

# EFFECTO DE DRENES TOPO EN LIXIVIACION DE SALES EN SUELOS PESADOS\*

Antonio Forero S.  
Komain Unhanand\*\*

## 1. INTRODUCCION

El drenaje remueve el exceso de agua en el suelo, proporcionándole una adecuada aireación, necesaria para favorecer los procesos fisiológicos de las plantas y la actividad de microorganismos. Para reducir la concentración salina del suelo a niveles que dependen de la tolerancia de los cultivos, una apropiada cantidad de agua debe pasar a través de la zona radicular; por esta razón, el manejo del agua se convierte en factor predominante en el proceso de lixiviación.

Existen en el mundo muchas regiones en donde la recuperación de suelos salinos es una de las más urgentes necesidades para incorporar mayores áreas a la producción agrícola y poder abastecer las crecientes demandas de fibra y alimento.

Algunas técnicas comúnmente utilizadas para recuperación de suelos salinos, requieren a menudo una considerable inversión inicial, tiempo y aplicación de agua en cantidades apreciables. Ante estas circunstancias, la combinación de drenes topo y la aplicación de agua por aspersión a bajas tasas, puede convertirse en un método económico y eficiente para reducir rápidamente la concentración salina en suelos pesados.

### 1.1. OBJETIVOS.

El principal objetivo de esta investigación consistió en estudiar, directamente en el campo, el efecto

que sobre lixiviación de sales en suelos pesados tiene el uso combinado de drenes topo y una baja tasa de aplicación de agua por aspersión.

## 2. REVISION DE LITERATURA.

### 2.1. PROBLEMAS DE SALES EN LA AGRICULTURA.

Puede decirse en términos generales que los principales componentes de sales en suelos salinos se forman por combinaciones de los siguientes iones: potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cloruro, sulfato, carbonato, bicarbonato y nitrato. Thorne y Peterson (1954), indicaron que los principales efectos tóxicos de las sales en menguar el desarrollo de los cultivos, pueden provenir probablemente de uno o más de los tres siguientes orígenes:

- Efectos físicos directos de las sales, al impedir la toma del agua por las plantas.
- Efectos químicos directos de sales, al alterar los procesos de nutrición y metabolismo de las plantas.
- Efectos indirectos de las sales, al disturbar la estructura, la permeabilidad y la aireación del suelo.

\* Contribución del Programa de Recursos de Agua y Tierra, División de Ingeniería Agrícola, Instituto Colombiano Agropecuario, ICA.

\*\* Respectivamente: Ingeniero Agrónomo, Director Nacional Programa de Recursos de Agua y Tierra, Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, A.A. 151123 Eldorado, Bogotá. Profesor, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Riegos, Utah State University. Logan, Utah, USA.

El tipo de salinidad es de importancia primaria en la determinación de los efectos perjudiciales en los cultivos. En términos de estructura anatómica de la hoja del algodón, Strogonov (1964), encontró que el efecto típico de la salinidad por cloruros, es un decrecimiento en el tamaño de la hoja, un incremento en el tamaño de las células epidérmicas, una disminución en el número de estomas por unidad de área y engrosamiento de la lámina de la hoja, debido a un desarrollo excesivo de la empalizada y de las capas del mesófilo esponjoso. Sus resultados experimentales indican que la salinidad de tipo sulfato, inhibe el crecimiento de las células, más que la división de las mismas. De otra parte, bajo condiciones de salinidad de tipo cloruro, la división celular es fuertemente inhibida, en tanto que el crecimiento es estimulado.

## 2.2. PROCESO DE LIXIVIACION.

El desplazamiento miscible es un fenómeno que tiene lugar cuando un fluido al correr, desplaza a otro del espacio que ocupa, dando lugar a una mezcla entre ellos. Este proceso ocurre cuando en el suelo penetra agua de una concentración salina diferente a la concentración salina de la solución del suelo. Los resultados de este fenómeno pueden observarse en la variación de la concentración de sales en la solución del suelo a lo largo del perfil o en el agua de drenaje que abandona el suelo.

Biggar y Nielsen (1962), indicaron que el movimiento de sales ionizadas en el agua era causado simultáneamente por difusión, mezcla debida a variaciones en la distribución de velocidad y por la interacción física y química de las sales y la matriz sólida durante el flujo.

