

# Suelos salinos y procesos de salinización en el Sureste español (\*)

POR

MANUEL CARO FERNANDEZ

## 1. OBJETO

En el Sureste español, aparte de los suelos salinos naturales que ocupan una superficie próxima a las 10.000 Ha., se está provocando una salinización, que en algunos casos ha alcanzado niveles peligrosos, en grandes extensiones de suelos, con cultivos frutales y hortícolas, por el empleo de aguas de riego de calidad dudosa o mala y por el uso inadecuado que de ellas se ha hecho.

El presente trabajo pretende contribuir particularmente, al mejor conocimiento de la extensión e intensidad de estos procesos antropogénicos de salinización y alcalinización de suelos, así como estudiar la zona de suelos salinos naturales más importantes de la Región, con vistas a su posible revalorización.

Se estudian estos problemas desde tres puntos de vista distintos: suelo, agua y relaciones suelo-agua.

La parte dedicada al estudio de los suelos, está dividida en dos apartados. En el primero, de carácter analítico, se estudian las relaciones entre los extractos y pastas de suelos, con la finalidad de sustituir el extracto de saturación, de uso universal para determinar las características salinas y alcalinas de los suelos, por otro de obtención más sencilla lo que se logra con el extracto 1:5.

---

(\*) Este trabajo es un resumen de la Tesis del autor, para aspirar al Grado de Doctor en Ciencias, que fue leída en noviembre de 1966 en la Universidad de Murcia.



En el segundo apartado, se estudian las características de una de las zonas salinas más importantes de España, los Saladares, que por su localización al sur de la provincia de Alicante afecta a la nueva agrupación geopolítica denominada Sureste español, deduciendo algunas consideraciones en relación con las posibilidades de recuperación.

En el capítulo dedicado al agua, se revisa el panorama actual de los regadíos en la Región, considerando el problema de disponibilidad de agua para riego, y especialmente respecto a su calidad, facetas de gran interés para la necesaria mejora de la agricultura, que exige el Plan de Desarrollo Económico y Social que actualmente se lleva a cabo en España.

Y finalmente el último aspecto del trabajo, es el dedicado a las relaciones suelo-agua de riego. Se examinan las características más apropiadas para predecir los efectos que sobre el suelo produzca el agua de riego, con respecto a la salinización y alcalinización y así juzgar de antemano la calidad de ésta. Los resultados obtenidos se aplican al caso concreto de agrios, estableciéndose un diagrama de clasificación.

## 2. GENESIS Y CLASIFICACION DE LOS SUELOS SALINOS

### 2.1. GENESIS

Son innumerables los autores que han estudiado los suelos salinos desde diversos aspectos.

Fue Hilgard (59) el primer gran investigador de este tema. Designó los suelos salinos como aquellos que contenían suficientes sales solubles para perjudicar el desarrollo de las cosechas.

Basándonos en este criterio puramente cualitativo vamos a examinar en primer lugar los procesos que de alguna forma conducen a la acumulación de las sales.

El origen primario de las sales solubles existentes en los suelos es la descomposición de las rocas, ya que el suelo mismo se define como el resultado de la evolución natural de una roca bajo la influencia de los factores físicos, químicos y biológicos (35).

Así pues, las rocas madres, mediante procesos de descomposición química, hidrólisis, hidratación, disolución, oxidación, carbonatación, etc., pueden liberar sales solubles.

Estas sales están constituidas principalmente por los aniones cloruro, sulfato y en casos especiales por nitrato y borato, y los cationes sodio, calcio, magnesio y potasio. Los bicarbonatos se forman como resultados de la disolución del anhídrido carbónico —de origen atmosférico o biológico— en agua y su acción sobre los carbonatos del suelo.

Sin embargo, en raras ocasiones solamente las transformaciones sufridas por la roca madre, originan "in situ" un suelo salino. Existen una serie de procesos de transporte y acumulación de sales de índole geográfica y geoquímica que conducen, en períodos más o menos prolongados, a la salinización de determinadas áreas.

De acuerdo con la índole de los fenómenos que originan la formación de suelos salinos, éstos se pueden clasificar en:

#### 1.º: *Continetales.*

Son los originados por el movimiento de distribución y acumulación de sales, en regiones interiores de baja permeabilidad y cuya topografía impide o dificulta el drenaje.

Si el origen de las sales en los suelos, lo constituyen los productos del lavado de las rocas ígneas, nos encontramos ante suelos salinos primarios, mientras que si está relacionado con la redistribución de las sales anteriormente acumuladas en las masas rocosas procedentes de sedimentos salinos, el ciclo de salinización y los suelos salinos resultantes se denominan secundarios.

#### 2.º: *Marinos.*

En éstos, el aporte de sales es de origen marino —en ellos se encuentra principalmente cloruro sódico— y se efectúa sobre planicies costeras, albuferas y a lo largo de algunas playas.

#### 3.º: *De deltas.*

Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y son de gran importancia para el hombre, por cuanto los deltas de los ríos han sido desde muy antiguo usados para cultivo en régimen de regadío; tal es el caso de los ríos Nilo, Tigris y Eufrates, entre otros.

Estos ciclos de salinización están caracterizados por una complicada combinación de procesos de circulación, y por la acumulación de sales transportadas desde los continentes por los ríos y por las corrientes profundas de los valles de delta, por una parte, y las llevadas desde el mar en diferentes épocas, por otra.

#### 4.º: *Artesianos.*

Son los originados por la evaporación de las aguas subterráneas y por su elevación a la superficie a través de fracturas tectónicas y estructuras destruidas.

#### 5.º: *Antropogénicos.*

Resultan de los errores de las actividades del hombre o del desconocimiento de las condiciones que regulan la acumulación de sales en la superficie terrestre. Tales son la salinización producida como resultado de una elevación del nivel freático, o la originada por el empleo de aguas de riego fuertemente mineralizadas.

Todos estos procesos de acumulación de sales están estrechamente relacionados con las condiciones geomorfológicas e hidrogeológicas de las zonas en las que se originan. En general están asociados, geomorfológicamente, a tierras bajas, y, desde el punto de vista hidrogeológico, a regio-

nes con nivel freático alto, o donde el lavado está fuertemente impedido, y en aquellas otras en que el balance hídrico no está compensado entre la lixiviación, la evaporación y la transpiración.

La intensidad de evaporación del agua freática, y, por consiguiente la de acumulación de sales, aumenta cuando los niveles de agua profunda se aproximan a la superficie, llegando a valores máximos cuando se encuentran a 2-3 m., en condiciones climáticas de aridez. La evaporación total en zonas áridas oscila entre los 1.500 a 3.000 mm. por año lo cual excede en mucho a la precipitación. Es interesante señalar aquí, que gran parte de las provincias de Murcia, Alicante y Almería están clasificadas, según el índice de Thornthwaite, en zona árida.

Así vemos que será de gran importancia las acumulaciones salinas y las formaciones de costras yesosas y calcáreas originadas por la evaporación natural de aguas superficiales, freáticas, lacustres o marinas.

En relación al suelo, la acumulación de sales está íntimamente ligada a las condiciones contemporáneas o antiguas de los procesos de formación.

En cualquier caso y sea cual sea su origen, los suelos salinos quedan incluidos dentro de la clasificación de Sibireef como intrazonales, ya que son suelos bien desarrollados que reflejan morfológicamente la influencia de algún factor local de relieve, rocas originarias, edad, clima o vegetación. Aunque en el *Multilingual Vocabulary of Soil Science*, publicado por la FAO (41), Sección L, N.º 6, al definir los suelos intrazonales se indican como secundarios los factores de clima o vegetación, nosotros los consideramos fundamentales, de acuerdo con Moss (79), por creerlos de gran importancia concretamente en la formación de los suelos alcalinos.

## 2.2. CLASIFICACION DE SUELOS SALINOS

Las causas que pueden originar la acumulación de sales son diversas, por lo que según sea el proceso seguido y las transformaciones posteriores experimentales, el suelo salino originado tendrá unas características peculiares, tanto en su composición química como en sus propiedades físicas.

Se han sugerido diversos límites arbitrarios para definir la salinidad de los suelos con el fin de establecer una clasificación.

### 2.2.1. SUELOS SALINOS

El proceso de formación de los suelos salinos no termina con la acumulación de sales; como consecuencia de ella surge la adsorción del ión sodio por la arcilla y el humus; es decir un cambio de bases entre el complejo adsorbente arcilla-humus y la disolución salina. La proporción en que el

ión sodio forma parte de los cationes adsorbidos depende de la concentración de la disolución del suelo. Cuando el porcentaje de sodio de cambio no es elevado, nos encontramos con los "suelos salinos", denominados por los rusos Solontchaks y por Hilgard (59) "White Alkali".

Los investigadores rusos Ivanova y Rosanov (62) subdividen estos suelos utilizando las relaciones de los cationes de cambio en el complejo de adsorción:

$$\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg}} = A \quad \text{y} \quad \frac{\text{Ca}}{\text{Mg}} = B$$

donde los cationes están expresados en miliequivalentes

Por su parte los autores americanos clasifican los "suelos salinos" de la siguiente forma:

Hilgard, que como hemos dicho los llamó "White Alkali"; incluye en este grupo los que contienen cloruros o sulfatos alcalinos, fundándose para denominarlos en que dichas sales dan al suelo en estado húmedo un aspecto blanquecino.

De Sigmond (33) por su parte consideró suelos salinos los que presentan acumulación de sales alcalinas, sin experimentar ninguna transformación posterior. En ellos, el grado de alcalinización, es decir, la cantidad de equivalentes de metales alcalinos en el total de bases cambiables adsorbidas por el complejo arcilla-humus es menor del 12%.

Finalmente y basándose en los trabajos de Hilgard, De Sigmond y sobre todo de Scofield, los investigadores del U. S. Salinity Laboratory Staff (108) definen como "Suelos salinos" aquellos cuyo extracto de saturación presenta una conductividad eléctrica superior a 4 mmhos/cm a 25° C y cuyo porcentaje de sodio de cambio (PSC) es menor de 15. Previamente habían establecido una estrecha relación entre el contenido en sales del suelo y la CE del extracto saturado.

Las características químicas de los suelos clasificados como salinos vienen determinadas principalmente por las clases y cantidades de sales presentes. El sodio rara vez alcanza más de la mitad de los cationes existentes en la disolución del suelo, y por ello no es absorbido en cantidad suficiente para superar el 15% del complejo de cambio. Además de las sales fácilmente solubles pueden contener otras de menor solubilidad, tales como sulfato cálcico y carbonatos de calcio y magnesio.

Debido a la presencia de un exceso de sales y a la ausencia de cantidades apreciables de sodio de cambio, los suelos salinos están floculados y en consecuencia, su permeabilidad es igual o aún mayor que la de los suelos no salinos similares.

### 2.2.2. SUELOS SALINO-ALCALINOS

Sin embargo, teniendo en cuenta que los procesos de formación del suelo son dinámicos, puede suceder que el sodio absorbido por el complejo de cambio, alcance un valor tal que confiera al suelo propiedades perturbadoras, distintas de las que se presentan en los suelos salinos. Este tipo de suelos se pueden considerar como resultado de la combinación de los procesos de salinización y alcalinización. No obstante y puesto que están presentes aún gran cantidad de sales, la apariencia y gran parte de las propiedades son similares a las de los suelos salinos ordinarios, y así vemos que rara vez el pH es mayor de 8,5, y que las partículas permanecen floculadas.

Se identifica este grupo con los "solontchak-solonetz" descritos por Ivanova y Rosanov (62).

En cuanto a la clasificación establecida por el U. S. Salinity Laboratory Staff, consideran "suelos salino-alcalinos" aquellos que su extracto de saturación tiene una CE mayor de 4 mmhos/cm a 25° C y el PSC es mayor de 15.

