

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
SUBSECRETARIA DE OPERACION
DIRECCION GENERAL DE DISTRITOS DE RIEGO
DIRECCION DE ESTADISTICA Y ESTUDIOS ECONOMICOS

LA SALINIZACION DEL SUELO Y DEL AGUA SUBTERRANEA,
BAJO UNA AGRICULTURA DE RIEGO DIVERSIFICADA



MEMORANDUM TECNICO Núm. 338

MEXICO, D.F. FEBRERO DE 1975

003

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
SUBSECRETARIA DE OPERACION
DIRECCION GENERAL DE DISTRITOS DE RIEGO
DIRECCION DE ESTADISTICA Y ESTUDIOS ECONOMICOS

MEMORANDUM TECNICO NUM. 338

LA SALINIZACION DEL SUELO Y DEL AGUA SUBTERRANEA,
BAJO UNA AGRICULTURA DE RIEGO DIVERSIFICADA

Tradujeron del Inglés
y Adaptaron

Ing. Albero Martínez Camacho
Ing. José Luis de la Loma O.

Para este Memorándum se tradujo y adaptó el trabajo titulado "Soil and Ground-Water Salinization Beneath --- Diversified Irrigated Agriculture", original de H. I. -- Nightingale, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, publicado en la revista "Soil Science", Vol. 118, N° 6, de Diciembre de 1974.

México, D. F., Febrero de 1975

LA SALINIZACION DEL SUELO Y DEL AGUA SUBTERRANEA,
BAJO UNA AGRICULTURA DE RIEGO DIVERSIFICADA

S I N O P S I S

La evaluación de la salinización del agua subterránea en un área de agricultura de riego diversificada, requiere de un estudio a escala de campo. Se sugieren métodos para reducción de datos, y se ilustran considerando cuatro casos de cultivos -- (suelos no cultivados, vides, cultivos de escarda y huertos de frutales) con magnitudes variables de la salinidad del suelo, a una profundidad de 6.1 metros, y evaluando la importancia de la clase de cultivo como contribuyente a la salinidad del suelo. Se utilizaron los datos sobre salinidad del suelo para la construcción de la curva de probabilidades de salinidad del agua subterránea. La curva de probabilidades de salinidad, basada en el muestreo de un pozo local durante un período de 3 años, mostró una coincidencia favorable con la curva calculada.

PLANTEAMIENTO

La agricultura de riego tiene un tremendo efecto sobre el medio ambiente, y es evidente que los sistemas de riego y las prácticas de riego más antiguas, no fueron una excepción - -

(Nace, 1972). En general, el efecto parece ser favorable al principio, pero la salinización del suelo y del agua subterránea, ha generado problemas en casi todas las zonas áridas donde se ha requerido el riego. Actualmente es más esencial que nunca, una pronta detección y evaluación de las tasas de salinización en relación con el tipo de cultivo practicado y el manejo del agua, dadas las condiciones de riego intensivo de la agricultura actual.

El agua subterránea desempeña un papel esencial en el ciclo hidrológico (Gelhar 1972), puesto que un 98 por ciento -- aproximadamente del agua dulce del mundo se encuentra bajo tierra. Esta vasta reserva de agua subsuperficial y su sistema de transmisión, han empezado a tomar gran importancia en el abastecimiento de agua actual, y dicha reserva está sujeta a la contaminación. El deterioro de la pureza química y biológica del agua subterránea es difícil de evaluar y más aún de controlar. Se han dado a conocer investigaciones relativas a la calidad del agua subterránea, a través de los trabajos de Aldrich (1972), Ballentine (1972), Bingham (1972), Gelhar (1972), Lin (1972), Nelson (1972), Nightingale (1970), Viets (1971), así como por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica (1954).

La calidad química del agua subterránea se evalúa tomando muestras en pozos y manantiales. Una muestra de agua subterránea, es usualmente una mezcla de aguas y sales, procedentes de distintas fuentes de recargo, con distintas vías de aportación. De aquí que la calidad del agua subterránea alrededor de un pozo en bombeo, pueda no estar relacionada con las actividades llevadas a cabo en la superficie de los campos de cultivo cercanos al pozo. La salinización es un proceso natural que puede ser aumentado o no, por el riego y por la producción agrícola. Estos procesos dan por resultado una amplia variabilidad en cualquiera de los parámetros relativos a la calidad química del agua subterránea, para un área determinada - en estudio. Esta variabilidad debe considerarse aplicando -- los criterios que sea posible establecer, sobre las relaciones cultivos-salinidad del suelo - calidad del agua subterránea.

Para este estudio, se observó durante 6 años el grado de salinización y su variabilidad en el agua subterránea de un área sometida a riego intensivo. Hasta antes de la llegada del hombre al área en estudio, allá por 1866 (Teilman y Shafer 1943), la excelente calidad del agua subterránea se debía probablemente a un estado de equilibrio o balance salino, en el cual el proceso "natural" de salinización estaba equilibrado,

merced a la dilución producida por la lluvia y por el drenaje propio del área. Bajo tales condiciones, la magnitud y variabilidad de la salinidad del suelo y del agua subterránea, serían sensiblemente constantes a través del tiempo. Con el advenimiento de la agricultura de riego, el estado original de equilibrio salino muy probablemente fue alterado; en primer lugar, por cambios en la intemperización de los minerales y en las tasas de evapotranspiración. Debe determinarse la intensidad de esta alteración adecuadamente, para cada tipo de cultivo y riego que se requiera, para una explotación agrícola económica. Hay que tener en cuenta que debe existir una correlación entre la salinidad del agua subterránea, la salinidad del suelo, la clase de cultivo y su modo de explotación.