La tasa de aplicación del agua y el grado de saturación del suelo son factores determinantes en la eficiencia de lixiviación. Estudios de laboratorio adelantados por Keller (1964), señalan que el porcentaje de saturación del suelo durante la aplicación de agua por aspersión, disminuye exponencialmente con la tasa de aplicación. Posteriormente, Keller y Alfaro (1966), demostraron por medio de experimentos de laboratorio que en el desplazamiento miscible que ocurre en el suelo, el efecto de la tasa de flujo de agua y el grado de saturación del suelo tienen interrelación y dependen de la tasa de aplicación. Concluyeron que bajo condiciones de flujo no saturado, la eficiencia de lixiviación se incrementa a medida que disminuye la tasa de aplicación.

Terkeltoub y Babcock (1971), condujeron un experimento utilizando columnas de suelo franco arcillo limoso y franco arenoso, divididas en varias porciones. Se aplicó agua que contenía  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Cl}^-$  a tasas rápidas y lentas pero siempre evitando empozamiento sobre la superficie del suelo.

Se aplicó también yeso ( $\text{Ca}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) sobre la superficie del suelo y se recubrió ésta, con una capa de fibra de vidrio para minimizar la evaporación. Luego de permitir que las columnas de suelo drenaran durante 3 a 4 semanas, se subdividió cada columna en sus porciones originales y se determinó el contenido de humedad para cada porción. Seguidamente se determinaron las sales solubles del extracto de suelo secado al aire. Como resultado de este estudio, las tasas bajas de aplicación de agua, permitieron una lixiviación de sales más eficiente que la obtenida mediante el empleo de altas tasas de aplicación. De otra parte, el movimiento de sales dentro de las columnas de suelo regadas más lentamente, fue paralelo al menor contenido de humedad del suelo y por consiguiente a mayores valores de succión de humedad, que en las regadas con mayor rapidez. La aplicación de este fenómeno, se basa en que el movimiento hacia abajo del agua del suelo, lixivia las sales desde los poros más pequeños, en un mayor grado, con bajos contenidos de humedad.

## 2.3. RECUPERACION DE SUELOS SALINOS.

Se ha venido empleando un buen número de técnicas para recuperación de suelos salinos. El método de embalsar agua sobre la superficie del suelo por varios meses, ha sido la práctica más usada. Sin embargo, por medio de trabajos experimentales se ha podido encontrar métodos de lixiviación más eficientes. Miller, Biggar y Nielsen (1965), indicaron que el embalse intermitente en un suelo franco arcilloso, requirió menor cantidad de agua que el embalse continuo, para obtener el mismo grado de lixiviación. Por otra parte, Nielsen, Biggar y Luthin (1966), demostraron que la aplicación de agua por aspersión es más eficiente en lixiviación que el embalse continuo, en un suelo arcillo limoso.

Oster, Willardson y Hoffman (1973), mediante un experimento, compararon tres técnicas diferentes de recuperación de un suelo **salino arcillo limoso**. Las técnicas comparadas fueron embalse continuo, embalse intermitente y aspersión. La eficiencia en lixiviación se encontró que decrecía en el siguiente orden: embalse intermitente, aspersión y embalse continuo.

El hecho de que la aspersión haya sido más eficiente que el embalse continuo, confirma lo anteriormente expuesto por Miller, Biggar y Nielsen (1965), quienes concluyeron que el desplazamiento de sales es más eficiente bajo condiciones de flujo no saturado.

## 2.4. DRENES TOPO.

Pérez (1969), señala que en 1959 se instaló un sistema de drenes topo en la Granja Experimental de Drenaje de la Universidad del Estado de Utah,

para determinar la conveniencia de este tipo de drenaje. Parte de los drenes fueron revestidos con un plástico delgado y perforado y los restantes se dejaron sin revestimiento. Los espacios utilizados fueron 6, 9 y 12 metros. La profundidad media fue de 56 cm para los drenes revestidos y de 70 cm para los no revestidos. Tanto los drenes no revestidos, como los revestidos, demostraron efecto favorable en lixiviación de sales por medio de embalse continuo. Los drenes no revestidos se destruyeron después del período de lavado; los drenes revestidos en cambio continuaron operando normalmente hasta completar el período de una estación de invierno.