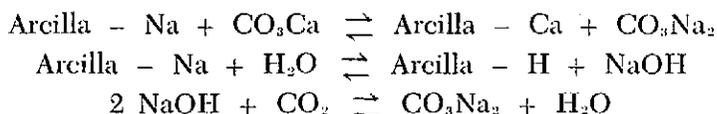
### 2.2.3. SUELOS ALCALINOS-NO SALINOS

Puede suceder que un suelo anteriormente salino haya sufrido un lavado total o parcial de sus sales solubles. El suelo no se regenera sino que empeora porque las disoluciones salinas podían, como hemos señalado en párrafos anteriores, mantener, según su concentración, un cierto grado de coagulación. El lavado da lugar a que se eliminen las sales, pero no el sodio absorbido en el complejo de cambio y entonces se favorece la dispersión, haciendo deficientes las propiedades físicas del suelo. Además se produce un proceso químico de gran importancia, la formación de carbonato sódico, que proporciona al suelo una reacción francamente alcalina y aumenta sus propiedades de viscosidad, impermeabilidad y tenacidad (5).

Nos encontramos ante los suelos denominados por Hilgard "Black Alkali", debido a que el carbonato sódico dispersa la materia orgánica que disuelta en la solución del suelo puede ser depositada sobre la superficie del mismo por evaporación, proporcionando a éste un color oscuro característico. Hilgard atribuyó la formación del carbonato sódico a la reacción del cloruro sódico con el carbonato cálcico, reacción a todas luces inverosímil.

Gedroiz (47) demostró que la cantidad de carbonato sódico formada, no aumentaba con la de cloruro sódico presente, sino que sucedía precisamente lo contrario: al disminuir el cloruro sódico presente, se favorecería

la formación de carbonato sódico. Explicó entonces el proceso mediante las siguientes reacciones:



Por ello, como observa Robinson (90), el carbonato sódico ha de considerarse como una consecuencia, más que como una causa de la alcalinización

De Sigmond (33) por su parte distingue un grupo de suelos que denomina "Alcalinos desalinizados" y los define como aquellos que han perdido parte de sus sales solubles pero aún contienen bastantes cationes alcalinos. Como la presencia de sales alcalinas protege al complejo de adsorción contra la acción hidrolizante, la desaparición no debe ser total, y así existe un límite que viene dado por un contenido en sales de 0,1 a 0,2 % y un grado de no saturación del 15 %.

Ivanova y Rosanov (62) denominan a estos suelos "solonetz".

Por último, el U. S. Salinity Laboratory Staff (108) considera como suelos "alcalinos no salinos" aquellos con un porcentaje de sodio de cambio mayor del 15 % y una conductividad eléctrica del extracto saturado menor de 4 mmhos/cm a 25° C. El pH está usualmente entre 8,5 y 10.

Puede suceder que la arcilla, parcialmente saturada de sodio y altamente dispersa, sea transportada al subsuelo y acumulada a niveles más bajos. Como resultado de este proceso el suelo presentará en la superficie una textura de aspecto grueso y suelto; pero en horizontes profundos donde se ha acumulado la arcilla se puede formar una capa densa, de permeabilidad baja y estructura columnar prismática, e incluso poliédrica. Muy frecuentemente, la alcalinización es producida como resultado del riego. En tales casos, no transcurre tiempo suficiente para que tenga lugar el descenso de la arcilla y la formación de la estructura columnar típica, pero el suelo tiene baja permeabilidad y es difícil para el cultivo.

El sodio cambiante presente en los suelos alcalinos-no salinos tiene, pues, marcada influencia sobre sus propiedades físicas y químicas. Cuando la proporción de sodio de cambio aumenta, el suelo tiende a estar más disperso y el pH puede aumentar, algunas veces por encima de 10.

Geodriz (47) describió una fase final del proceso. Cuando las sales han sido lavadas, la acción hidrolítica, de acuerdo con las reacciones que hemos visto en los suelos alcalinos, continúa separando cationes alcalinos del complejo de cambio y sustituyéndolos por hidrógeno. De este modo el complejo de adsorción se va haciendo cada vez más ácido. Sin embar-

go, aunque el pH desciende por debajo de 7, la presencia de los iones sódicos hace que se conserven las propiedades físicas peculiares de los suelos alcalinos, distintas de los típicos suelos ácidos, "podsoles". Los denominó suelos "alcalinos degradados" y corresponden con los que en la bibliografía rusa aparecen mencionados como "solod".

Por su parte, los investigadores americanos no distinguen este tipo de suelos de los alcalinos-no salinos, ya que sus propiedades físicas están determinadas por la presencia del sodio y son prácticamente análogas a las de otros.

### **3. DETERMINACION DE SALINIDAD Y ALCALINIDAD DE SUELOS**

#### **3.1. EL AGUA DEL SUELO**

El agua es esencial para el desarrollo de los vegetales, que la necesitan en cantidades mucho mayores que cualquier nutriente, con la diferencia de que mientras la planta retiene una gran parte de los nutrientes que absorbe, el agua fluye continuamente en una dirección, desde el suelo hasta la superficie de las hojas, donde se evapora difundiéndose después en la atmósfera.

La velocidad con que la planta transfiere el agua desde el suelo a la atmósfera, está regida por cuatro procesos distintos:

- a) el transporte de agua desde la disolución del suelo al sistema vascular a través del protoplasma de las células de las raicillas absorbentes;
- b) la transferencia desde el sistema vascular hasta el protoplasma de las células de las hojas que rodean los estomas;
- c) la incidencia de energía sobre las hojas, que puede ser utilizada para evaporar el agua de los estomas y de la superficie de la hoja; y
- d) el paso del vapor de agua desde los estomas a la atmósfera por difusión y convección (92).

Desde nuestro punto de vista, el único de estos cuatro procesos que presenta interés, es el primero: absorción del agua de la disolución del suelo por las raicillas de la planta, puesto que está estrechamente relacionado con la salinidad del suelo.

Si este proceso no se efectúa o está alterado por cualquier causa, la hoja sufre de escasez de agua, lo que provoca varios efectos, además de ser la causa del marchitamiento:

Los suelos retienen el agua de dos modos: en los intersticios o capilares que existen entre las partículas sólidas, y por adsorción sobre las superficies de las partículas de arcilla y materia orgánica.

La intensidad con que un líquido es retenido por un capilar puede definirse en términos de la diferencia entre la energía libre del líquido en el capilar y en el recipiente.

El concepto de potencial capilar fue introducido por Buckingham en 1907 por analogía con la temperatura y el potencial eléctrico.

Schofield propuso el empleo del logaritmo del potencial capilar de Buckingham como medida del contenido de humedad del suelo, y le denominó pF.

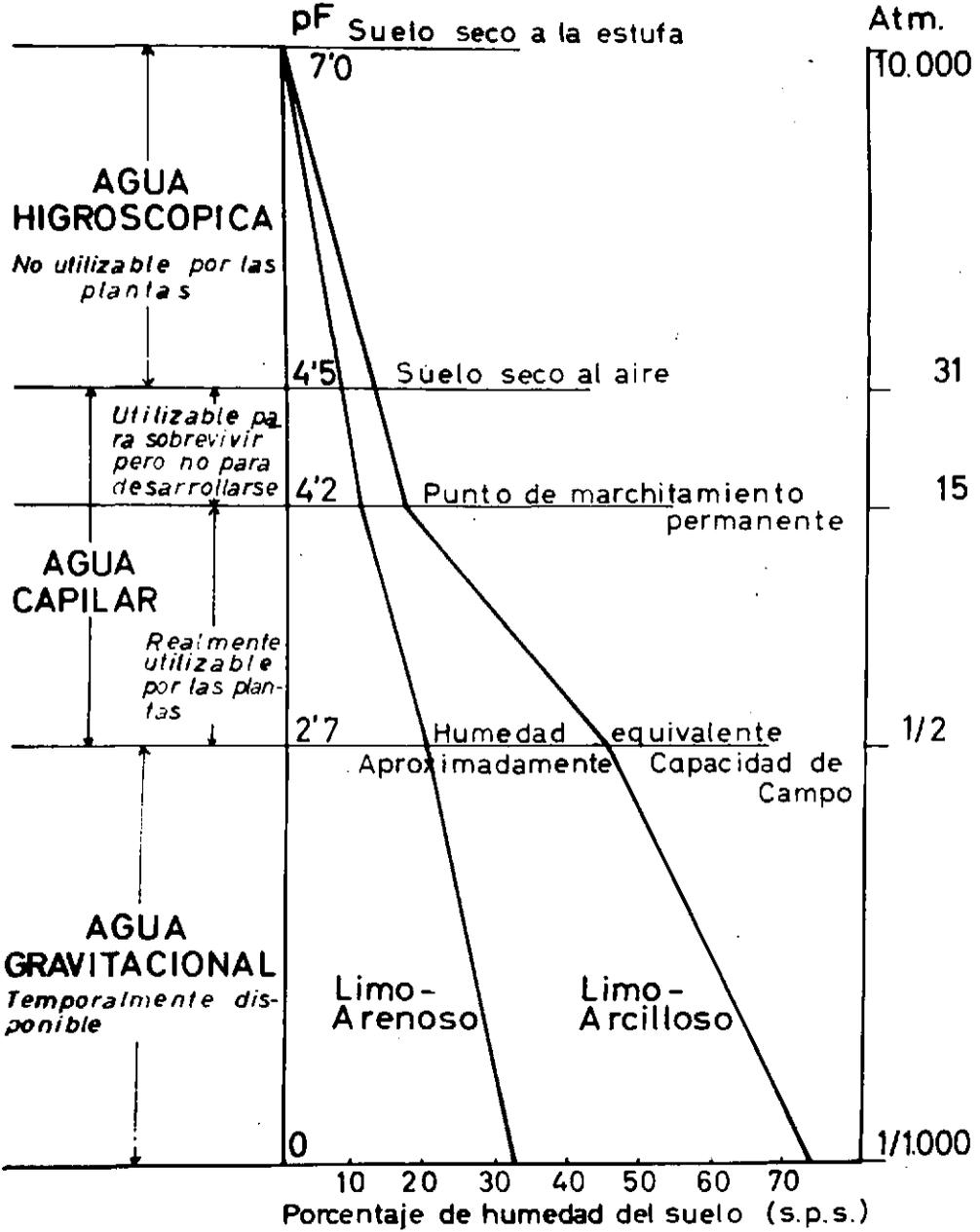


Fig. 1



En la fig. 1 se indican las principales constantes hidrológicas, con sus correspondientes potenciales capilares, expresados en pF y atmósferas y con las denominaciones del agua existente en el suelo, en cada una de ellas, para dos suelos de texturas limo-arenosa y limo-arcillosa (91, 104).

Las raíces de las plantas únicamente pueden extraer agua del suelo si son capaces de aplicar una succión suficientemente grande para desplazarla de los poros. A medida que el suelo se seca, la succión necesaria para extraer agua aumenta y la velocidad del movimiento del agua en una longitud dada de raíz disminuye, lo cual puede tener algunas veces la consecuencia de que si los vegetales se están desarrollando en condiciones que obligan a velocidades de transpiración elevadas, la velocidad real máxima que ésta puede alcanzar disminuirá a medida que el suelo se seca. A pF superiores a 4,2 aproximadamente, es imposible para la planta utilizar el agua que aún existe en el suelo; por ello se denomina "punto de marchitamiento".

En las consideraciones anteriores se ha supuesto implícitamente que el agua del suelo está presente como agua pura, pero esto no es cierto, ya que en la realidad contiene sales disueltas. En consecuencia, esta disolución poseerá una presión osmótica.

La suma de la tensión del suelo para la humedad y de la presión osmótica se denomina "tensión total de humedad del suelo".

Por otra parte, el plasma celular de las raíces contiene también sustancias disueltas y la raíz únicamente puede extraer agua del suelo si la presión osmótica en las células radiculares es apreciablemente mayor que la de la disolución del suelo.

### 3.2. DETERMINACION DE SALINIDAD

Por todo lo expuesto anteriormente resulta de gran interés conocer el porcentaje en sales solubles del suelo que contribuyen a la presión osmótica de la disolución del mismo. Sin embargo, una determinación cuantitativa de este tipo es difícil y complicada, por lo que se han generalizado métodos basados en el empleo de la conductividad eléctrica de los extractos acuosos del suelo, como medida de la salinidad, aun con ciertas reservas (76, 88).

Entre la presión osmótica expresada en atmósferas y la conductividad eléctrica de una disolución en mmhos/cm, existen relaciones que pueden expresarse por las ecuaciones siguientes (20, 102):

$$PO = 0,36. CE, y$$

$$PO = 0,321. (CE)^{1,06}$$

En consecuencia, resulta lógico expresar la tolerancia de las plantas a las sales, mediante la CE, de la disolución del suelo, ya que por otra parte también existe una estrecha correlación entre la CE y el contenido total de sales de una disolución.