Este trabajo presenta los métodos empleados y los resultados obtenidos en una evaluación a gran escala en el campo, del efecto de "cuatro clases de cultivos" sobre los niveles de salinidad del suelo, usando métodos de reducción de datos que se basan en el uso de distribuciones de frecuencias (Davis 1966), pruebas estadísticas no paramétricas (Siegel 1956, -- Siddiqui y Parizeq 1972) y en pruebas estadísticas normales -- (Snedecor y Cochran 1956). Los principales objetivos fueron -- determinar los cambios de salinidad del suelo en función de la profundidad, y la distribución de frecuencias acumuladas de --

los niveles de salinidad del suelo en relación a la "clase de cultivos" y su importancia relativa, así como establecer y comparar una conductividad eléctrica CE calculada para agua subterránea, basada en la información sobre la salinidad del suelo, con la distribución de frecuencias acumuladas de los valores de CE del agua subterránea, observados en el área de estudio.

M E T O D O S

Area de Estudio

El área en estudio fue una superficie de 86.506 hectáreas, sometida a riego intenso y ubicada en las cercanías de Fresno County, California, en la zona Este del Valle de San Joaquín, entre los ríos Kings y San Joaquín. Esta área, constituída por depósitos aluviales no consolidados (Page y Le Blanc --- 1969), procedente de las rocas graníficas de la Sierra Nevada, situada al Este, fue escogida por tres razones:

- a) La importancia de la recarga incidental de agua subterránea, que está relacionada con la agricultura de riego y la conducción de agua al área metropolitana de Fresno-Clovis, la cual depende de los mantos acuíferos subterráneos para el abastecimiento de agua potable.

- b) La existencia de información sobre calidad del agua subterránea obtenidos por Fresno Field Station, del Departamento de Agricultura de EE.UU y por otras dependencias del gobierno, tanto locales como estatales.
- c) La gran variedad de cultivos practicados en el área bajo prácticas variables de fertilización y riego.

Las asociaciones de suelo comunes en el área son Hanford-Hesperia, Hesperia-Hanford, Delhi-Colhi, Tujunga-Grangeville y Sn. Joaquin-Exeter.

Localización de los Estudios

Se seleccionaron 70 parcelas y se tomaron muestras de sus perfiles durante el verano y el otoño de 1969. La Figura 1 muestra la localización, el número de la parcela, y la clase de cultivo practicado en cada una de ellas.

Entre las parcelas elegidas, hubo doce sin cultivo (enhierbadas), en veinte se practicaba el cultivo de la vid (distintas variedades). Las veintidos parcelas con cultivos

de escarda, estaban constituídas por siete de algodón, tres de cebolla, dos de maíz, dos de frambuesa "Beysen", y una de cada una de las siguientes especies, berenjena, calabaza, pituela, rábano, coliflor, ejote, perejil y fresa. Respecto a los frutales, hubo cinco parcelas de nogal, tres de naranjos, tres de duraznos, dos de ciruelos, dos de almendros y una de nísperos.

De la información histórica proporcionada por los agricultores, resultó que los viñedos tenían un promedio de edad de 36 años, con una variación de 3 a 75 años. El promedio de edad de los huertos de frutales era de 17 años, siendo las plantaciones de nogal las más antiguas (30 a 50 años), y las de naranjo las más recientes (menos de 8 años). La superficie ocupada por los cultivos de escarda ha estado en producción durante un período de 6.5 años como promedio (con una variación de 1 a 12 años); gran parte de esta superficie estuvo anteriormente dedicada al cultivo de la vid o al cultivo de forrajes de riego.

Las necesidades anuales de riego para la vid, los frutales de hoja caediza, los naranjos y los cultivos de escarda, varían de 0.91 a 1.52, de 0.91 a 1.83, de 1.07 a 1.37, y de 1.83 a 2.44 metros, respectivamente. De aquí que la lámina

de agua requerida pueda ser un factor primordial en relación con los niveles de salinidad del suelo.

Se obtuvo una muestra de suelo para cada 0.3 metros (1 pie) de profundidad, empleando barrenas de mano. Se determinaron en cada punto de muestreo los cambios de textura del suelo, al ir profundizando la perforación. Para formar las muestras, se profundizó hasta 6.1 metros (20 pies), salvo en los casos en que se detuvo por la presencia de gravas muy bastas, mantos de agua o por losas de hierro-sílice cementadas o capas de suelo compactado que no fue posible penetrar.