Unhanand (1972), condujo un ensayo preliminar para estudiar la posibilidad del uso de drenes topo como un medio eficiente de lixiviación de sales en suelos pesados. Se instalaron drenes topo sencillos y dobles a 1,8 - 3,7 y 7,3 metros de espacio. El diámetro de los drenes fue de 7,6 cm y la profundidad de 53 cm. Se incluyó en el ensayo un área testigo (sin drenes), con el fin de hacer observaciones comparativas de los resultados. Antes de la instalación de los drenes se tomaron muestras de suelo a varias profundidades para determinar la conductividad eléctrica del extracto de saturación. Durante el ensayo se aplicaron 38 cm de agua por aspersión y se registró una precipitación de aproximadamente 60 cm durante el año. Transcurrido un año desde la instalación de los drenes se determinó la conductividad eléctrica del extracto de saturación de muestras de suelo tomadas de los mismos sitios que las anteriores. El ensayo no tuvo las características de un experimento controlado pero sí permitió observar la bondad de los drenes topo en lixiviación de sales y sirvió además como preámbulo para adelantar el presente estudio.

### 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1. DESCRIPCION DEL AREA EXPERIMENTAL.

El experimento se llevó a cabo en la Granja Experimental de Drenaje de la Universidad del Estado de Utah. Este centro experimental es representativo de tierras pobremente drenadas del valle de Cache, localizado en la parte norte de Utah y sur de Idaho. La altitud del valle es de aproximadamente 1.340 m.s.n.m. y sus suelos han sido formados como resultado de transporte y depósitos fluviales y lacustres. La Granja se caracteriza por sus suelos de textura pesada y por tener muchas áreas con acumulaciones de sal en el perfil del suelo. La salinidad no está uniformemente distribuida y la conductividad eléctrica del extracto de agua de algunos suelos, puede oscilar hasta en 14 mhos por centímetro, desde bajos hasta altos niveles. Los componentes salinos más importantes encontrados en el suelo son: sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, bicarbonatos y sulfatos. Los valores de pH van desde 8,0 a 8,5 reflejando condiciones de alcalinidad.

#### 3.2. DISPOSICION DEL SISTEMA.

El área experimental, aproximadamente 90 metros de longitud por 18 metros de ancho, se dividió en cuatro lotes. En tres de ellos se instalaron drenes topo sencillos, espaciados a 1,8 - 3,7 y 7,3 metros, respectivamente. En el cuarto lote no se instalaron drenes topo, con el fin de ser usado como testigo. Los drenes topo fueron numerados de 1 a 15 como lo muestra la Figura 1.

Se instalaron cuatro pozos transitorios de observación, uno por lote, localizados como lo indica la Figura 1, para hacer observaciones de nivel freático a través del experimento. Los pozos fueron instalados a 1,8 metros de profundidad y con un diámetro de 7,6 centímetros.

Se colocaron dos líneas laterales de aspersión separadas 9 metros, utilizando el mismo espaciamiento entre aspersores. La fuente de agua utilizada fue un pozo artesiano localizado en los predios de la Granja Experimental.

Los drenes topo se construyeron con el implemento que muestra la Figura 2, halado por un tractor D-4 de orugas a una velocidad aproximada de 2,4 km/hr. Todos los drenes fueron instalados a una profundidad cercana a los 46 cm. Los espacios entre drenes fueron los anteriormente anotados y su disposición puede observarse en la Figura 1.

#### 3.3. PROCEDIMIENTOS.

##### 3.3.1. Muestras de Suelo.

Para las determinaciones de conductividad eléctrica se tomó un total de 288 muestras de suelo; la mitad de ellas antes del riego y la otra mitad después del riego. La Figura 1 muestra la localización de los sitios donde se tomaron las muestras. Estas fueron tomadas de cuatro profundidades por sitio: superficial, 0 - 15,15 - 30 y 30 - 45 cm. De las mismas muestras de suelo se prepararon muestras compuestas para cada profundidad y lote experimental, tomando cantidades iguales de suelo para obtener por lote cuatro muestras compuestas. Estas muestras compuestas se utilizaron para determinar las sales solubles en el suelo, antes y después del riego.

##### 3.3.2. Aplicación del Agua de Riego.

La cantidad total de agua de lixiviación fue de 24,41 cm, de los cuales 6,4 cm correspondieron a precipitación y 18,01 cm a aplicación de riego. La tasa de aplicación del agua se mantuvo alrededor de 0,47 cm/hr para evitar encharcamiento; la tasa de infiltración básica del suelo fue de 0,59 cm/hr. Se hicieron 14 aplicaciones de agua en tiempos que variaron desde 2,83 hasta 3 horas. El intervalo de riego fue de 48 horas.