No obstante y gracias a una serie de relaciones posteriores, es posible, mediante medidas de CE en extractos acuosos más diluidos, y por consiguiente de más fácil obtención que el de saturación, relacionar la salinidad de un suelo calculada así, a la escala de salinidad generalmente aceptada (96), que se basa en medidas efectuadas en el extracto de saturación (Tabla 1).

Además del extracto de saturación se emplean otros más diluidos hasta el 1 : 10 (25, 108, 63, 78, 19, 83, 29, 84,30). De todos ellos, los más utilizados por los investigadores y Centros dedicados a la ciencia del suelo, son los 1 : 1, 1 : 2, 1 : 5 y 1 : 10.

Además de los extractos, se han utilizado para el cálculo de la salinidad medidas de CE de las suspensiones resultantes de la mezcla y agitación de las cantidades adecuadas de suelo y agua para cada relación de las mencionadas.

TABLA 1

CE 25° C del extracto de saturación en mmhos/cm

0	2	4	8	16
Suelo no salino	Suelo ligeramente salino	Suelo moderadamente salino	Suelo salino	Suelo muy salino
Efectos de la salinidad despreciables.	Los cultivos muy sensibles pueden ser afectados.	La mayor parte de los cultivos son afectados.	Solamente los cultivos tolerantes pueden desarrollarse.	Únicamente se pueden desarrollar unos pocos cultivos muy tolerantes.
0	0,1	0,3	0,5	1,0
% sales existentes en el suelo				

### 3.2.1. RELACIONES ENTRE EXTRACTOS Y SUSPENSIONES O PASTAS

Delver y Kadry (34), consideran la pasta de suelo como un sistema simple de dos fases, suelo y agua. La relación  $CE_e/CE_p$  puede expresarse entonces mediante la ecuación siguiente:

$$\frac{CE_e}{CE_p} = \frac{CE_e}{\left(\frac{100-x}{100}\right) CE_e + \left(\frac{x}{100}\right) p}$$

donde  $p$  es la conductividad de las partículas de suelo en la pasta y  $x$  es el volumen de estas partículas.

Kamaliddin y Al-Ani (65) relacionan también estas mismas variables, obteniendo la siguiente ecuación:

$$\frac{CE_e}{CE_p} = 1 + \frac{K}{r}$$

donde  $r$  es la relación agua/suelo y  $K$  una constante que depende de la naturaleza del suelo. Para los suelos iraquíes encontraron un valor medio de 0,80.

Con el fin de establecer la relación general entre las conductividades eléctricas de suspensiones del suelo ( $CE_p$ ) y los extractos correspondientes ( $CE_e$ ), en función de la relación agua/suelo, se han determinado estas características en 90 muestras de suelo, de salinidad debida principalmente a la presencia simultánea de cloruro sódico y sulfato cálcico.

Se ha establecido la correlación entre las variaciones de la relación  $CE_e/CE_p$  y la dilución para la serie de muestras estudiadas. La regresión curvilínea, de naturaleza hiperbólica, es significativa al nivel de probabilidad 0,1% ( $R = 0,965$ ) y responde a la ecuación:

$$\frac{CE_e}{CE_p} = \frac{d}{0,954d - 0,218} \quad (I)$$

donde  $d$  es la relación agua/suelo, que en la serie de saturación será igual al porcentaje de saturación dividido por 100.

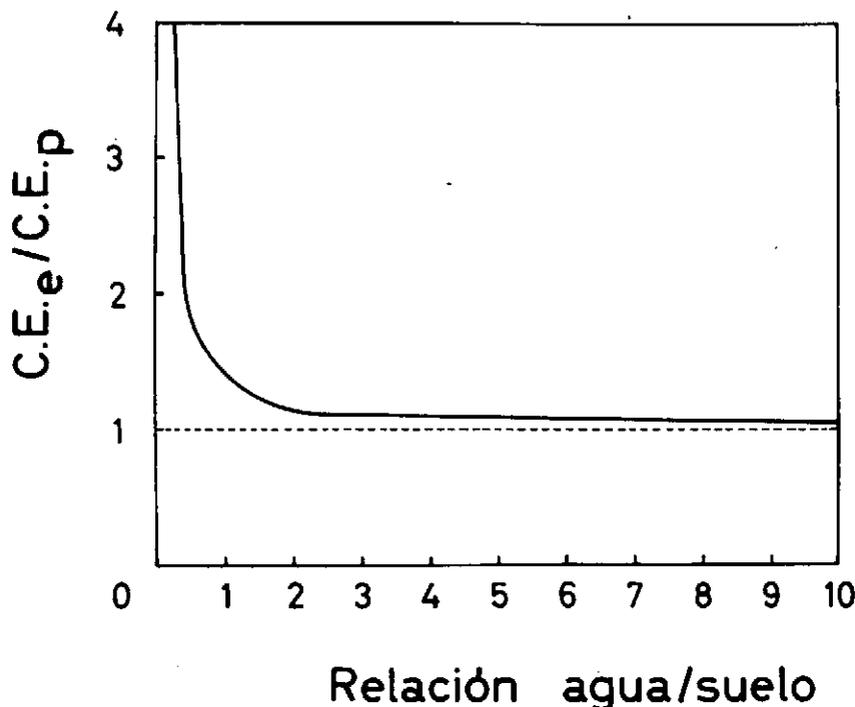


Fig. 2

La obtención del extracto de saturación, el más indicado para conocer el nivel de salinidad de los suelos, está sujeta a errores ligados, a dificultades técnicas por una parte (84) y a errores de manipulación por otra, por lo que no es aconsejable para análisis en serie. Por ello, diversos investigadores han estudiado las relaciones entre la conductividad eléctrica de este extracto ( $CE_e$ ) y la de la pasta correspondiente ( $CE_p$ ), con objeto de encontrar una relación más sencilla que la general que hemos expuesto en el apartado anterior (ecuación I), y que permitiera obtener la  $CE_e$  a partir de las cómodas medidas de  $CE_p$ .

Al establecer estas relaciones no puede omitirse una tercera variable, íntimamente ligada a la preparación de la pasta y obtención del extracto, el porcentaje de saturación ( $PS$ ), (relación de agua a suelo en la pasta saturada).

Reitemeier y Wilcox (89) comprobaron que no existía una correlación estrecha entre la  $CE_e$  y la  $CE_p$  a saturación, y sin embargo, entre el cociente  $CE_e/CE_p$  y el  $PS$ , encontraron ecuaciones lineales sencillas:

$$CE_e/CE_p = 4,43 - 0,030 PS$$

y

$$CE_e/CE_p = 3,48 - 0,026 PS$$

Bower (108) encontró otra relación del mismo tipo con suelos equilibrados con distintas concentraciones de una mezcla de cloruros sódico y cálcico a partes iguales. La ecuación que expresaba la correlación era:

$$CEe/CEp = 5,4 - 0,07 PS$$

Kamaliddin et al. (66) encuentran que no existe una relación simple y directa entre la CEe y la Cep. Sin embargo, cuando consideran el porcentaje de saturación, el cociente CEe/CEp disminuye sistemáticamente con el aumento del PS. La curva puede expresarse en el intervalo de PS de 40 a 100 %, por la ecuación empírica aproximada:

$$\frac{CEe}{CEp} = 1,7 + \frac{(100-PS)^2}{100}$$

La ecuación exacta es:

$$\frac{CEe}{CEp} = 6,38 - 0,131 (PS) + 1,22 \cdot 10^{-3} (PS)^2 - 3,75 \cdot 10^{-6} (PS)^3$$

Finalmente, Delver y Kadry (34) obtuvieron una familia de curvas hiperbólicas para  $CEe/CEp = f(PS)$  utilizando como parámetro los valores de Cep, y proponen para calcular la CEe, utilizar la textura, de la que es función el PS por una parte y la Cep por otra, obteniendo una correlación muy elevada entre los valores experimentales y los obtenidos empíricamente.

La observación del primer tramo en la fig. 2, correspondiente a la serie de saturación hídrica, sugiere la existencia de una relación más sencilla entre las variables consideradas. Teniendo en cuenta que la determinación del PS y la medida de Cep no implican dificultad para los análisis en serie, esta relación, de existir, nos permitiría la determinación indirecta de la CEe de una manera cómoda.

Con este objeto se ha estudiado la correlación entre los logaritmos de la relación CEe/CEp y del PS en una serie de 56 muestras de suelo, correlación que resulta significativa al nivel de probabilidad de 0,1% ( $r = -0,83$ ), obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\log \frac{CEe}{CEp} = -0,707 \log PS + 1,576 \quad (II)$$

que se representa en la fig. 3, donde las líneas de trazos corresponden al intervalo de confianza al mismo nivel,  $\pm 0,084$ .

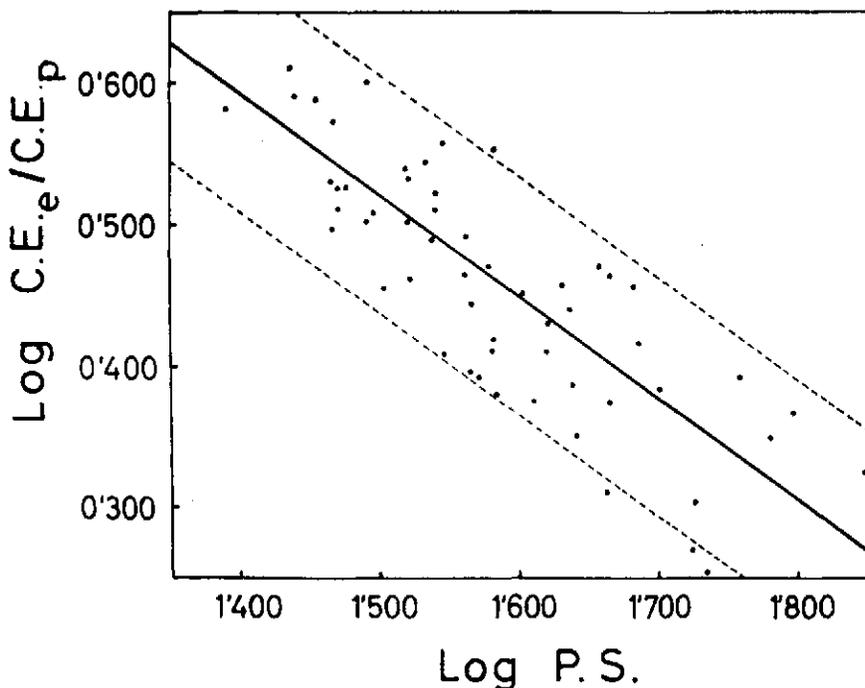


Fig. 3

Si en lugar de las CE se emplea la magnitud pC (propuesta primeramente por Whittles y Schofield-Palmer (112) en 1951 y definida como el logaritmo negativo de la CE), la ecuación adquiere la forma:

$$pC_e = 0,707 \log PS + pC_p - 1,576 \quad (\text{III})$$

Cualquiera de ellas permitirá conocer el estado de salinidad del suelo, de acuerdo con las escalas generalmente aceptadas y basadas en medidas realizadas en el extracto de saturación, en función del PS y la CE<sub>p</sub> o el pC<sub>p</sub>.

### 3.2.2. RELACIONES ENTRE EXTRACTOS

#### 3.2.2.1. RELACION ENTRE TODOS LOS EXTRACTOS

Experimentalmente se ha pretendido establecer una relación general que ligue la CE del extracto saturado con la de cualquier otro extracto, en función de la relación de dilución agua/suelo.

Con este fin, se han determinado las conductividades de una serie de extractos (desde el de saturación al 1 : 10) para 14 suelos, estudiando la correlación entre los pC y las distintas relaciones agua/suelo.

En la Tabla 2 se muestran las ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación, y en la fig. 4 las rectas de regresión.