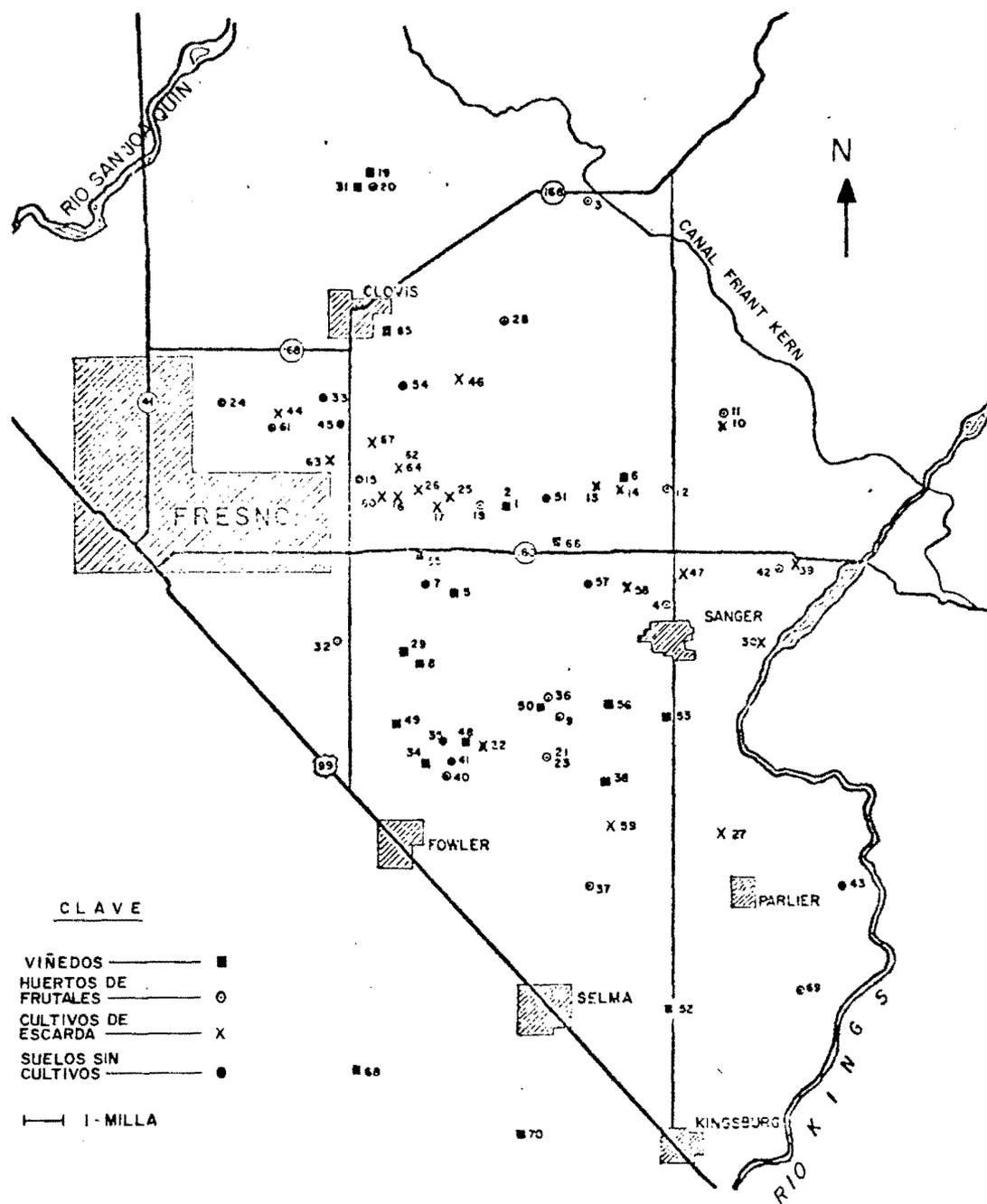


FIG. 1. LOCALIZACION DEL ARCO DE ESTUDIO Y DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

Análisis del Suelo

El contenido de agua del suelo se determinó, secando las muestras en estufa a una temperatura de 105°C. Se preparó una suspensión 1:1 de suelo-agua y se agitó durante 2 horas en un agitador de movimiento alternativo, sometiéndose de inmediato a un filtrado a presión, empleando para tal efecto un extractor Baroid*

Se midió la conductividad eléctrica CE del filtrado obtenido, utilizando un medidor de conductividad Beckman, modelo RC-18A, consignándose los resultados en mmhos o μ mmhos/cm a 25°C. Tanto para el agua subterránea, como para la suspensión suelo-agua en proporción 1:1 de esta área de estudio, se pudo representar satisfactoriamente la relación entre el total de sales solubles (TSS en mg/l) determinada por análisis gravimétrico (APHA 1965) y la conductividad eléctrica CE, por medio de la ecuación de regresión lineal:

$$CE \times 10^6 = 1.6156 \text{ TSS} - 22.97$$

para valores de CE menores que 1.5 mmhos/cm.

* Se citan marcas y nombres de compañías comerciales para beneficio del lector, pero esto no implica ninguna propaganda o trato de preferencia dentro de los productos citados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

El contenido de nitratos del suelo en función de la profundidad, clase de cultivo y fertilización con nitrógeno, se han dado a conocer en una publicación anterior (Nightingale 1972).

Métodos Estadísticos

A partir de la evaluación de la CE a diferentes profundidades, en cada uno de los puntos de estudio, y con la media aritmética de CE y su desviación típica (Snedecor y - - - Cochran 1956) para cada capa de 0.3 metros de profundidad y una clase de cultivo determinado, se infirió que a profundidades mayores de 1.83 metros, la variabilidad en la salinidad del suelo dentro de las parcelas dedicadas a cada cultivo era casi constante. El grado de salinización queda mejor expresado, en las capas situadas por encima de los 1.83 metros, por los valores de la salinidad del agua subterránea, que por los de la salinidad del suelo.

Los métodos estadísticos utilizados para este trabajo son similares a los empleados para evaluar la fertilización nitrogenada y los nitratos del suelo (Nightingale 1972) complementados con una prueba estadística no paramétrica de Kruskal - Wallis (Siddiqui y Parizek 1972).

Los valores de la salinidad del suelo y del agua subterránea no siguen una distribución normal. Consecuentemente, cabe esperar que los valores de la media aritmética sean mayores que los de la media geométrica, a causa del sesgo positivo inducido por el parámetro calidad del agua (Davis 1966). Las medias aritméticas, aun en combinación con las desviaciones típicas, no proporcionan evaluaciones suficientemente precisas de la salinidad del suelo, en las zonas extremas de la distribución. Una modificación en la desviación típica o en la media aritmética, puede indicar que se ha producido algún cambio, pero no permite identificar la localización de ese cambio en el espectro de valores.

RESULTADOS Y DISCUSION

Salinidad del Suelo:

En la Figura 2, se ilustra la variación de la salinidad del suelo con la profundidad, hasta los 6.1 metros, para cada uno de los cuatro tipos de cultivos considerados, expresando la media aritmética de la salinidad, en miligramos del total de sales solubles (TSS) por kilogramo de suelo seco, y para cada capa de 0.3 metros de espesor en el perfil (excepto la de -- 0.0 a 0.3 metros de profundidad). Los datos presentados en es

ta forma, sugieren que las distribuciones de la salinidad del suelo en los viñedos y en suelos sin cultivo, son parecidas, pero al mismo tiempo sus valores son el doble aproximadamente, que en el caso de las tierras con cultivos de escarda, en profundidades menores de 1.2 metros.