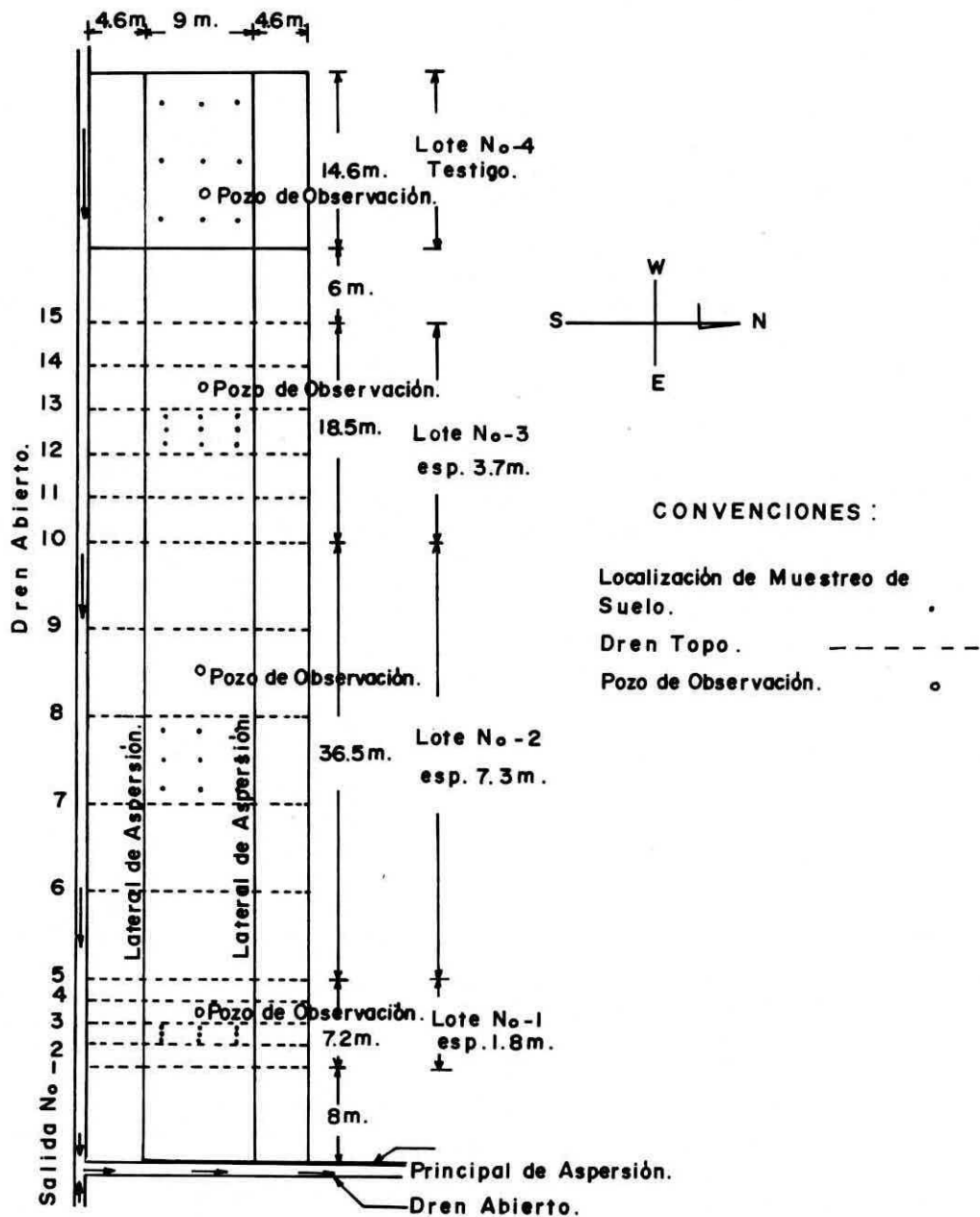


FIGURA 1. Disposición de los lotes experimentales (Granja Experimental de Drenaje US!).