T A B L A 2

N.º muestra	Ecuación	Coefficiente de correlación
1	$pC = 0,692 \log d + 3,299$	0,985
2	$pC = 0,721 \log d + 3,162$	0,993
3	$pC = 0,693 \log d + 3,072$	0,997
4	$pC = 0,680 \log d + 3,055$	0,991
5	$pC = 0,713 \log d + 3,044$	0,993
6	$pC = 0,690 \log d + 3,027$	0,999
7	$pC = 0,717 \log d + 2,867$	0,996
8	$pC = 0,699 \log d + 2,841$	0,990
9	$pC = 0,717 \log d + 2,825$	0,993
10	$pC = 0,723 \log d + 2,650$	0,997
11	$pC = 0,730 \log d + 2,648$	0,996
12	$pC = 0,752 \log d + 2,517$	0,998
13	$pC = 0,755 \log d + 2,303$	0,999
14	$pC = 0,787 \log d + 2,234$	0,999

Todos los coeficientes de correlación son significativos al nivel de probabilidad 0,1 %.

Generalizando esta regresión lineal encontrada, es posible calcular el pC de un extracto dado (a), conociendo el pC de cualquier otro (c), mediante una ecuación general de la forma:

$$pCa = pCc - b (\log c - \log a) \quad (IV)$$

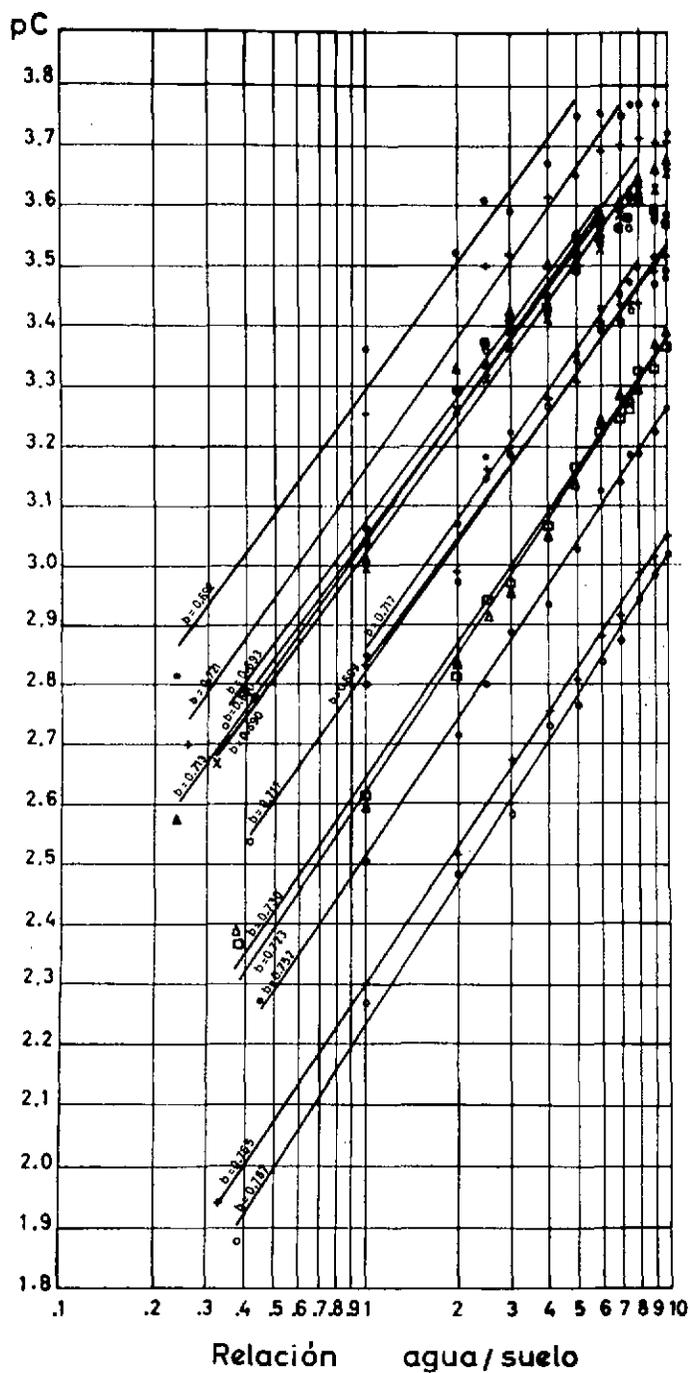


Fig. 4

## 3.2.2.2. RELACION ENTRE LOS EXTRACTOS SATURADO Y 1:5

El extracto que mayor interés presenta es el de saturación; por ello, se ha comprobado la relación anterior, para la determinación de la CE de dicho extracto.

El hecho de que el valor de la pendiente  $b$  en la ecuación anterior, está ligado al nivel de la salinidad del suelo y al porcentaje de saturación, y de que la dilución 1:5 sea la empleada en nuestro Centro para los análisis en serie, nos ha inducido a estudiar la dependencia del valor de la indicada pendiente frente al porcentaje de saturación y el  $pC_s$ , en una serie de 37 muestras de suelo con conductividades del extracto saturado comprendidas entre 1.600 y 7.700  $\mu\text{mhos/cm}$ .

La ecuación de regresión múltiple obtenida es:

$$b = - 0,402 \log \frac{PS}{100} - 0,458 pC_s + 2,063 \quad (V)$$

significativa al nivel de probabilidad 0,1%. El intervalo de confianza para  $b$  al nivel de probabilidad 1% es  $\pm 0,095$  y al nivel de probabilidad 10%  $\pm 0,071$ .

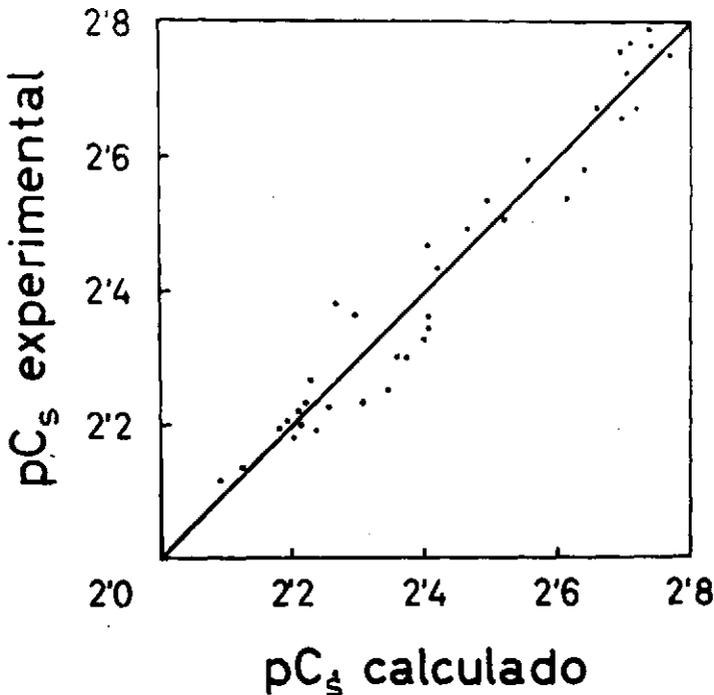


Fig. 5

Sustituyendo los valores de  $b$  obtenidos mediante esta última ecuación, en la (IV) se han calculado, a partir de los  $pC_s$ , los  $pC_s$  de la serie de suelos considerada. En la fig. 5 se indica la correspondencia entre los  $pC_s$  calculados de esta forma y los experimentales.

El elevado coeficiente de correlación ( $r = 0,972$ ), significativo al nivel de probabilidad de 0,1 %, indica que se dispone de una relación rigurosa, que, en las condiciones de nuestro estudio, liga los  $pC_s$  y  $pC_s$ , y que permitirá la estimación de este último a partir de medidas del  $pC_s$ . Análogamente, se pueden establecer relaciones para los valores de cualquier otro par de diluciones.

Este procedimiento puede simplificarse, tomando el valor medio de la pendiente 0,719, con lo que la ecuación (IV) queda:

$$pCa = pCc - 0,719 (\log c - \log a) \quad (\text{VI})$$

Si comparamos el extracto de saturación con el 1 : 5, dando al PS el valor medio de 37,3, encontrado en las 90 muestras empleadas, obtendremos

$$pC_s = pC_s - 0,719 (\log 5 - \log 0,373)$$

que se reduce a:

$$pC_s = pC_s - 0,81 \quad (\text{VII})$$

Finalmente, se ha establecido para 53 muestras la relación entre las conductividades eléctricas de los extractos saturados ( $CE_s$ ) y 1 : 5 ( $CE_{1,5}$ ) sin considerar el PS (fig. 6). El estudio de la regresión lineal entre ambas conduce a una ecuación significativa al nivel de probabilidad de 0,1 % ( $r = 0,935$ ).

La ecuación encontrada es:

$$CE_s = 7,351 CE_{1,5} - 568 \quad (\text{VIII})$$

aplicable en el intervalo de valores de  $CE_{1,5}$  de 0 a 1.700  $\mu\text{mhos/cm}$  correspondiente a otro de 0 a 14.000  $\mu\text{mhos/cm}$  en el extracto saturado, para suelos con salinidad debida fundamentalmente a la presencia de cloruro sódico y sulfato cálcico, excepto cuando la salinidad de suelo sea debida primordialmente a la presencia de sulfato cálcico (relación  $SO_4^{2-}/Cl^-$  en el extracto 1 : 5 mayor de 15, ó concentración de sulfato cálcico próxima al valor de saturación, aprox. 30 meq/l en el extracto 1 : 5 ó 1,2 por 100 en el suelo), ya que en el primer caso se produce una igualdad de valores para la CE de ambos extractos y en el segundo notables divergencias que hacen inutilizable esta ecuación.

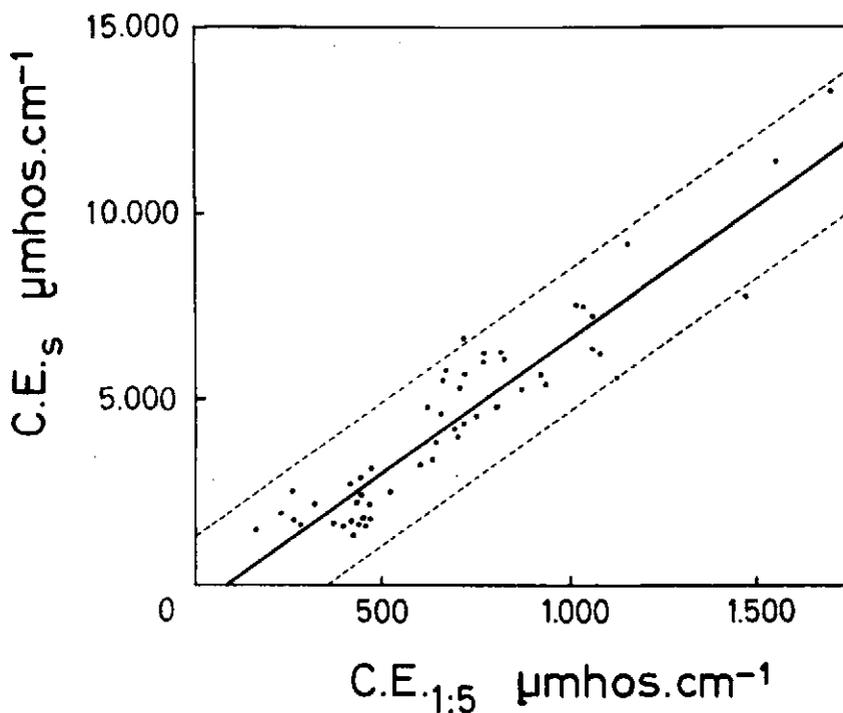


Fig. 6

Expresando en  $pC$  los términos de la ecuación anterior se obtiene la relación aproximada:

$$pC_s = pC_s - 0,80 \quad (\text{IX})$$

análoga a la encontrada anteriormente por un procedimiento diferente (VII).

### 3.2.3. ESTUDIO DEL EXTRACTO ACUOSO 1:5

La conductividad del extracto 1:5, procede fundamentalmente de tres aniones: cloruro, sulfato y bicarbonato, originado este último por la disolución de los carbonatos alcalinotérricos de los suelos por el  $\text{CO}_2$ . Según los casos, la salinidad será más o menos peligrosa para el desarrollo vegetal, debido a la mayor toxicidad del ión cloruro y a la solubilidad limitada del sulfato cálcico.