La salinidad del suelo en el caso de los huertos de frutales, se incrementa con la profundidad hasta alcanzar un máximo de 177 ± 37 mg TSS/kg, en el intervalo de 1.83 a 2.44 metros de profundidad, decreciendo y alcanzando valores semejantes a los encontrados a los 6.1 metros en los suelos con los otros tipos de cultivos estudiados.

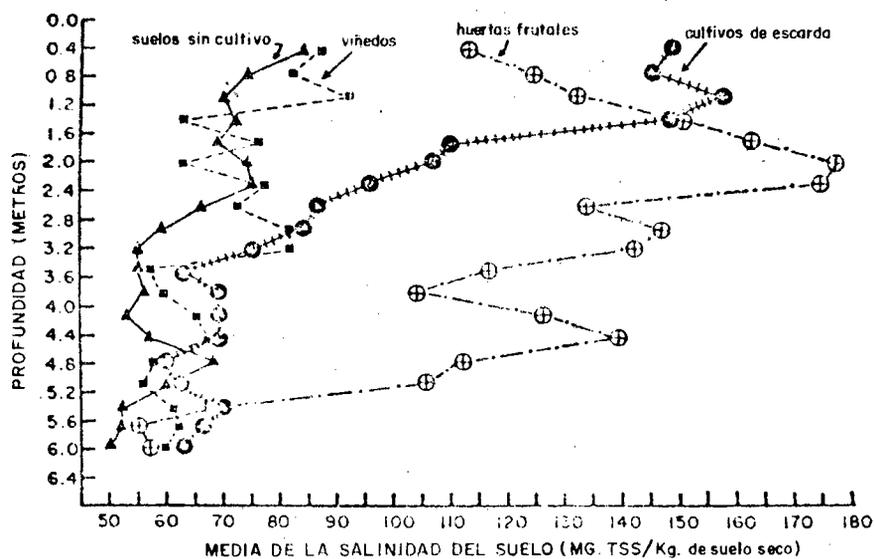


FIG. 2. VARIACION DE LA MEDIA ARITMETICA DE LA SALINIDAD DEL SUELO CON LA PROFUNDIDAD PARA LAS CUATRO CLASES DE CULTIVOS CONSIDERADOS.

La zona comprendida entre los 1.83 y 2.46 metros de profundidad, que es la de más alta salinidad, corresponde a la profundidad que suelen alcanzar las raíces de los frutales. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que, en un 70 por ciento de los huertos, se encontraron suelos con textura moderadamente fina, en el intervalo comprendido entre los 1.53 y los 2.75 metros de profundidad, porcentaje que es aproximadamente el doble del de la frecuencia con que esta textura se presenta en las áreas destinadas a las otras clases de cultivo. Además, los suelos inmediatamente por encima de las capas de textura fina o losas, fueron más salinos que los situados por debajo de dichas capas, independientemente de la clase de cultivo. Así, como se podría esperar, los horizontes que restringen el flujo de humedad, restringen también el movimiento de las sales.

Estos resultados muestran que los efectos de la salinidad del suelo en el desarrollo de los cultivos, pueden ser despreciables en el área de estudio (Laboratorio de Salinidad de los EE.UU 1954). Lo anterior queda confirmado por el hecho de que la productividad se ha mantenido alta de un modo constante. Se puede inferir de esto que la salinidad del suelo, en el intervalo de 1.83 a 6.10 metros de profundidad, para las distintas clases de cultivo, ha alcanzado un cierto estado de equilibrio,

con respecto a las tasas de intemperización de los minerales, riego-carga de agua salina, evapotranspiración e infiltración, de acuerdo con las condiciones climatológicas y del manejo del agua. Si dicha inferencia fuera válida, los niveles de salinidad del suelo y la variabilidad registrada en el intervalo de 1.83 a 6.10 metros de profundidad, pueden ser diferentes para las clases de cultivos considerados.

Variabilidad en la Salinidad del Suelo

En la Figura 3, se presentan las curvas de frecuencia acumulada (en porcentaje) de los valores de la concentración de sales en el suelo (mg TSS/kg) que se observaron; tales curvas ilustran las magnitudes de la salinidad del suelo y sus variabilidades en el intervalo de 1.83 a 6.10 metros de profundidad, para las diferentes clases de cultivos. Estos datos proporcionan información para comparar la probabilidad de que se presenten diversos niveles de salinidad del suelo, en relación con los cultivos practicados en el área en estudio. Por ejemplo, las curvas de distribución de la Figura 3, pueden interpretarse como sigue: dentro del intervalo de 1.83 a 6.10 metros de profundidad, cabe esperar que el 20 por ciento de las muestras de suelo sin cultivo, con viñedos, cultivos de escarada o frutales, tengan más de 68, 82, 95 y 196 mg de TSS/kg de

suelo seco, respectivamente. Otra forma de interpretar las curvas antes citadas, es que puede esperarse un 41, 67, 78 y 88 -- por ciento de muestras de suelo destinados a frutales, cultivos de escarda, viñedos o sin cultivo, respectivamente, con menos de 80 mg de TSS/kg de suelo seco. El número de observaciones (muestras de suelo) en las curvas de probabilidad de suelos sin cultivo, con viñedos, con cultivos de escarda y con frutales, fueron 72, 206, 181 y 97, respectivamente. Como es común, cuanto mayor sea el número de observaciones, resulta mejor la curva trazada siguiendo los puntos correspondientes (en este caso, los puntos medios de los intervalos de clase de salinidad seleccionados y los porcentajes de frecuencia acumulada), y la curva de probabilidad inferida que estará más ajustada, se aproxima al universo de valores de la salinidad del suelo (Chapman y Shaufele 1970).