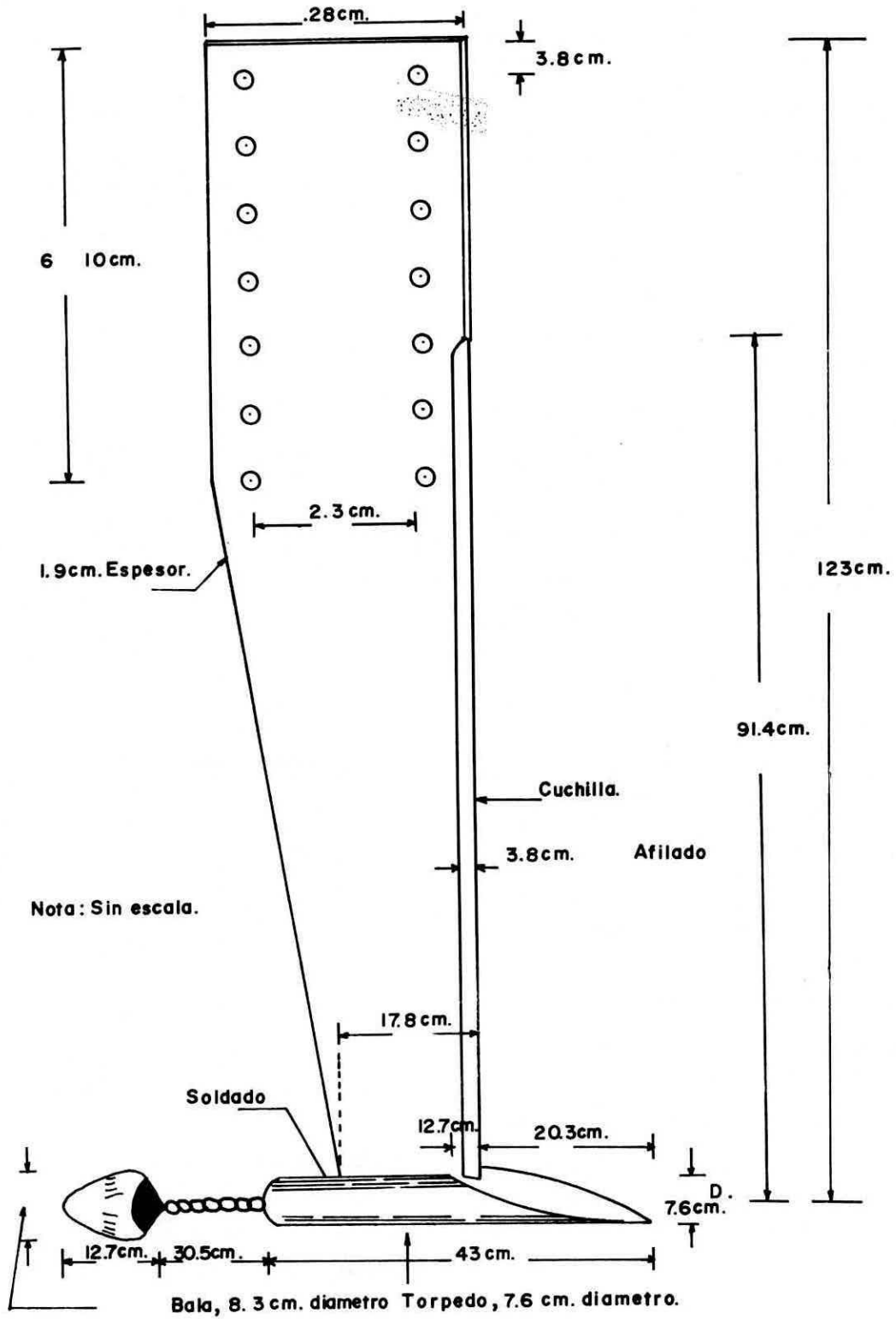


FIGURA 2. Implemento usado para la construcción de los Drenes Topo.

Se hicieron lecturas del nivel freático a 3 - 12 - 24 y 48 horas después de la iniciación de cada riego. Puesto que no presentaron variaciones significativas en el nivel freático, se asumió que no hubo influencia del agua freática en el proceso de lixiviación. Además, el nivel freático se mantuvo a aproximadamente 1,1 metros por debajo de los drenes topo, a través del experimento.