Se han obtenido los extractos 1:5 de una serie de 73 muestras de suelo, en los que se ha determinado las CE a  $25^\circ\text{C}$  y las concentraciones

de los iones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{HCO}_3^-$ . En la tabla 3, se recogen los valores mínimos, máximo y medio para cada una de las variables:

T A B L A 3

	Valores		
	mínimo	máximo	medio
$\text{CE}_s$ , $\mu\text{mhos/cm}$ .	174	4,923	1,111
$(\text{Cl}^-)$ meq/100 g.	0,14	12,03	1,45
$(\text{SO}_4^{=})$ " "	0,19	17,95	4,38
$(\text{HCO}_3^-)$ " "	0,69	1,48	0,97

Con las cuatro series de valores se ha establecido la ecuación de regresión múltiple que expresa la dependencia de la  $\text{CE}_s$  de las concentraciones de los tres principales aniones presentes en los extractos de suelos, obteniéndose la expresión:

$$\text{CE}_s = 123 + 203 (\text{Cl}^-) + 144 (\text{SO}_4^{=}) + 65,6 (\text{HCO}_3^-) \quad (\text{X})$$

significativa para  $P = 0,001$ . La CE viene expresada en  $\mu\text{mhos/cm}$  a  $25^\circ \text{C}$  y las concentraciones de los aniones, en meq/100 gr. de suelo.

Considerando la constancia de los valores de  $(\text{HCO}_3^-)$ , se ha eliminado esta variable de la regresión. La nueva ecuación:

$$\text{CE}_s = 189 + 200 (\text{Cl}^-) + 144 (\text{SO}_4^{=}) \quad (\text{XI})$$

permite la predicción de la CE del extracto 1:5 de un suelo, conocidos los contenidos de cloruro y sulfato del mismo, dentro de los intervalos estudiados.

### 3.3. CLASIFICACION DE SUELOS EN FUNCION DE LA SALINIDAD

Las relaciones obtenidas en el apartado 3.2.2., permiten, con las limitaciones indicadas, establecer una clasificación para suelos en función de la salinidad, basada en la conductividad del extracto 1:5, en la cual corresponderían los siguientes valores a los que limitan los intervalos establecidos para el extracto de saturación:

TABLA 4

Extracto de saturación $\mu\text{mhos/cm}$	pCs	Extracto 1:5 $\mu\text{mhos/cm}$	pC5	Clasificación
8.000-16.000	2,1-1,8	> 1.150	< 2,9	Muy salino
4.000- 8.000	2,4-2,1	650-1.150	3,2-2,9	Salino
2.000- 4.000	2,7-2,4	350- 650	3,5-3,2	Lig. salino
< 2.000	>2,7	< 350	> 3,5	No salino

En cualquier caso, los suelos con salinidad debida fundamentalmente a la presencia de sulfato cálcico en cantidad superior al 1,2 por 100, habría que clasificarlos única y exclusivamente como ligeramente salinos, ya que aunque su CE en el extracto 1:5 alcance los 2.200  $\mu\text{mhos/cm}$ , conductividad que corresponde a la disolución saturada de sulfato cálcico a 25° C ( $pC = 2,7$ ), no debe superarse tampoco notablemente este valor en el extracto de saturación.

En 73 muestras de suelos se han determinado las conductividades eléctricas de los extractos saturado y 1:5, y las concentraciones de los iones cloruro y sulfato de este último. Los valores extremos encontrados, referidas las concentraciones de ión cloruro y sulfato a 100 g. de suelo, figuran en la Tabla 5.

T A B L A 5

	mínimo	máximo
CEs $\mu\text{mhos/cm}$ .	1.385	16.096
CE <sub>s</sub> " "	174	2.564
(Cl <sup>-</sup> ) meq/100 g.	0,07	4,48
(SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) " "	0,28	15,54

Utilizando como criterio diferenciador las conductividades eléctricas de los extractos saturados y la escala de Scofield, se ha construido un diagrama de clasificación de suelos en función de la conductividad eléctrica del extracto 1:5 y del contenido de ión cloruro del suelo, que se muestra en la fig. 7.

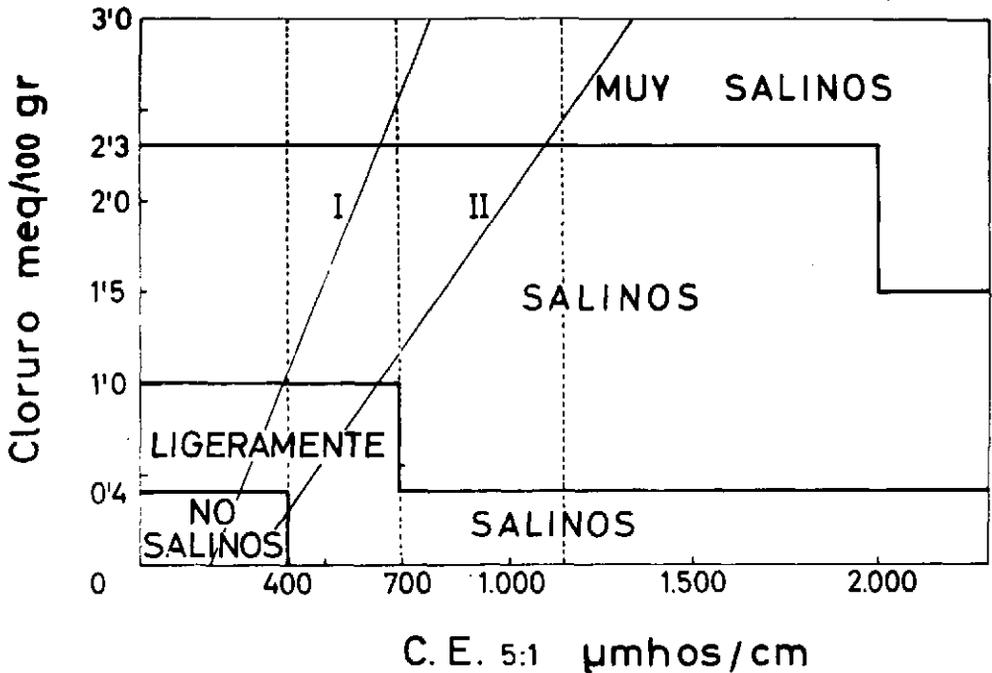


Fig. 7

La recta I, deducida de la ecuación (XI), suponiendo que la concentración de sulfato en el suelo fuera nula, expresa la dependencia conductividad eléctrica del extracto 1:5 - cloruro. En la realidad los puntos correspondientes a suelos con salinidad debida fundamentalmente a la presencia de cloruro, se sitúan en las proximidades de la recta II, en vez de hacerlo cerca de la I, lo que indica que las concentraciones de sulfatos alcanzan valores de 0,4 y 1,5 meq/100 g., respectivamente, en los extremos del intervalo considerado. Naturalmente, a la izquierda de la recta I no se encontrarán puntos correspondientes a muestras de suelo, y entre la I y la II sólo aparecerán los correspondientes a las desviaciones de la regresión representada por la última.

Las líneas de trazos representadas en la gráfica marcan los intervalos de salinidad establecidos en la clasificación anterior para suelos con salinidad debida fundamentalmente a la presencia de cloruros.

#### 3.4. DETERMINACION DE ALCALINIDAD DE SUELOS

Generalmente, se consideran suelos alcalinos aquellos cuyo porcentaje de sodio de cambio es mayor de 15. De acuerdo con esta definición, para establecer el grado de alcalinización de los suelos es necesario conocer el

porcentaje de sodio de cambio. Sin embargo, esta determinación, Bover (14), no es simple, ya que implica la medida del sodio en el extracto de saturación (sodio soluble), y en el extracto con acetato amónico (sodio soluble y de cambio), obteniéndose por diferencia el valor del sodio de cambio.

Este método, como todos los que emplean el extracto de saturación, encierra dificultades técnicas que resultan perturbadoras para los análisis de suelos efectuados en serie.

En el presente capítulo, teniendo en cuenta que el extracto 1 : 5 se ha utilizado anteriormente para determinar la salinidad del suelo, se intentan establecer relaciones entre las concentraciones de sodio en los extractos de saturación del suelo y los extractos 1 : 5, con el fin de calcular el sodio de cambio en los suelos sin necesidad de recurrir a la obtención del extracto de saturación.

En una serie de 57 muestras de suelo (28 de salinidad baja, 12 de salinidad media y 17 de salinidad elevada) se han efectuado las siguientes determinaciones:

- 1) Porcentaje de saturación.
- 2) Sodio en el extracto saturado.
- 3) Sodio en el extracto 1 : 20 con acetato amónico N a pH 7.
- 4) Sodio en el extracto acuoso 1 : 5.
- 5) Cloruros en el extracto acuoso 1 : 5.

En primer lugar se han estudiado las correlaciones entre los valores del sodio soluble, deducidos de los extractos de saturación y 1 : 5.

El valor de sodio soluble que se obtiene a partir de los extractos 1 : 5 es superior de forma sistemática al que proporciona el extracto de saturación. Este hecho se ha comprobado preparando una serie de extractos desde el 1 : 1 al 1 : 10 y determinando el sodio en ellos. Los resultados que figuran en la Tabla 6, revelan claramente este aumento, cuya causa radica en el desplazamiento de parte del sodio de cambio por el ión Ca, procedente de la disolución del  $\text{CaCO}_3$  del suelo (76).

En consecuencia, no resulta aceptable la determinación del Na soluble a partir del extracto 1 : 5.

En segundo lugar, se ha estudiado la correlación sodio soluble deducido del extracto de saturación-cloruro deducido del extracto 1 : 5, correlación de significación elevada, lo mismo que la anterior, pero de valores casi análogos, por lo que puede emplearse en su forma simplificada sin cometer errores apreciables.

$$\text{Na}_s = \text{Cl}_{1,5} \text{ meq/100 g.}$$

## 3.4.1. CORRELACION: Na SOLUBLE - Na 1:5

La comparación de los valores de sodio soluble del suelo (determinados a partir de la concentración de sodio del extracto de saturación) y de los contenidos en sodio (deducidos de sus concentraciones en el extracto 1:5) sugiere la existencia de una correlación positiva entre ambas series de valores. En efecto, el estudio de dicha correlación conduce a la ecuación de regresión:

$$Na_{sol} = 0,939 Na_{1,5} - 0,315 \quad (XII)$$

significativa para  $P = 0,001$  ( $r = 0,992$ ) donde ambos valores vienen expresados en meq/100 g. de suelo.

Esta relación indica que, en general, los valores de sodio soluble no son directamente sustituibles por los de sodio determinado en el extracto 1:5, ya que en este valor está incluido todo el sodio soluble y una fracción indeterminada del sodio de cambio, lo que está de acuerdo con la observación de Magistad y colaboradores (76), de que en suelos calizos, los contenidos de bicarbonato y de sodio, aumentan con la dilución, ya que el sodio es desplazado por el calcio disuelto del carbonato cálcico. Esta observación se ha confirmado, respecto al sodio, al preparar una serie de extractos con distintas diluciones para 13 muestras de suelo.

Calculando a partir de cada extracto la concentración de sodio en el suelo, se encuentran valores crecientes con la dilución, hasta alcanzar la estabilización, ya en las diluciones de relación suelo: agua más bajas, y que corresponden aproximadamente a la suma de sodio soluble (calculado a partir del extracto saturado) más sodio de cambio (Tabla 6).

TABLA 6

## CONCENTRACION DE SODIO A PARTIR DE DISTINTOS EXTRACTOS

Meq/100 g.

## EXTRACTOS

Muestra N.º	Sat.	1:1	1:2	1:4	1:5	1:8	1:10
1	0,337	0,560	0,608	0,640	0,685	0,736	0,860
2	0,201	0,211	0,216	0,304	0,330	0,448	0,450
3	0,363	0,620	0,820	0,862	0,875	0,928	0,920
4	0,385	0,600	0,720	0,785	0,880	0,856	0,900
5	0,501	0,840	1,000	1,100	1,060	1,168	1,200
6	0,230	0,290	0,312	0,334	0,435	0,528	0,540
7	0,390	0,600	0,840	0,996	1,032	1,088	1,060
8	0,430	0,582	0,620	0,672	0,730	0,792	0,800
9	0,530	0,623	0,685	0,736	0,780	0,832	0,860
10	0,749	0,940	0,960	1,000	1,440	1,098	1,190
11	1,579	2,020	2,300	2,480	2,610	2,680	2,660
12	1,104	1,268	1,340	1,440	1,490	1,620	1,660
13	1,860	1,860	2,080	2,240	2,406	2,610	2,790

## 3.4.2. CORRELACION Na SOLUBLE - Cl 1:5

Los resultados anteriores, junto con la observación de que los valores de las concentraciones de ión cloruro en suelos (obtenidos a partir del extracto 1:5) y de sodio soluble (determinado a partir de la concentración del extracto de saturación) muestran notable paralelismo, que se acentúa en el caso de suelos de conductividad elevada, nos han llevado a estudiar la correlación existente entre ambos.

