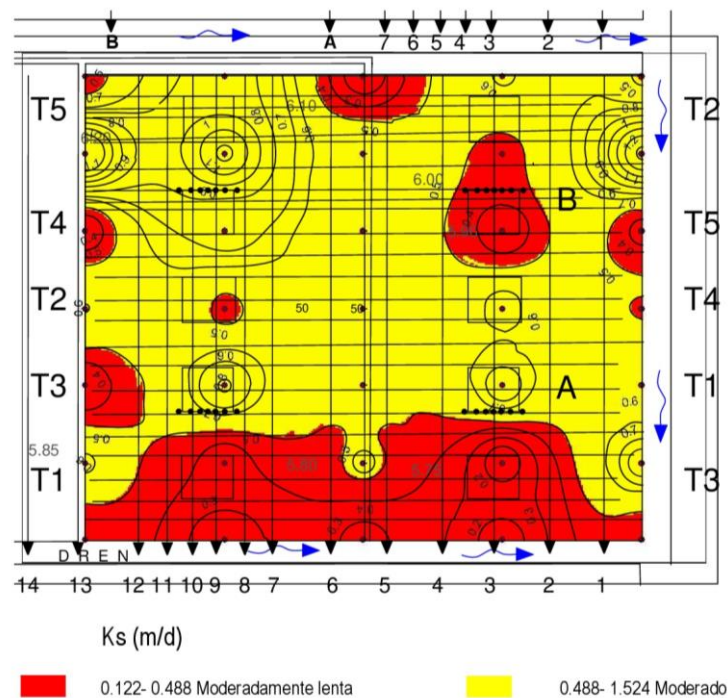
$$D_m = \frac{(PSI_i - PSI_f) CIC P_e h d_a}{100} \quad (9)$$

Dónde:  $D_m$  es la dosis de mejorador químico (kg/ha),  $PSI_i$  y  $PSI_f$  son el porcentaje de sodio intercambiable inicial y final, respectivamente (%).  $CIC$  es la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g de suelo),  $P_e$  es el peso equivalente del mejorador,  $h$  es la profundidad hasta la que se desea rehabilitar el suelo (cm) y  $d_a$  es la densidad aparente del mismo ( $g/cm^3$ ).

## Resultados y discusión

- Conductividad hidráulica a saturación ( $K_s$ )

Se realizaron 20 pruebas de conductividad hidráulica por el método del pozo barrenado, los valores varían de 0.203 a 1,218, con una media de 0.710 m/día. Con estos valores de  $K_s$ , y aplicando la fórmula de Hooghoudt, los espaciamientos varían de 21.0, 59.0 y 44.0 m. Mediante un análisis probabilístico nos indica que el espaciamiento puede estar entre 25 y 50 metros (**Figura 2**).



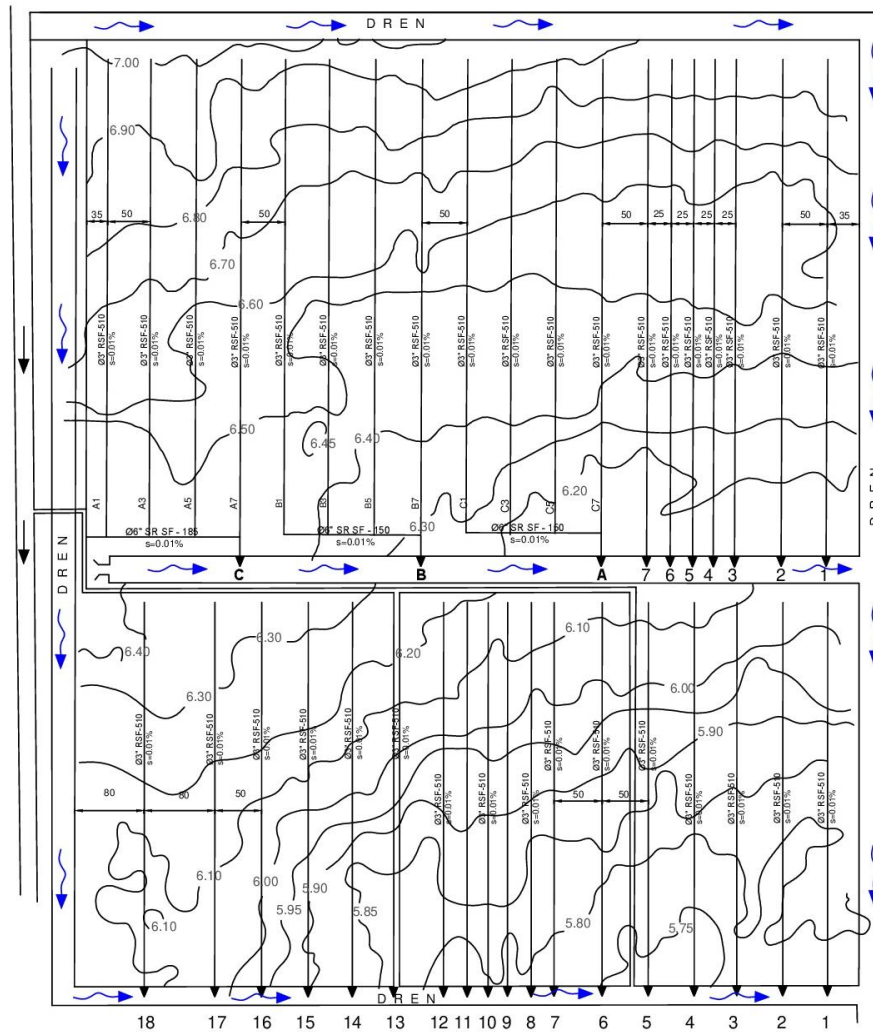
**Figura 2.** Valores de conductividad hidráulica a saturación en la parcela piloto.