### 3.3.3. Conductividad Eléctrica del agua de drenaje.

Tres horas después de cada riego se hicieron determinaciones de conductividad eléctrica del agua de drenaje, a las salidas de los tres drenes centrales de cada lote. En la Figura 3 se muestra la conductividad eléctrica del agua de drenaje a diferentes valores de lámina acumulada de agua, para el espacio de 1,8 metros. Se observa en esta gráfica que la conductividad eléctrica no cambia sustancialmente después de un valor aproximado de 20 cm de lámina acumulada de agua. Esto sirvió como indicativo de que aplicaciones adicionales de agua serían ineficientes, por cuanto no contribuirían efectivamente a la lixiviación de sales del suelo en estudio.

### 3.3.4. Método de análisis de la información.

La información obtenida de las determinaciones de conductividad eléctrica de los extractos de agua del suelo, fue analizada estadísticamente por medio de pruebas de comparación entre los efectos de lixiviación de los tres diferentes espaciamientos entre drenes topo y del lote testigo. Las siguientes consideraciones se tuvieron en cuenta como bases para el análisis estadístico:

- Conductividad eléctrica del agua de riego.
- Conductividad eléctrica de los extractos 1:1 de agua del suelo, antes y después del riego.
- Se asumió que el agua freática no afectó el proceso de lixiviación.
- La tasa de aplicación y las láminas de agua aplicadas, se consideraron constantes a través del experimento.
- La tasa de infiltración, la conductividad hidráulica y la textura del suelo, se asumieron uniformes para los cuatro lotes.
- Las pérdidas de agua por evaporación se consideraron despreciables.
- El diámetro y la forma de los drenes topo fueron relativamente constantes a lo largo de los mismos.

- La conductividad eléctrica y las sales solubles del agua de riego, no cambiaron durante el experimento.
- El campo experimental fue relativamente plano.
- En el experimento se probaron cuatro tratamientos diferentes: tres espaciamientos entre drenes y un lote testigo (sin drenes). Los tratamientos se asignaron al azar a los cuatro lotes experimentales.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION.

### 4.1. ANALISIS DE VARIANZA.

El diseño experimental utilizado fue el conocido con la denominación: "completamente al azar", puesto que los tratamientos fueron asignados en esta forma a las unidades experimentales (Ostle, B., 1972). La Tabla 1 muestra la información básica para el análisis estadístico.

TABLA 1. Reducción total de sales en toneladas por hectárea para los cuatro tratamientos estudiados.

	Tratamiento No.			
	1	2	3	4
	Espaciamiento entre drenes (m)			
	1,8	3,7	7,3	Testigo (sin drenes)
	14,526	,576	1,307	,585
	2,880	,627	1,198	,795
	4,950	1,867	,951	3,154
	14,311	1,013	,138	,897
	6,442	1,467	1,299	,916
	3,987	3,026	1,176	2,356
	10,122	1,178	,185	2,272
	4,157	3,246	,948	-1,287
	12,328	6,306	10,727	2,398
Total	73,703	19,306	17,930	12,086

Para el análisis de varianza (Tabla 2), se probaron ocho hipótesis a saber:

1.  $H_0 = M_1 = M_2 = M_3 = M_4$
2.  $H_0 = M_1 = M_2$
3.  $H_0 = M_1 = M_3$
4.  $H_0 = M_1 = M_4$
5.  $H_0 = M_2 = M_3$
6.  $H_0 = M_2 = M_4$
7.  $H_0 = M_3 = M_4$
8.  $H_0 = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{3} = M_4$

donde M es la observación media de cada tratamiento y los subíndices 1, 2, 3 y 4 corresponden a los tratamientos de 1,8 - 3,7 y 7,3 metros de espaciamiento entre drenes topo y al testigo, respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza indican lo siguiente:

- Hay diferencias en lixiviación de un tratamiento a otro (prueba de hipótesis No. 1).
- El espaciamiento de 1,8 metros es el más efectivo de los cuatro tratamientos en lixiviación, como lo

demonstran las pruebas de las hipótesis Nos. 2, 3 y 4.

- No hay diferencia significativa en lixiviación entre los lotes con drenes topo espaciados a 3,7 y 7,3 metros, y el lote testigo (pruebas de hipótesis Nos. 5, 6 y 7).
- En los lotes con drenes topo, sin tener en cuenta el espaciamiento, la lixiviación fue más efectiva que en el lote testigo (prueba de hipótesis No. 8).