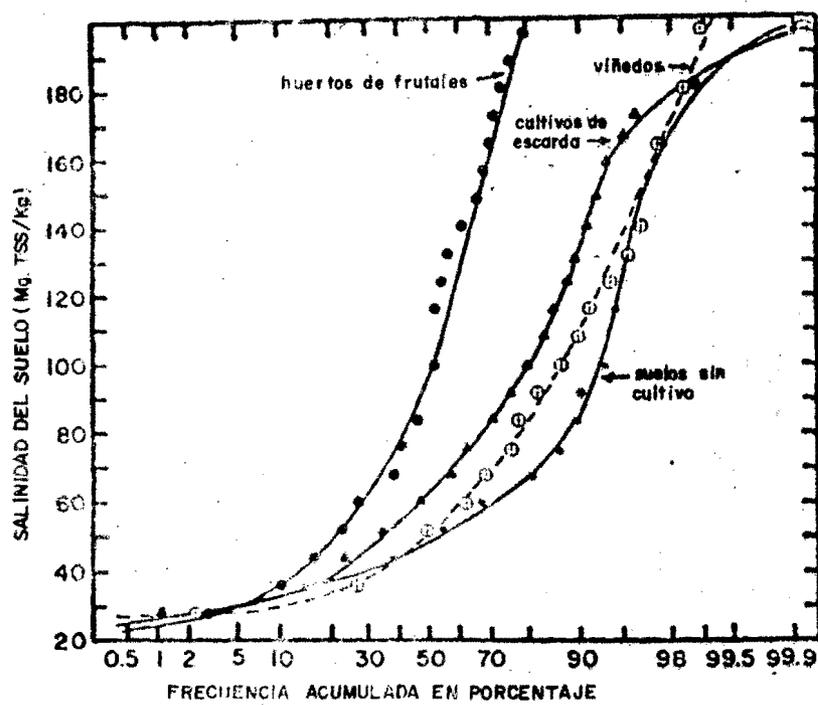


FIG. 3. CURVAS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LA SALINIDAD DEL SUELO EN EL ESPESOR DEL PERFIL COMPRENDIDO ENTRE 1.83 Y 6.10 METROS DE PROFUNDIDAD.

La presentación de los datos de salinidad de la Figura 3, no permite determinar si hay alguna diferencia estadísticamente significativa entre las salinidades de los suelos, destinados a las distintas clases de cultivo. El análisis unidireccional de varianzas por rangos, de Kruskal-Wallis, indica si las --muestras independientes de suelo, pertenecen a un mismo universo continuo (Sidiqui y Parizek 1972). El parámetro estadístico "H" de Kruskal-Wallis, calculado y corregido por interacciones, resultó 55.31. En vista de que el número de observaciones para cada clase de cultivo fue mayor que 5, H sigue aproximadamente la distribución "chi cuadrada", con 3 grados de libertad. Puede concluirse, por tanto, que existe una diferencia significativa - al nivel de probabilidad menor de 0.5 por ciento, por lo que la salinidad del suelo en el intervalo de 1.83 a 6.10 metros de profundidad, es diferente para las cuatro clases de cultivo considerados.

La Tabla 1, presenta una comparación entre la media --aritmética y la media geométrica de la salinidad del suelo. La media aritmética se basa en la suposición de que la variación en la salinidad del suelo se distribuye normalmente, lo cual no sucede en realidad en el área.

T A B L A 1

COMPARACION ENTRE LA MEDIA ARITMETICA Y LA MEDIA GEOMETRICA DE MG TSS/KG DE SUELO SECO,
EN EL INTERVALO DE 1.83 A 6.10 METROS DE PROFUNDIDAD, PARA LAS CUATRO CLASES DE CULTIVOS

CLASE DE CULTIVO	NUMERO DE OBSERVACIONES	MEDIA ARITMETICA Y SU DESVIACION TIPICA	MEDIA GEOMETRICA SEGUN LA FIG. 3
SUELOS SIN CULTIVOS	72	61.6 ± 10.9	49
VIÑEDOS	206	65.7 ± 8.1	52
CULTIVOS DE ESCARDA	181	74.1 ± 9.5	63
HUERTOS DE FRUTALES	97	118.4 ± 30.0	97

Por consiguiente, la media aritmética da valores demasiado altos al estimar la media de la distribución de la salinidad del suelo. Se aplicó el método no paramétrico (también conocido como distribución libre), pues parece ser el más aceptable para generalizar las relaciones cultivo-salinidad del suelo, en un área de estudio de magnitud considerable. El valor de la media geométrica, obtenido a partir de una curva de frecuencia acumulada, expresado en porcentaje, posee la gran ventaja de que el valor medio del universo de valores de salinidad, se determina a partir de una gráfica de probabilidad, a la cual se le ha llamado ocasionalmente media de probabilidad.

Relaciones Salinidad del Suelo - Clase de Cultivo

Tal como se puede ver en la Figura 3, y lo ha indicado la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, son significativamente diferentes los niveles de salinidad del suelo, para las cuatro clases de cultivos considerados. Sin embargo, se pueden conjuntar los datos sobre salinidad del suelo para tratar el área en estudio como un todo, obteniéndose una sola curva de frecuencias acumuladas en porcentaje de salinidad del suelo para el estrato de 1.83 a 6.10 metros de profundidad.

En la Figura 4 se presenta la curva de salinidad del área total, registrada en el otoño de 1969. La media geométrica del área total fue de 58 mg TSS/kg de suelo. Si se muestrea el área de estudio, por ejemplo, 10 años después y la nueva curva se ha desplazado hacia arriba, pero se mantiene la forma de la curva inicial, se puede inferir que el área ha sufrido un incremento de salinidad de la misma magnitud esencialmente en toda su extensión. Un desplazamiento vertical, aunado a un incremento en la pendiente de la curva, indicaría un aumento en la salinidad del suelo, pero con mayor variabilidad dentro del área. Si la curva se desplaza hacia abajo y su pendiente disminuye, quiere decir que el suelo se está desalinizando.