## Diseño del sistema de drenaje subterráneo parcelario

El sistema de drenaje subterráneo parcelario por tratarse de un experimento se diseñó considerando dos espaciamientos: 25 y 50 m. No obstante que se contaba con el dato del espaciamiento óptimo, en campo, con fines demostrativos y comparativos, se



instalaron tres baterías de drenes distribuidos en 18 líneas, cuya longitud de cada una de ellas es de 435 m y descargan directamente al dren principal, con espaciamentos de 25, 50 y 80 m cubriendo una superficie de 40 ha; a una profundidad de 1.5 m en promedio y con una pendiente de 0.001. El diseño hidráulico de las líneas de drenaje arrojó una tubería de 3 pulgadas de diámetro, corrugada, flexible, ranurada y sin filtro. No se usó filtro debido a que los suelos tienen más de 30 % de arcilla. Por falta de recursos económicos de los ejidatarios, solamente se trabajó en una superficie de 22 ha, en la cual se incluyen los espaciamientos de 25 y 50 m (**Figura 3**)



**Figura 3.** Diseño en planta del sistema de drenaje subterráneo parcelario, lote 17 Ejido Nuevo Sinaloa DR076 Valle del Carrizo

La instalación se realizó con una zanjadora tipo cincel, registrando un avance promedio de 250 m/hora. (**Figura 4**).



**Figura 4.** Instalación del sistema de drenaje en el lote 17 Ejido Nuevo Sinaloa

- Salinidad del suelo

La **Tabla 3**, muestra el diagnóstico de la salinidad del suelo en la parcela piloto. Los valores que se presentan son después de aplicar cada lavado, el último corresponde a la lluvia del Huracán Ismael.