El estudio de la correlación entre  $Na_s$  y  $Cl_{1,5}$  en la serie de 57 muestras consideradas, conduce a la ecuación de regresión:

$$Na_s = 1,018 Cl_{1,5} - 0,120 \quad (XIII)$$

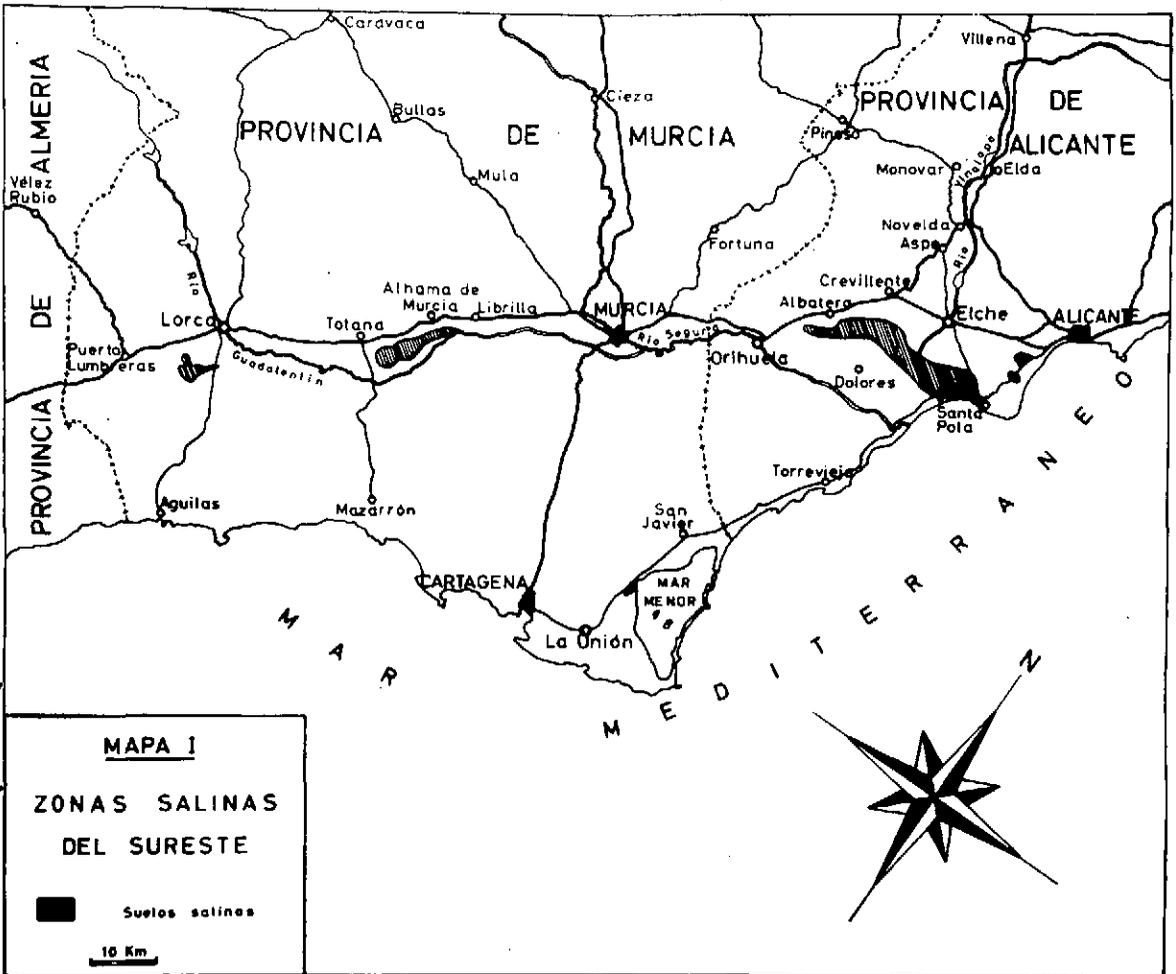
significativa para  $P = 0,001$  ( $r = 0,999$ ), y en la que ambos valores vienen expresados en meq/100 g.

Esta equivalencia indica que en los suelos considerados, la totalidad de ión cloruro presente se encuentra exclusivamente en forma de cloruro sódico (cuya presencia es debida en la mayor parte de los casos a aportes de esta sal por las aguas de riego, o bien, en los suelos de salinidad más elevada, por desecación de aguas marinas en las cuales dicha sal es el componente soluble fundamental).

### 4. SALADARES DE ELCHE

#### 4.1. INTRODUCCION

En la provincia de Alicante, los suelos salinos suponen un 1% de su superficie, encontrándose concentrados en una franja de unos 20 Kms. de longitud y un ancho que oscila de 1 a 5 Km. Esta zona, constituye una de las más importantes de España (9) y se halla situada al Sur de la provincia, extendiéndose desde la localidad de Albuera hasta la de Santa Pola. (Mapa I). La superficie aproximada es de 5.700 Ha.



Próximas a ella existen otras dos pequeñas áreas situadas en la carretera de Santa Pola a Alicante con una superficie conjunta de 500 Ha.

En la primera se vienen efectuando trabajos de saneamiento desde 1715 iniciados por el Cardenal Belluga, que fundó pueblos como Dolores y otros cercanos.

Desde 1946, el Gobierno español, por medio del Instituto Nacional de Colonización, ha continuado la obra iniciada por el ilustre Cardenal, reemprendiendo de forma metódica y racional los trabajos de recuperación de los Saladares y creando los pueblos de S. Isidro de Albufera y El Realengo.

Por esto se ha estudiado aquélla con detenimiento, efectuando un muestreo detallado (al 2 %).

#### 4.2. FORMACION DE LOS SUELOS .

Los suelos de la zona estudiada, son de origen aluvial. Su origen primitivo puede encontrarse en la colmatación de la antiguamente extensa albufera de Elche, en el Cuaternario reciente, con sedimentos transportados por las ramblas, principalmente la de Abanilla, y ríos procedentes del Norte y Noroeste, entre los que destaca el Vinalopó. Es posible que el río Segura haya cooperado también en tal relleno.

Resto de aquella amplia albufera, es la zona pantanosa actual, que desagua al mar por una pequeña gola.

A este primer período de sedimentación, sucedieron otros de origen marino, aluvial y lacustre, según ha podido deducirse de los restos fosilizados encontrados en las distintas capas del terreno: Conchas del tipo Pecten, Gasterópodos dulceacuícolas y cantos rodados.

#### 4.3. NIVEL FREATICO

La primera capa freática, la que realmente presenta interés desde el punto de vista edafológico, oscila desde 2 metros de profundidad hasta la superficie. En la zona Este, el agua aflora formando áreas pantanosas. Son frecuentes los lugares en que el agua surge con débil presión artesiana. Este agua procede, sin duda y en su mayoría de las áreas regadas en la parte alta del campo de Elche, de aquí que su salinidad sea "relativamente" baja, con valores de CE de 9.000 a 12.000  $\mu\text{mhos/cm}$  y el cloruro de 2,6 a 2,8 g/l. y de composición similar a la ordinaria en el cauce del Vinalopó, en el antiguo Pantano. Estas aguas se mezclan con las de avenamiento de los riegos y con las de lluvias, resultando de esta mezcla una concentración de cloruro aproximada de unos 3 g/l. que es la más frecuente en las zonas pantanosas indicadas.

En las zonas donde no tienen lugar estos aportes exteriores de agua de menor contenido en sales, la capa acuosa del subsuelo está fuertemente mineralizada, llegando incluso a alcanzar los 60 g/l de ión cloruro en algunos puntos, lo que representa una concentración triple que la del agua marina en el próximo golfo de Santa Pola, la cual es de 21,5 g/l.

#### 4.4. CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Como se ha indicado, los suelos de esta zona han sido en su totalidad inicialmente subacuáticos, y por consiguiente de origen hidromórfico, formándose en el subsuelo horizontes de reducción, tipo Gley. La gran concentración de sales marinas provocada por evaporación intensa en la albufera, ha dado lugar al rellenarse, a suelos "salino-alcálinos", con un elevado contenido en carbonato cálcico (de 35 % a 60 %, y un valor medio de 45 %). Existen áreas con horizontes decolorados, del tipo de los suelos "alcálinos degradados" (Solod).

Con arreglo a la tipología de suelos americana, estos suelos, en conjunto, y en el estado de suelos terrestres, que es el dominante, se pueden incluir en el orden Aridisol, Gran Grupo Salorthid.

#### 4.5. CARACTERISTICAS DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y ALCALINIDAD

Para efectuar el muestreo se ha utilizado la técnica del reticulado rígido, tomando 100 muestras. En el Oeste de la zona se han tomado algunas por duplicado, debido a que es allí donde el Instituto Nacional de Colonización ha efectuado su labor de saneamiento, parcelando y construyendo canales de avenamiento, que ha permitido el establecimiento de determinados cultivos (algodón, cereales, pimientos, etc.). Por este motivo, junto a zonas francamente salinas se hallan otras actualmente en cultivo, que lógicamente deben presentar niveles de salinidad más bajos y grandes diferencias en las restantes características estudiadas. En los siguientes histogramas de frecuencias se recogen los resultados del muestreo realizado.