TABLA 2. Resumen del análisis de varianza para la información experimental de la Tabla 1.

Origen de Variación	Grados de Libertad	F Calculada	F Tabular*	Resultados de prueba
Tratamientos	3	9,740	2,904	Rechazar
1,8 vs 3,7	1	17,373	4,152	Rechazar
1,8 vs 7,3	1	18,262	4,152	Rechazar
1,8 vs Testigo	1	22,289	4,152	Rechazar
3,7 vs 7,3	1	011	4,152	Dejar de rechazar
3,7 vs Testigo	1	306	4,152	Dejar de rechazar
7,3 vs Testigo	1	201	4,152	Dejar de rechazar
1,8 & 3,7 & 7.3 Vs. Testigo	1	5,456	4,152	Rechazar
Error Exp.	32			
Total	35			

\* F Tabular para  $\alpha = 0,5$  y  $(V_1, 32)$ , donde  $V_1$  corresponde a los grados de libertad de cada origen de variación, y 32 son los grados de libertad del error experimental.

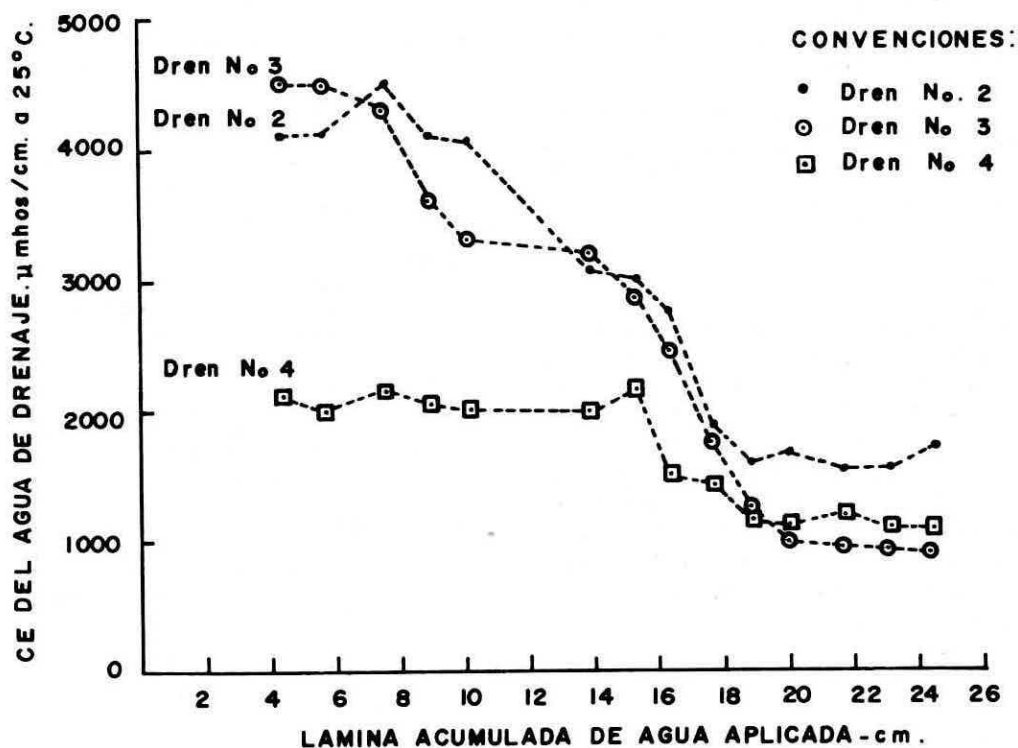


FIGURA 3. Conductividad eléctrica del agua de drenaje en umhos/cm. Lote No. 1. Espaciamiento de drenaje de 1.8 m (Granja Experimental de Drenaje USU).

## 4.2. ANALISIS DE COVARIANZA.

El análisis de covarianza se llevó a cabo para determinar si las diferencias en lixiviación entre los tratamientos, estaban o no influenciadas por las diferencias encontradas en la salinidad inicial entre los cuatro lotes.

De acuerdo con el método de análisis de covarianza, el valor de F calculado resultó ser de 12,10. El valor de F Tabular fue de 2,91 con grados de libertad  $V_1 = 3$  y  $V_2 = 31$  y un nivel de  $\alpha = 0,05$ . Puesto que el valor de F calculado fue superior al de F Tabular, se concluye que los resultados de lixiviación en este experimento, fueron influenciados no solamente por el espaciamiento entre los drenes topo, sino que también hubo influencia por parte de la diferencia en los niveles iniciales de salinidad de los cuatro lotes.