**Tabla 3.** Diagnóstico de la salinidad del suelo en lote 17 Ejido Nuevo Sinaloa

Espaciamiento de drenes a 25 m						Diagnóstico
Tratamiento	Fecha	pH	CE (dS/m)	PSI (%)	Na/(Ca+Mg)<3	
T5	15-ago-95	6.7	110.0	28.4	0.8	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
	13-sep-95	7.7	14.7	10.9	0.7	Suelos salinos, se les reconoce por la presencia de costras blancas en su superficie, además son sales solubles.
	17-oct-18	7.3	16.0	10.1	0.6	Suelos salinos, se les reconoce por la presencia de costras blancas en su superficie, además son sales solubles.
T4	15-ago-95	6.9	26.8	17.3	0.4	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
	13-sep-95	7.4	24.6	12.7	0.6	Suelos salinos, se les reconoce por la presencia de costras blancas en su superficie, además son sales solubles.
	17-oct-18	7.6	2.1	4.0	0.8	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
T2	15-ago-95	7.2	56.0	13.1	0.4	Suelos salinos, se les reconoce por la presencia de costras blancas en su superficie, además son sales solubles.
	13-sep-95	7.8	2.8	8.6	0.1	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
	17-oct-18	7.4	1.2	5.6	1.8	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
T3	15-ago-95	6.9	95.0	29.0	0.9	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
	13-sep-95	7.5	31.6	17.9	0.9	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
	17-oct-18	7.4	4.0	8.7	1.3	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
T1	15-ago-95	7.3	1.0	3.1	0.9	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
	13-sep-95	7.2	0.8	0.2	0.2	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
	17-oct-18	7.7	0.5	1.2	0.7	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
Espaciamiento de drenes a 50 m						Diagnóstico
Tratamiento	Fecha	pH	CE (dS/m)	PSI (%)	Na/(Ca+Mg)<3	
T2	15-ago-95	6.9	90.0	32.4	1.1	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
	13-sep-95	7.1	44.8	8.7	0.3	Suelos salinos, se les reconoce por la presencia de costras blancas en su superficie, además son sales solubles.
	17-oct-18	7.6	50.0	18.6	0.7	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
T5	15-ago-95	7.2	21.0	18.7	1.2	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
	13-sep-95	7.7	7.7	11.2	1.1	Suelos salinos, se les reconoce por la presencia de costras blancas en su superficie, además son sales solubles.
	17-oct-18	7.6	5.0	2.0	0.3	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
T4	15-ago-95	7.4	1.2	6.2	1.9	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
	13-sep-95	7.8	2.8	3.8	0.6	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
	17-oct-18	7.2	28.0	23.6	1.5	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
T1	15-ago-95	6.4	75.0	27.5	1.0	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
	13-sep-95	7.5	15.0	11.7	3.6	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
	17-oct-18	7.3	13.0	19.1	1.7	Suelos salino-sódico, cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales, además son sales solubles.
T3	15-ago-95	7.3	1.8	0.7	0.5	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
	13-sep-95	7.8	0.5	0.8	0.4	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.
	17-oct-18	6.9	0.7	1.4	0.6	Suelos normales, buena permeabilidad, aeración y con buena estructura.



## Prácticas culturales

- Láminas de lavado

Este trabajo se dividió en dos etapas, la primera consistió en aplicar lavados al suelo para bajar la salinidad a niveles que permitan establecer un cultivo y la segunda en la aplicación de láminas de sobre riego para mantener un nivel de salinidad que no afecte el desarrollo del cultivo.

Se estimó la lámina total de lavado por el conocido método de Volobúyeb, que está basado en el contenido de sales del suelo por lavar considerando una profundidad de 1 m; en el contenido de sales permisibles para que un cultivo se desarrolle sin problemas. La **tabla 4**, muestra algunos de los parámetros técnico-económicos obtenidos durante la rehabilitación del suelo considerando los espaciamientos de 25 y 50 m. En ambos espaciamientos era necesario aplicar mejorador químico debido a que se encontraron valores de PSI mayores de 15, pero dado que la relación empírica:  $Na/(Ca+Mag) < 3$ , nos indica que son sales solubles, no fue necesario aplicar mejoradores. Con base en la capacidad de almacenamiento de agua de estos suelos, se estableció láminas con rangos de 20-25 cm, para lo cual se consideraron 5 lavados, con intervalos de 15 días; pero sólo se aplicaron dos lavados de 25 cm y el último fue de 80 cm y que corresponde a la lluvia del Huracán Ismael.

**Tabla 4.** Parámetros socioeconómicos del sistema de drenaje subterráneo parcelario, lote 17 del Ejido Nuevo Sinaloa

Parámetros	Espaciamiento entre drenes parcelario	
	50 m	25 m
Relación costo/superficie		
a) Dólares*/ha	450	900
b) Pesos/ha	3,600	7,200
Láminas de lavado calculadas (m)	1.1	1.2
Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)	22.7	18.6
CE promedio del agua drenada (dS/m)	18-32	18-30
Sales extraídas desde el 16 agosto hasta 15 de diciembre 1995 (ton)	166.4	104.9
CE del suelo (dS/m)		
a) Antes del primer lavado	31.3	40.5
b) Antes del segundo lavado	8.0	6.3
c) Antes del tercer lavado	5.8	5.5
d) Antes del cuarto lavado	5.5	5.4
(riego de presiembra)		

- Programa de recuperación de suelo

Para mejorar la capacidad de drenaje en las capas superficiales del suelo y los estratos compactos existentes se realizó un subsóleo hasta una profundidad de 40 cm.