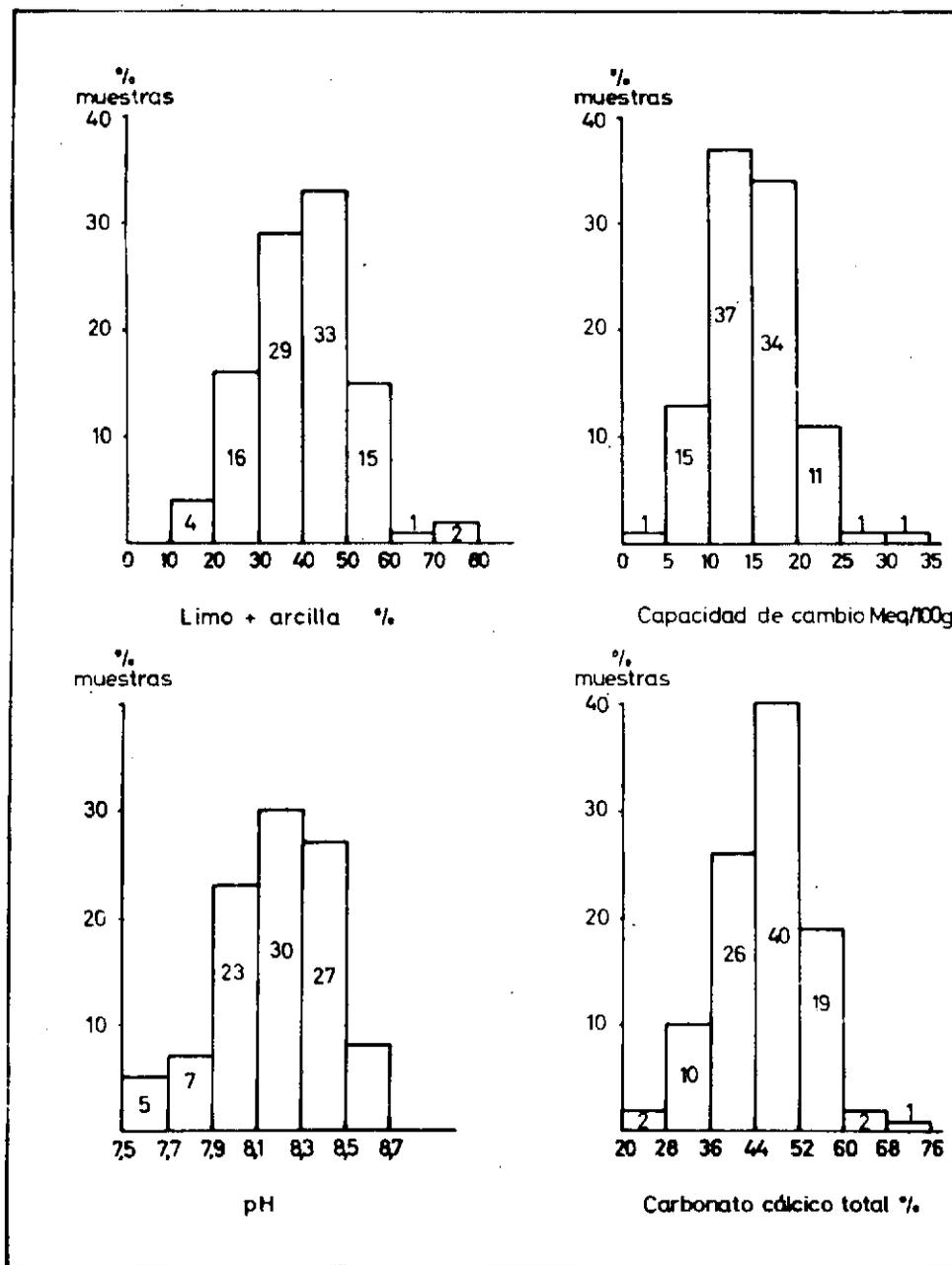


Fig. 8

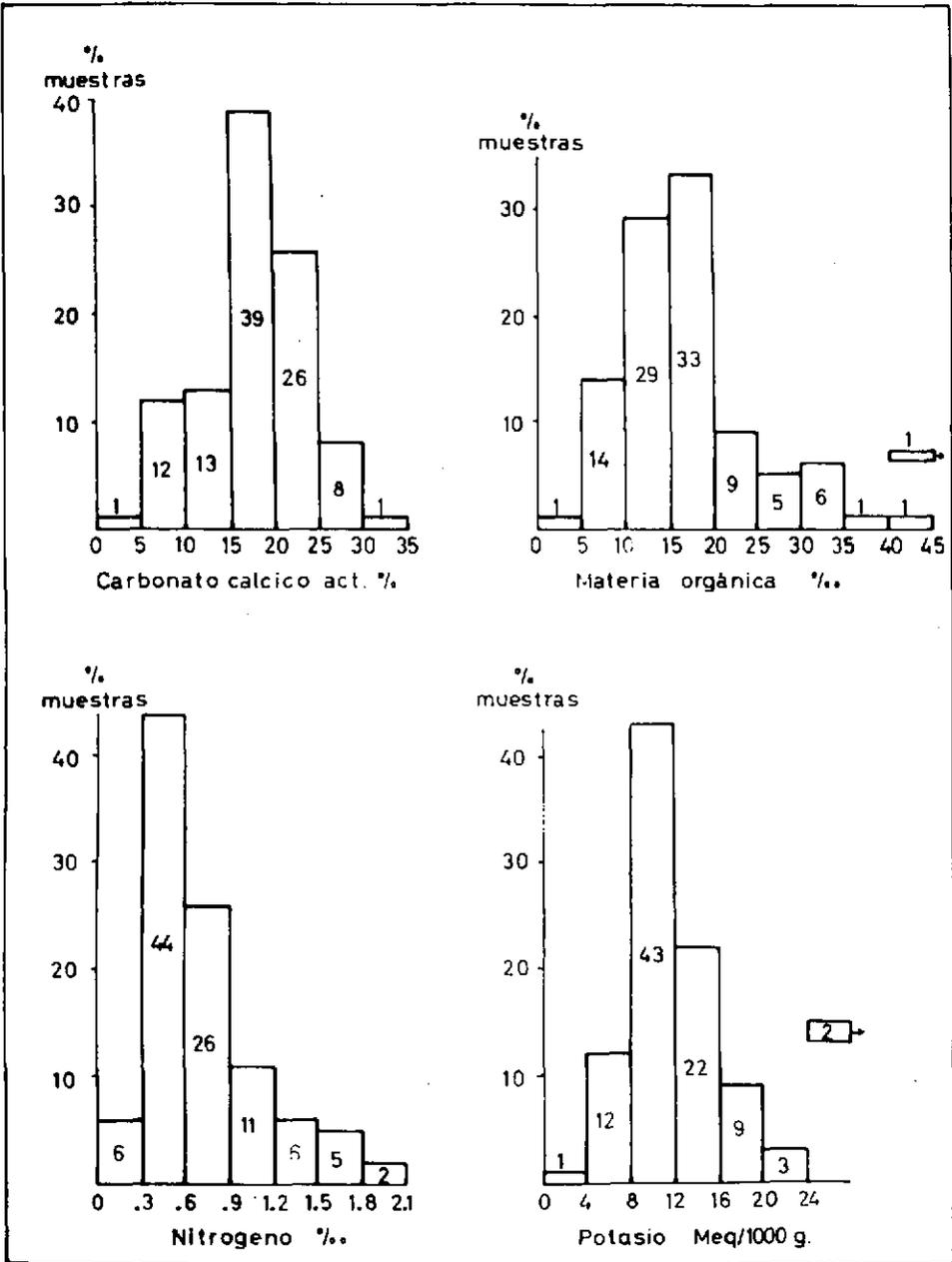


Fig. 9



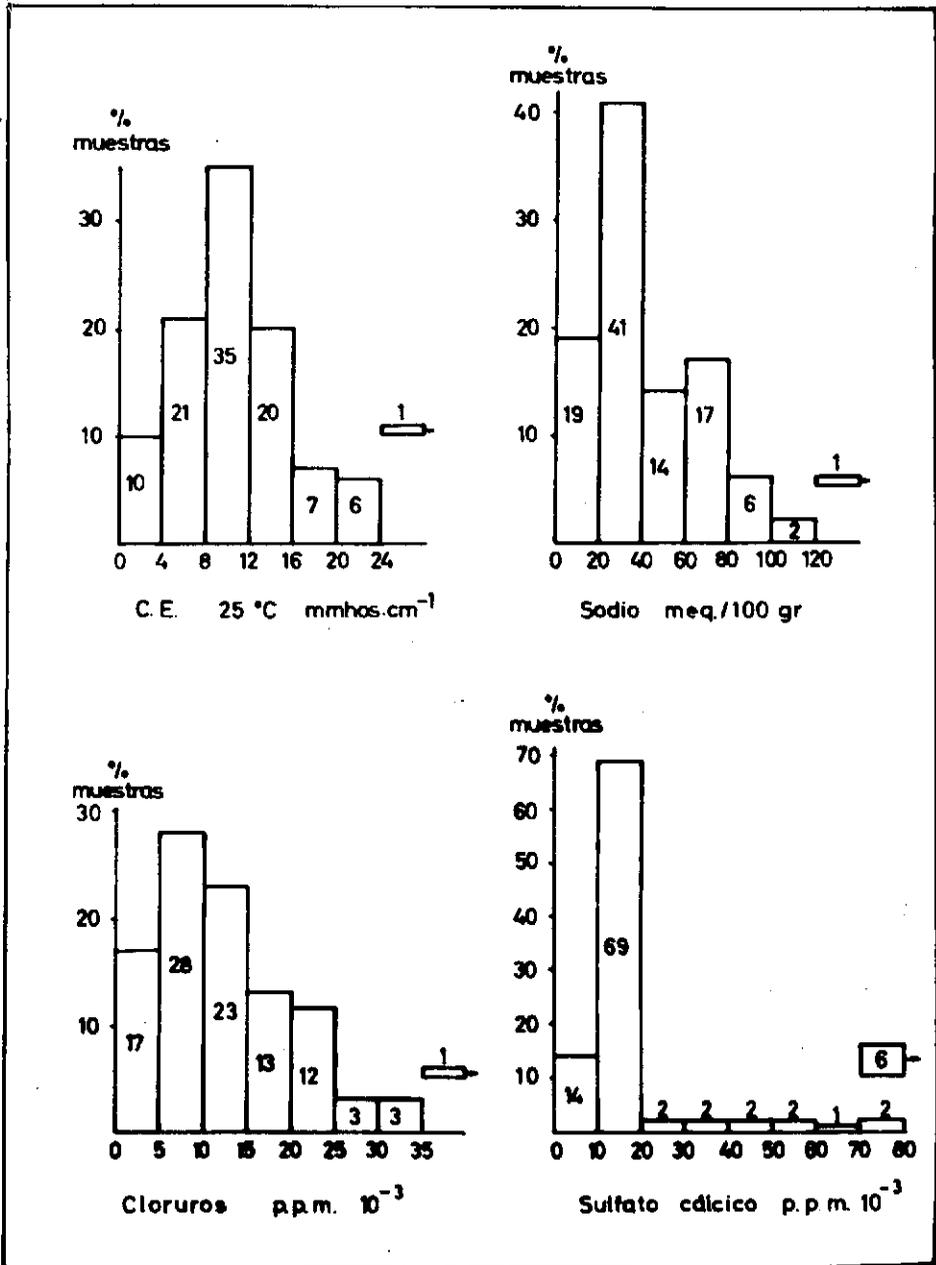


Fig. 10



#### 4.6. POSIBILIDADES DE DESALINIZACION

Como consecuencia inmediata de este estudio efectuado sobre las zonas conocidas como Saladares de Albatera y Elche, puede deducirse que, si bien el saneamiento de este tipo de terrenos no tiene nunca una solución sencilla, rápida y económica, en este caso concreto, puede que ello no implicara serias dificultades, ya que las características particulares de estos suelos así lo hacen suponer.

Desde el punto de vista del suelo, es interesante considerar al hablar de desalinización la textura y el contenido salino, reflejado por la conductividad eléctrica del extracto 1:5, puesto que ambas influyen de manera definitiva en todos los procesos relacionados con el lavado de las sales a horizontes inferiores.

De la observación del histograma de frecuencias de limo + arcilla se deduce que los suelos predominantes contienen del 35 al 55% de limo + arcilla, o lo que es lo mismo, del 45 al 65% de arenas, estando clasificados el 74% de ellos según el diagrama de Texturas (4) como limo-arenosos y limo-arcillo-arenosos, mientras que por debajo del 45% de arenas sólo existen dos pequeñas áreas. No es de extrañar por tanto, que pueda decirse en principio, que la desalinización de esta zona podrá realizarse con relativa facilidad en lo que a la textura se refiere.

En cuanto al contenido de sales solubles, reflejado por los valores de la conductividad eléctrica, no cabe duda, que el panorama no es tan halagüeño, ya que las cantidades de sales a eliminar son bastantes elevadas, aunque tampoco pueden considerarse estos suelos como excesivamente salinos. Por otra parte, hay que señalar que la cantidad de sales solubles no es el factor desfavorable que plantea más dificultades a la hora del saneamiento de un terreno salino.

También hay que resaltar la importancia que tienen los contenidos elevados en carbonato cálcico, tanto total como activo, y sulfato cálcico especialmente, que atenúan de manera notable el peligro de alcalinización que lleva consigo la eliminación de las sales solubles, ya que al existir en el suelo concentraciones elevadas de calcio, es muy difícil que el complejo de cambio se sature de sodio, con el consiguiente perjuicio para las propiedades físicas y físico-químicas de aquél.

Quedan aún dos factores a considerar, independientes de las características físico-químicas del suelo, que pueden dificultar y en algunos casos impedir la desalinización; son éstos el nivel freático y el agua de riego.

El nivel freático, es elevado, puesto que en algunos puntos alcanza incluso la superficie; sin embargo, bastaría la instalación de una adecua-

da red de canales de avenamiento (como la llevada a cabo por el Instituto Nacional de Colonización en la zona de Albaterra y otras empresas particulares, como Santa Fe y Puente de Diez), para conseguir que descienda a profundidades no perturbadoras, al menos para el cultivo de hortalizas y cereales. Por consiguiente, todos los problemas que puedan surgir serán de orden técnico y no creemos que su solución plantee dificultades insuperables. En los casos mas complicados, sería suficiente la colocación de pequeñas instalaciones elevadoras de bajo costo y elevado rendimiento, como se ha hecho ya en algunas fincas de propiedad privada (en las mencionadas Puente de Diez y Santa Fe), situadas al Este de la Laguna del Hondo, precisamente allí donde la profundidad del nivel freático es menor.