La curva de frecuencias acumuladas de salinidad del suelo que se muestra en la Figura 4, se dividió subjetivamente en segmentos o rangos de salinidad desde A hasta F. La importancia relativa de cada clase de cultivo, es decir, la frecuencia con que se presenta expresada en porcentaje dentro de los rangos de salinidad establecidos, se muestra en los diagramas circulares de la Figura 4. A continuación se expone la interpretación de la Figura 4: sobre la base de un muestreo aleatorio de la salinidad del suelo en la capa comprendida entre --- 1.83 a 6.10 metros de profundidad, muestreo que es aleatorio, tanto respecto a la clase de cultivo como a la localización de los puntos de sondeo, cabe esperar que la salinidad del suelo

sea menor que 40 mg TSS/kg de suelo, en un 25 por ciento de las muestras. Además, dentro del rango de 0 a 40 mg TSS/kg, debe esperarse que, como se ve en los porcentajes de la gráfica circular A, la importancia relativa de las clases de cultivo respecto a la salinidad del suelo, decrece en el siguiente orden: viñedos, cultivos de escarda, suelos sin cultivar y huertos de frutales.

En el otro extremo, cabe esperar que se presenten en un 5 por ciento de los casos, valores de salinidad del suelo mayores que 190 mg TSS/kg, registrándose principalmente en los suelos de las plantaciones de frutales, en menor grado y en proporción aproximadamente igual en los suelos sin cultivar y con viñedos, y más rara vez, en los terrenos con cultivos de escarda.

Estos procesos dan una representación concisa de la variación total de la salinidad del suelo dentro de una gran área, en relación con los cultivos, así como la importancia relativa de los diversos cultivos o grupos de ellos, dentro del nivel general de salinidad del suelo.

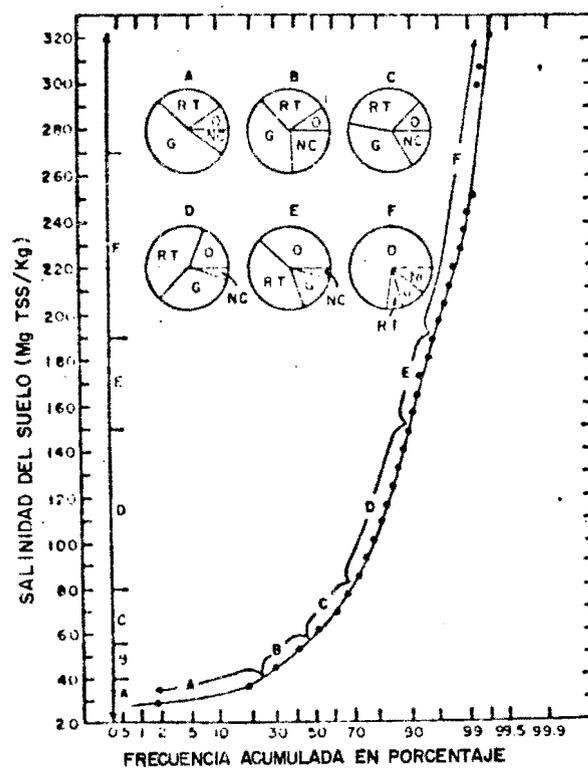


FIG. 4. CURVA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LA SALINIDAD DEL SUELO PARA LAS CUATRO CLASES DE CULTIVOS COMBINADOS, EN EL ESPESOR DEL PERFIL COMPRENDIDO ENTRE 1.83 Y 6.10 METROS DE PROFUNDIDAD, BASADA EN 556 OBSERVACIONES. LAS GRAFICAS CIRCULARES MUESTRAN LA DISTRIBUCION DE LAS CUATRO CLASES DE CULTIVOS DENTRO DE LOS SEGMENTOS DE LA CURVA A-F. NC, INDICA SUELOS SIN CULTIVOS; G, VIÑEDOS; RT, CULTIVOS DE ESCARDA Y O, HUERTOS DE FRUTALES.

Salinidad del Agua Subterránea Calculada y Observada

Si la salinidad del agua subterránea está realmente relacionada con la salinidad del suelo, en un área agrícola de extensión considerable, las magnitudes de la salinidad del agua -- subterránea y su variabilidad, especialmente en las regiones superiores de la masa de agua subterránea no confinada, deberían ser semejantes a la cantidad de sales solubles y a la variabilidad observadas en los suelos cerca del nivel freático. Sin embargo, la salinidad del agua subterránea en los pozos cercanos a los puntos de muestreo y la salinidad del suelo, presentaron una correlación baja.

Para el cálculo estadístico de la salinidad del agua - subterránea se hicieron tres suposiciones:

- a) que la curva de distribución de la concentración de la salinidad del suelo, describe razonablemente la variabilidad en el universo de los valores de la salinidad del suelo para el espesor del mismo comprendido entre 1.83 y 6.10 metros.
- b) Que la salinidad del suelo en la zona, se mantuvo en estado de equilibrio de 1969 a 1972.

- c) Que un contenido de agua del 22 por ciento en peso, es una estimación razonable del que se necesite para saturar las texturas del suelo comunes en el espesor del perfil considerado (Nightingale 1972) y que toda el agua del suelo se incorpora al agua subterránea.

En la Figura 5 se comparan la curva de concentración -- probable de salinidad del agua subterránea (CE), calculada sobre la base de las suposiciones antes citadas, con la basada en los valores de CE observados en el agua subterránea. La media geométrica de la CE calculada para el agua subterránea fue 390 $\mu\text{mhos/cm}$, contra 420 $\mu\text{mhos/cm}$, que fue la media geométrica de los valores CE observados. La diferencia se pudo deber en parte, a haber supuesto en los cálculos que el agua añadida para alcanzar el nivel de saturación, era agua sin contenido de sales, lo cual, bajo condiciones de campo, no es válido. Además, la variabilidad de la salinidad calculada para el agua subterránea, fue mayor que la variabilidad observada. Los resultados confirman la hipótesis de que las concentraciones de salinidad del agua subterránea y su variabilidad en el área de estudio, están asociadas con los niveles de salinidad del suelo y su variabilidad en la parte del perfil del suelo comprendida entre 1.83 y 6.10 metros de profundidad.