Posteriormente, para la preparación de las melgas para efectuar el lavado se procedió a dar dos pasos de rastra cruzada y se emparejó el terreno. A continuación, se diseñaron melgas de 20\*250 m para ambos espaciamientos, es decir de 25 y de 50 m; en ambos casos se construyeron bordos normales de 30-40 cm. Durante los lavados el volumen de agua se entregó a la parcela piloto a través de sifones calibrados de 1 l/s, con carga de 11 cm. Se aplicaron 4 lavados de 25, 15, 20 y 20 cm, respectivamente; el tercer lavado fue natural debido al huracán Ismael y el último se aprovechó como riego de presiembra, de esta manera se proporcionó una lámina total de 80 cm (Figuras 5 y 6).

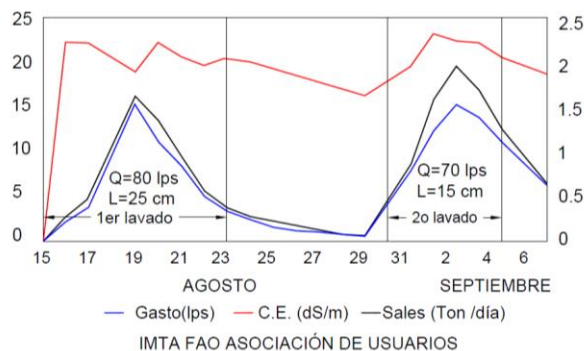


**Figura 5.** Subsoleo en la parcela piloto

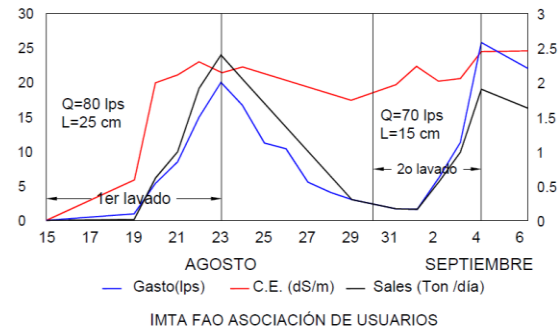


**Figura 6.** Aplicación de la primera lámina de lavado en la parcela piloto

La calidad del agua de riego es buena ya que su conductividad eléctrica es de 0.18 dS/m. Las figuras 6 y 7 muestran las variaciones diarias de los gastos drenados por las líneas, de sales totales extraídas (forma senoidal) y la CE (relativamente constante) del agua drenada. Como se puede observar las tuberías de 50 m extraen más sales que las tuberías a 25 m, debido a que el flujo recorre una mayor distancia. Para conocer y monitorear el comportamiento de los niveles freáticos y evaluar el sistema de drenaje se instalaron cuatro baterías de pozos de observación freaticométrica. Dos baterías se ubicaron en el bloque de 25 m y las restantes en las de 50 m (**Figura 6 y 7**).



**Figura 6.** Extracción de sales, lote 17 Ejido Nuevo Sinaloa, Módulo No. 3, DR 076 Línea 9 Espaciamiento



**Figura 7.** Extracción de sales, lote 17 Ejido Nuevo Sinaloa, Módulo No. 3, DR 076 Línea 5. Espaciamiento 50 m





## - Agronomía

Después del último lavado el cual se ha tomado como riego de presiembra, la preparación del terreno ha consistido en el borrado de bordos y de regaderas. Se ha barbechado a una profundidad de 30 cm, luego se ha aplicado el fertilizante,  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)$  con una dosis de 83 Kg de N/ha. Se ha dado rastreo cruzado, incorporando el fertilizante y ha emparejado. Por su adaptabilidad y su productividad para la zona se ha sembrado trigo de la variedad "Altar". Las fechas de siembra en las que se ha establecido el cultivo de trigo es:

i) 15 de diciembre de 1995, 8 hectáreas al voleo, con voladora, de las cuales corresponden 6 ha al espaciamiento de 25 m y 2 ha al de 50 m. ii) 23 de diciembre de 1995, seis hectáreas con sembradora tipo "Rilax", en el espaciamiento de 25 m. iii) 24 y 28 de diciembre de 1995 se utilizó la misma sembradora para el espaciamiento de 50 m. La sembradora lo hacía en surcos espaciados a 90 cm y a una profundidad de 6 a 8 cm, estableciendo tres hileras por surco del tipo corrugado. Con una rueda ahulada se ha tapado la semilla. La cantidad de semilla aplicada en la siembra fue de 160 Kg/ha. Después de la siembra se ha levantado bordos y se ha construido regaderas. Para combatir la maleza de hoja ancha se ha aplicado 4.8 cm<sup>3</sup> de herbicida "Storane".