## 5. CONCLUSIONES.

Las conclusiones del estudio pueden resumirse como sigue:

- La lixiviación fue más efectiva en los lotes con drenes topo que en el lote testigo.
- El espaciamiento de 1,8 m entre drenes topo fue el más efectivo en lixiviación; sin embargo, el resultado parece haber tenido alguna influencia por parte de la diferencia en los niveles iniciales de salinidad.
- No hubo diferencia significativa en lixiviación entre los lotes con drenes topo espaciados a 3,7 y 7,3 m, y el lote testigo.
- El uso combinado de drenes topo y bajas tasas de aplicación de agua, podría convertirse en un método económico, efectivo y eficiente en recuperación de suelos salinos.

## 6. RESUMEN.

Se adelantó un estudio para determinar el efecto de drenes topo en lixiviación de sales en suelos pesados, mediante riego por aspersión a una tasa de aplicación de 0,47 cm/hr. Se usaron tres espaciamientos entre drenes: 1,8 - 3,7 y 7,3 m, y un lote testigo, sin drenes. Los resultados del experimento indican que dentro del rango de los tres espacios de drenes probados, la combinación de drenes topo y una baja tasa de aplicación de agua, lixivian las sales más efectivamente que usando solamente una baja tasa de aplicación de agua.

## 7. SUMMARY.

### Effectiveness of mole drains in leaching heavy soils.\*

A field experiment was conducted to determine the effectiveness of mole drains in leaching heavy

soils by means of sprinkler irrigation, at an application rate less than the basic intake rate of the soil. Three mole drain spacings were tested: 1,8, 3,7 and 7,3 meters. All mole drains were installed at a depth of 46 centimeters with 7,6 centimeters in diameter. Results showed that leaching was more effective in the moled plots than in the unmoled plot, regardless of mole spacing. Despite the fact that the mole spacing of 1,8 meters appeared to be the most effective in leaching, an influence of the initial salt concentration of the soil could be observed.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

1. BIGGAR, J.W. and NIELSEN, D.R. Improved leaching practices. California Agricultura. 16:5. 1962.
2. KELLER, J. Less soil compaction with application rate sprinkling. Sprinkler Irrigation Assoc. Proc. 4:45-50. 1964.
3. KELLER, J. and ALFARO, J.F. Effects of water application rate on leaching. Soil Science Society of America Proceedings 102(2):107-114. July. 1966.
4. MILLER, R.J.; BIGGAR, J.W. and NIELSEN, D.R. Chloride displacement in Panoche clay loam in relation to water movement and distribution. Water Resources Research 1:63-73. 1965.
5. NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. and LUTHIN, J.N. Desalinization of soils under controlled unsaturated flow conditions. Sixth Congress International Committee on Irrigation and Drainage, New Delhi 19:15-24. 1966.
6. OSTER, J.D.; WILLARDSON, L.S. and HOFFMAN, G.L. Sprinkling and ponding techniques for reclaiming saline soils. Transactions of the ASAE. 16:89-91. August. 1973.
7. OSTLE, B. Statistics in research. 2nd edition. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, U.S.A. 1972. 585 p.
8. PEREZ, M. The capability of the Utah State University Drainage Farm as an irrigation and drainage demonstration project. M.S. report. Utah State University, Logan, Utah. 1969. 52 p.
9. STROGONOV, B.P. Physiological basis of salt tolerance of plants. Translated and edited by Alexandra Poljakoff-Mayber and A.M. Mayer. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations. 1964. 279 p.
10. TERKELTOUB, R.W. and BABCOCK, K.L. Calculation of the leaching required to reduce the salinity of a particular soil depth beneath a specified value. Soil Science Society of America Proceedings. 35:411-416. 1971.
11. THORNE, D.W. and PETERSON, H.B. Irrigated soils, their fertility and management. 2nd edition. New York, Blakiston Co. Inc. 1954. 392 p.
12. UNHANAND, K. Irrigation and drainage by mole systems. Progress report. Agric. and Irrig. Engr. Dept., Utah State University, Logan, Utah. 1972. 52 p.