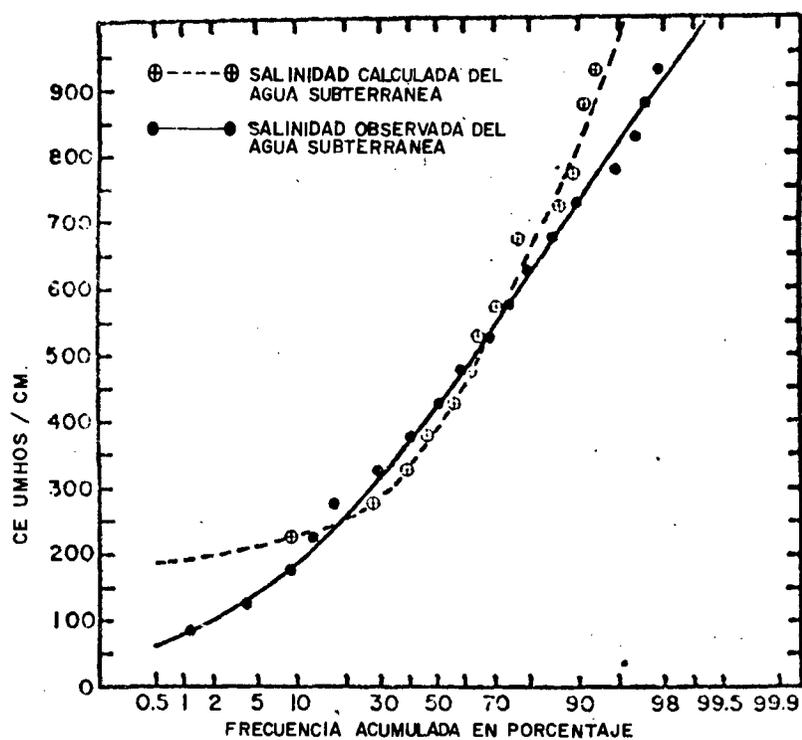


FIG. 5. COMPARACION ENTRE LA CURVA CALCULADA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LA SALINIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA, A PARTIR DE DATOS DE SALINIDAD DEL SUELO, Y LA CURVA DE DISTRIBUCION OBSERVADA, FORMADA A PARTIR DE LOS VALORES DE CE REGISTRADOS EN APROXIMADAMENTE 80 POZOS MUESTREADOS EN EL AREA DE ESTUDIO EN 1969, 1970 Y 1972.

El proceso se podría refinar considerablemente, si se establecieran números de puntos de muestreo en forma proporcional a la superficie de las distintas clases de cultivos considerados, y se mejorase la estimación de la cantidad de agua necesaria para alcanzar la saturación.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un estudio a nivel de campo, y métodos de reducción de datos para evaluar las relaciones entre distintas clases de cultivos determinados (deben ser cultivos tratados de un modo similar) con las concentraciones de salinidad del suelo y con la salinidad del agua subterránea, dentro de un área de tamaño importante. Se considera la variabilidad inherente y se sugieren métodos para determinar la importancia relativa de los cultivos, como contribuyentes a la salinidad del suelo y del agua subterránea.

Se presentan curvas de frecuencias acumuladas en porcentaje para las concentraciones de salinidad del suelo, en el espesor del perfil entre 1.83 y 6.10 metros de profundidad, para cada una de las cuatro clases de cultivo siguientes: sin cultivo, pero enhierbados, viñedos, cultivos de escarda y huertos de frutales.

Los resultados muestran que la variabilidad y la me dia geométrica de la concentración de la salinidad del suelo, dependen de la clase de cultivo y de su manejo. La media geo métrica de la salinidad del suelo en el espesor del perfil -- comprendido entre 1.83 y 6.10 metros en terrenos sin cultivar, con viñedos, con cultivos de escarda y con frutales, fue de -- 49, 52, 63 y 99 mg TSS/kg de suelo seco, respectivamente. La prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, mostró -- que las salinidades del suelo bajo las distintas clases de cul tivo consideradas, tenían diferencias altamente significativas, a un nivel de probabilidad menor de 0.5 por ciento. La media geométrica de la salinidad del suelo del área total, calculada a partir de 556 observaciones, fue de 58 mg TSS/kg.

La importancia relativa de los valores de la salini- dad del suelo para las diferentes clases de cultivo, se deter- minó a partir de segmentos, establecidos subjetivamente, den- tro de la curva de distribución de las concentraciones de sali nidad del suelo del área total, para el espesor del perfil com prendido entre 1.83 y 6.10 metros de profundidad. Dentro de los casos en que la salinidad del suelo excedía de 190 mg TSS/ kg, el 73.3 por ciento correspondieron a terrenos con planta- ciones de frutales. Dentro de los casos en que la salinidad - del suelo era menor de 40 mg TSS/kg, el 52.8 por ciento corres

pondía a viñedos y el 28.3 por ciento a cultivos de escarda.

La curva de frecuencias acumuladas en porcentaje de la concentración de salinidad del agua subterránea (CE en $\mu\text{mhos/cm}$), definida según el muestreo de los mismos pozos (alrededor de 80) en 1969, 1970 y 1972, con un total de 244 observaciones, coincidió satisfactoriamente con la curva calculada sobre la base de 556 valores de salinidad del suelo, en el espesor del perfil comprendido entre 1.83 a 6.10 metros de profundidad, para todas las clases de cultivos considerados. La media geométrica calculada para los valores de CE del agua subterránea fue de 390 $\mu\text{mhos/cm}$, en comparación con la media geométrica de CE observada que fue de 420 $\mu\text{mhos/cm}$. La variabilidad observada fue un poco menor que la variabilidad calculada.