Se ha aplicado una lámina total de riego de 45 cm, distribuidos: i) El primer riego con una lámina de 12 cm, aplicado el 20 de enero de 1996. En este riego se ha aplicado directamente en el agua que conduce la regadera la segunda dosis de fertilizante de Amoníaco Anhidro, 85 Kg de N/ha. ii) En los riegos posteriores se han aplicado láminas de 12, 12 y 9 cm, correspondientes a las fechas de 17 de febrero, 7 de marzo y 24 de marzo de 1996, respectivamente. La cosecha se realizó el 3 y 4 de mayo de 1996 obteniendo un rendimiento de 5 ton/ha, no existe diferencia significativa entre los espaciamientos de 50 m y 25 m.

## Conclusiones

Se presenta una metodología para la rehabilitación de suelos salinos con drenaje subterráneo parcelario, se demuestra que es una tecnología muy redituable; su aplicación permite incrementar la productividad agrícola y es apropiada para el desarrollo sustentable del medio rural, lo que permite recomendar su transferencia a otras áreas con esta misma problemática. Se dan a conocer los resultados más relevantes:

- La instalación del sistema de drenaje se realizó con una zanjadora tipo cincel, tuvo un avance de 250 m/hora, o sea de 1500 m/día; si se considera 6 horas efectivas de trabajo.
- Para determinar las sales totales del agua y del suelo (CE, dS/m) se utilizó un equipo Martek. Este equipo es muy práctico y de fácil manejo, permite determinar rápidamente la salinidad mostrando su magnitud a través de una



carátula digital. Para el uso de este aparato, se recomienda que el suelo tenga una humedad cercana a capacidad de campo, ya que con valores bajos de humedad se pueden tener problemas de precisión; esto es debido a que, para su instalación, se tiene que barrenar el suelo y que las paredes del suelo deben hacer un buen contacto con la cápsula del equipo.

- La calidad del agua, en cuanto a sales totales, para los lavados es de 0.17 dS/m y la calidad de dicha agua descargada por las tuberías de drenaje varía desde 16 hasta 30 dS/m.
- Los intervalos de lavado se programaron cada 15 días aplicando láminas que normalmente usa el productor en sus riegos tradicionales.
- La cantidad de sales extraídas desde el 16 de agosto hasta el 15 de diciembre fue de 166.4 y 104.9 ton en las líneas de 50 y 25 m, respectivamente.
- Para mejorar en parte la conductividad hidráulica y la estructura del suelo, durante el rastreo se incorporó la vegetación existente, la cual aportó 9.2 y 6.8 ton/ha de materia seca en las líneas de 25 y 50 m, respectivamente.
- El sistema de drenaje está funcionando muy bien y no se ha manifestado problema alguno en cuanto a la longitud de las líneas y a la carencia de filtro.
- No se existe diferencia entre los espaciamientos de 25 y 50 m y el rendimiento obtenido es de 5 ton/ha, superior a 4 ton/ha que es la media del distrito de riego.
- Esta metodología se ha aplicado y en la actualidad se han instalado 100 000 ha.

### **Referencias bibliográficas**

- Aceves, N.E. (1979). El ensalitramiento de los suelos bajo riego (identificación, control, combate y adaptación), Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- CNA. (1995). Datos Generales y Diagnóstico de la Salinidad, Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, México.
- De la Peña, I. (1984). Salinidad de los suelos agrícolas. Su origen-clasificación, prevención y recuperación, Boletín Técnico No. 10, México, SARH.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. (1974). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. L.A. Richards, Editor, México, LIMUSA.
- IFEX-Geotécnica, S.A. (1964). Estudio de suelos e investigación del uso del terreno Valle "El Carrizo". Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.





IMTA. (1993). Diagnóstico y recuperación de suelos. Proyecto ejecutivo para el Distrito 076 del Carrizo, Sinaloa. Proyecto RD-9305, Parte 1. Comisión Nacional del Agua. México.

Miles J.C. and Kitmitto. (1989). New Drain flow formula. J. Irrigation & Drainage Engineering. Vol 115, No 2, April, pp 215-230.

Universidad Nacional Agraria "La Molina". (1969). II Curso Nacional de Drenaje de Tierras Agrícolas. Centro de Drenaje y Recuperación de Tierras. Convenio Perú-Holanda. Lima-Perú.

Pacheco, H.P. (1988). Eficiencia de mejoradores químicos en un suelo de la zona de riego El Carrizo, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Ritzema, H. P. (1994). Drainage principles and applications. ILRI Publication 16. Second Edition. Wageningen, The Netherlands.