Los procedimientos ilustrados en este trabajo, muestran que la salinidad del agua subterránea puede relacionarse con la salinidad del suelo, y con el manejo de los cultivos de riego a nivel de campo, por medio de un muestreo intensivo del suelo, o quizá, mediante el empleo de criterios y técnicas modernos para medir in situ la salinidad del suelo, como los que han sido propuestos por Enfield y Evans (1969), Rhoades e Ingvalson (1971), Shea y Luthin (1961), y Oster y Willardson

(1971). Combinando las pruebas estadísticas no paramétricas con la instrumentación para medir la salinidad in situ y con los métodos para predecir el movimiento de las sales - - - (Terkeltoub y Babcock, 1971), se facilitará la determinación del papel que tiene la agricultura de riego en los problemas de la salinidad del agua subterránea y en la posible persistencia de la misma.

REFERENCIAS

- Aldrich, S. R. 1972. Some effects of crop-production technology on environmental quality (Algunos efectos de la tecnología de la producción agrícola sobre la calidad del medio). *Bio-Science* 22:90-95.
- American Public Health Association, Inc. 1965. Standard methods for the examination of water and waste water (Métodos aceptados para el análisis de agua dulce y aguas de desecho). 12th ed. New York, New York.
- Ballentine, R.K., S.R. Reznick, y C.W. Hall, 1972. Subsurface --- pollution problems in the United States (Problemas de la -- contaminación subsuperficial en los Estados Unidos). U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water Programs. Technical Studies Report: TS-00-72-02.
- Bingham, F.T., S. Davis, y E. Shade, 1971. Water relations, salt balance, and nitrate leaching losses of a 960-acre citrus watershed (Relaciones del agua con el balance salino y la pérdida de nitratos por infiltración en un área con 388 hec táreas de cítricos). *Soil Sci.* 112-410-418.
- Chapman, D. G. y R.A. Schauffele, 1970. Elementary probability models and statistical inference (Modelos elementales de - probabilidad e inferencia estadística). Xerox College Publishing Co., Waltham, Massachusetts.
- Davis, G. H. 1966. Frequency distribution of dissolved solids in ground water (Distribución de frecuencias del volumen de - sólidos disueltos en el agua subterránea). *Ground Water* 4: 5-12.
- Enfield, C. G. y D. D. Evans, 1969. Conductivity instrumentation for in situ measurement of soil salinity (Instrumentación para medir in situ, por medio de la conductividad, la salinidad del suelo). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:787-789.

- Gelhar, L. W. 1972. The aqueous underground (El acuífero subterráneo). Technol. Rev. March/April pp. 45-53.
- Nace, R. L. 1972. Water problems and developments of the past (Los problemas del agua y su evolución en el pasado). Water Resources Bull. 8:101-109.
- Nelson, L. B. 1972. Agriculture chemicals in relation to environmental quality: Chemical fertilizers, present and future (Los productos químicos para la agricultura y su relación con la calidad del medio: presente y futuro de los fertilizantes químicos). J. Environ. Qual. 1:2-6.
- Nightingale, H. I. 1970. Statistical evaluation of salinity and nitrate content and trends beneath urban and agricultural areas (Evaluación estadística de la salinidad y el contenido de nitratos y su tendencia en áreas agrícolas y urbanas). Fresno, California, Ground Water 8:22-28.
- Nightingale, H. I. 1972. Nitrates in soil and ground water -- beneath irrigated and fertilized crops (Contenido de nitratos en el suelo y en el agua subterránea, en terrenos con cultivos de riego bajo fertilización). Soil Sci. 114:300-311.
- Oster, J. D. y L. S. Willardson, 1971. Reliability of Salinity sensors for the management of soil salinity (Confiabilidad de los sensores de la salinidad del suelo para el estudio de la misma). Agron. J. 63:695-698.
- Page, R. W. y R. A. Leblanc, 1969. Geology, hydrology, and water quality in the Fresno area, California, U.S. (Geología, hidrología y calidad del agua en la zona de Fresno, California, EE.UU.) Geological Survey, Open File Report, Menlo Park, California.
- Rhoades, J. D. y R. D. Ingvalson, 1971. Determining salinity in fields soils with soil resistance measurements (Determinación de la salinidad en el campo, mediante la medición de la resistencia eléctrica). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35:54-60.
- Shea, P. F. y J. N. Luthin, 1961. An investigation of the use of the four-electrode probe for measuring soil salinity in situ (Investigación sobre el uso de la prueba de "cuatro electrodos", para la medición in situ de la salinidad del suelo). Soil Sci. 92:331-339.

- Siddiqui, S. H. y R. R. Parizek, 1972. Application of nonparametric statistical tests in hydrology (Aplicación de las pruebas estadísticas no paramétricas en hidrología). Ground Water 10:26-30.
- Siegel, S. 1956. Nonparametric statistics for the behavioral sciences (La estadística no paramétrica aplicada a las ciencias del comportamiento). McGraw Hill, New York, New York.
- Snedecor, G. W. y W. G. Cochran, 1956. Statistical methods (Métodos estadísticos) 5th ed. The Iowa State College Press, Ames, Iowa.
- Teilman, I. y W. H. Shafer, 1943. The historical story of irrigation in Fresno and Kings Counties in Central California (Historia de la irrigación en el área de los Condados de Fresno y Kings, en la parte central de California) Williams and Son, Fresno, California.
- Terkeltoub, R. W. y K. L. Babcock, 1971. A simple method for predicting salt movement through soil (Un método simple para la predicción del movimiento de sales a través del suelo). Soil Sci. 111:182-187.
- U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (Diagnóstico y mejoramiento de suelos salinos y alcalinos). U.S. Dept. of Agr. Handbook No. 60.
- Viets, F. G., Jr. 1971. Water quality in relation to farm use of fertilizers (La calidad del agua en relación con el uso de fertilizantes). BioScience 21:460-467.