En cuanto al agua de riego empleada, no cabe duda, de que cuanto mejor sea su calidad y mayor su abundancia, más fácil se conseguirá la desalinización.

En las áreas actualmente cultivadas, se viene empleando normalmente para el riego aguas de distintas procedencias. En la zona de actuación del Instituto Nacional de Colonización, se utiliza el agua procedente de los pozos que el mismo posee en la Sierra de Callosa del Segura y en el resto de los Saladares, las aguas de los Azarbes allí existentes y de las colas del Segura, elevadas por Riegos de Levante y el Progreso.

Los análisis de estas aguas quedan reflejados en la tabla siguiente:

T A B L A 7

	Pozos del INC en Callosa	Motor del Progreso	Azarbe de la Cebada
pH . . . . .	7,50	7,65	7,80
Conductividad a 25° C			
μmhos/cm. . . . .	8.547	2.704	10.300
Calcio meq/l. . . . .	18,10	9,00	17,00
Magnesio " . . . . .	16,10	10,50	28,50
Sodio " . . . . .	52,00	12,00	74,00
Potasio " . . . . .	0,95	0,24	0,68
Cloruros " . . . . .	53,15	11,46	72,82
Sulfatos " . . . . .	25,48	13,81	38,65
Bicarbonatos " . . . . .	8,52	5,75	6,55

De la observación de la tabla anterior se llega a la consecuencia de que, aunque ninguna de ellas posee la calidad que sería de desear para conseguir el objeto que se persigue, es preferible la del Motor del Progreso, empleada en la zona Este, pues por su menor contenido en sales se obtendría una más rápida y efectiva desalinización si se dispusiera de ella en cantidad suficiente.

## 5. AGUA

Se calcula que la producción mundial de alimentos es 1.700 millones de toneladas, que distribuidos entre 2.800 millones de habitantes, pueden proporcionar una ración media diaria de 2.350 calorías por habitante, que resulta insuficiente. Teniendo en cuenta que la distribución no es uniforme, se ha calculado por la FAO y otros organismos análogos, que las 2/3 partes de la humanidad padecen hambre.

Aunque este problema de la alimentación del género humano se plantea a largo plazo, se observan en principio dos soluciones para resolverlo:

Limitación de la población, medida irrealizable desde todos los puntos de vista.

Aumento de las producciones agrícolas y ganaderas a precios asequibles, bien sea por una explotación más racional de las superficies actualmente cultivadas o por la ampliación de estas zonas.

En este esfuerzo tiene la primacía de eficacia el aprovechamiento del más importante de nuestros recursos naturales: EL AGUA.

El regadío puede ser definido como la aplicación artificial del agua al suelo con el fin de suministrar a las plantas la humedad necesaria para su crecimiento.

Los recursos de agua del mundo yacen en los ríos, en los lagos de agua dulce, en los manantiales y glaciales, y bajo la superficie en forma captable por pozos artesianos o de otros tipos.

La superficie total regada hoy en el mundo es aproximadamente de 121 millones de hectáreas (53). La mayoría de las áreas regables han sido puestas en explotación en los últimos ochenta años; hay planes para, en los próximos veinte años, incrementar la superficie regada hasta más de 200 millones de hectáreas.

### 5.1. LOS REGADIOS EN ESPAÑA

La importancia de los riegos en España no es sólo de hoy, cuando la creciente presión demográfica y la natural tendencia al aumento del nivel de vida de los españoles, orienta los esfuerzos de la nación y coloca en primer término el problema de incrementar la producción agrícola. En un país en el que la precipitación media anual no rebasa los 400 mm y

en el que la irregularidad de la distribución de lluvia en el espacio y en el tiempo es la norma de su meteorología, se comprende perfectamente que haya sido preciso desde los más remotos tiempos recurrir al regadío como único medio de asegurar las cosechas y obtener rendimientos suficientes.

En la tabla 8 se recoge la distribución actual de la superficie agrícola total, en miles de Ha.

T A B L A 8 (61)

	<i>Regadío</i>	<i>Secano</i>
<b>NO LABRADA</b>		
a) Prados y praderas permanentes . . . . .	173,7	1.628,6
b) Especies arbóreas forestales . . . . .	—	10.355,1
c) Especies espontáneas no arbóreas . . . . .	—	10.878,9
d) Improductiva . . . . .	—	1.466,6
<b>LABRADA</b>		
a) Cultivos herbáceos . . . . .	1.353,2	12.657,6
b) Arbolado y arbustos . . . . .	498,1	4.879,2
<b>TOTALES . . . . .</b>	<b>2.025,0</b>	<b>41.866,0</b>
<b>SUPERFICIE TOTAL NACIONAL . . . . .</b>		<b>50.474,1</b>

Esto supone que de la superficie total nacional, un 86,96 % puede considerarse superficie agrícola y de ésta sólo el 4,61 % se cultiva bajo riego.

Este bajo índice de superficie regada tiene su origen principal en el profundo desequilibrio hidrográfico español, desequilibrio que se encuentra en franca oposición con el equilibrio económico, ya que las zonas más productivas son las peor dotadas.

## 5.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS DE RIEGO

Sin perjuicio de que en otra parte de este trabajo se revisen las características y criterios de calidad de las aguas de riego, ofrecemos a continuación (fig. 11) las distribuciones de frecuencias, en tanto por ciento de las características más directamente ligadas con los procesos de salinización, en un grupo de 742 muestras de agua de riego de la Región, de distinta procedencia.

Teniendo en cuenta que el muestreo se ha efectuado al azar y que por tanto puede considerarse representativo del estado actual de los re-

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE ALGUNAS CARACTERISTICAS  
DE LAS AGUAS DE RIEGO EN EL SURESTE ESPAÑOL

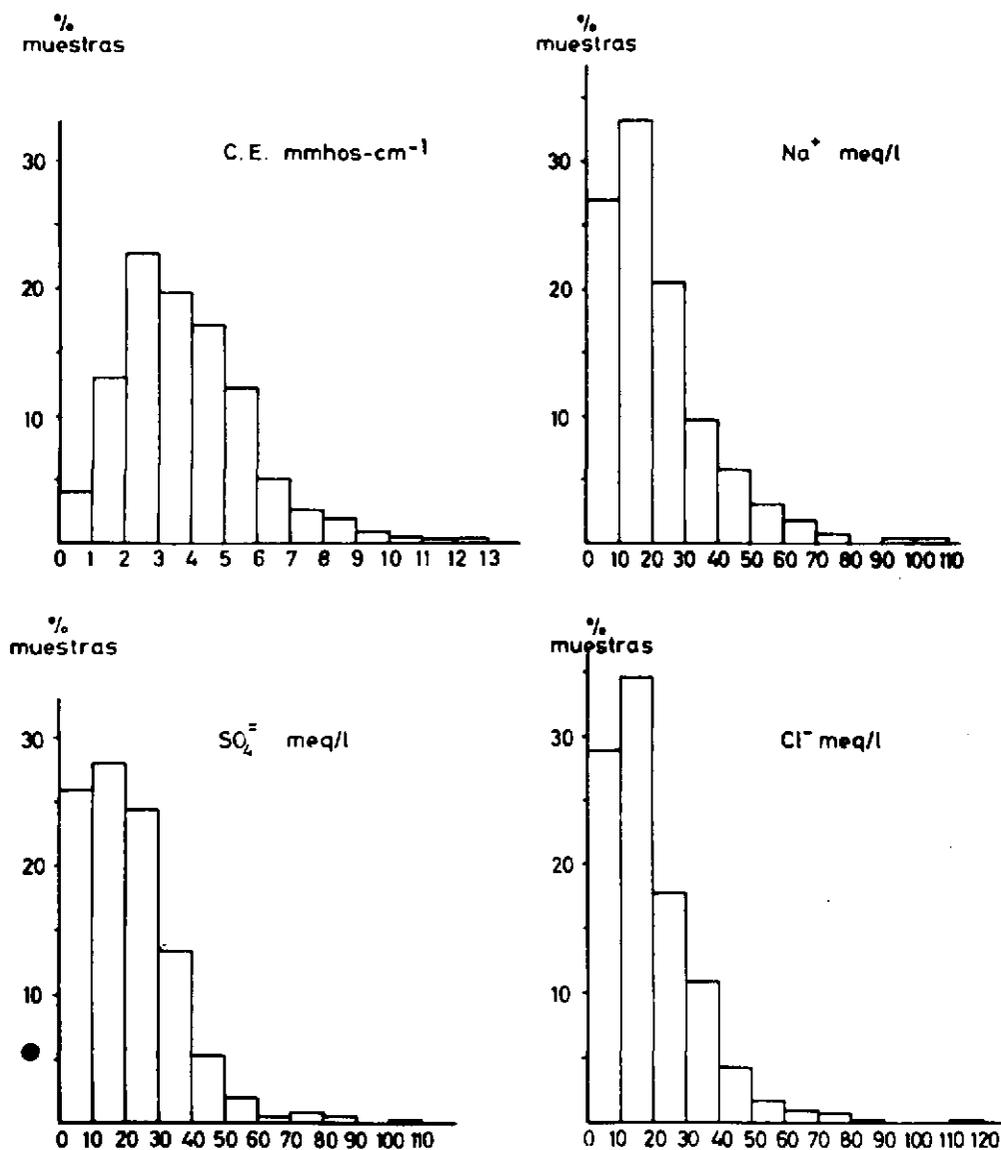


Fig. 11

gadios, se deduce de la simple observación de los gráficos, haciendo uso de criterios interpretativos elementales, que existe un predominio marcado de aguas de calidad mediocre o mala.

### 5.3. RELACIONES ENTRE CARACTERISTICAS DE AGUAS

Las aguas naturales varían grandemente en su composición mineral. Los constituyentes de un agua pueden dividirse en dos grandes grupos: 1) Componentes menores y 2) Componentes mayores.

El primer grupo es el menos importante, puesto que comprende constituyentes que se presentan normalmente en bajísimas concentraciones y los cuales, con excepción del boro, no son de mayor importancia en su relación con el suelo y las plantas. En este grupo se incluyen: boro, sílice, fluoruro, nitrato, nitrito, sulfito, fosfato, hierro, aluminio, amonio y materia orgánica.

El segundo grupo comprende los componentes más abundantes de las aguas de riego y que determinan en gran parte su calidad; en él se incluyen: los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio y los aniones cloruro, sulfato, carbonato y bicarbonato.

La conductividad eléctrica se usa comúnmente como indicadora de la concentración total de constituyentes ionizados.

Existen relaciones sencillas entre los distintos constituyentes de un agua, que se han utilizado, bien para detectar errores en sus análisis, o para obtener aproximaciones de utilidad práctica, que evitan medidas laboriosas. Así, expresando los aniones y cationes en meq/l., sus sumas han de ser iguales o presentar diferencias muy pequeñas, debidas ya a iones no determinados por encontrarse en muy baja concentración, o a ligeros errores analíticos justificables normalmente.

#### 5.3.1. RELACION CONCENTRACION DE ANIONES O CATIONES - CE

La relación entre la CE en  $\mu\text{mhos/cm}$  y la suma de cationes o aniones en meq/l., debe ser un número próximo a 100 (108).

La existencia de esta relación se ha comprobado experimentalmente por nosotros, tanto con cationes como con aniones. Para ello se establecieron las correlaciones entre las sumas de aniones y cationes en meq/l. frente a las correspondientes CE en  $\mu\text{mhos/cm}$ , operando con los datos procedentes de 1.152 análisis de aguas

Las ecuaciones de regresión obtenidas fueron:

$$\text{aniones meq/l} = 0,0122 \text{ CE } (\mu\text{mhos/cm}) - 1,0 \quad (\text{XIV})$$

y

$$\text{cationes meq/l} = 0,0125 \text{ CE } (\mu\text{mhos/cm}) - 1,05 \quad (\text{XV})$$

y los respectivos coeficientes de correlación:  $r_{\text{ani}} = 0,9765$  y  $r_{\text{cat}} = 0,9749$ , significativos al nivel de probabilidad de 0,1%.

Estas ecuaciones permiten tener una idea de la concentración de sales con la sola medida de la conductividad y despreciando el término independiente, confirman la relación antedicha con un valor medio de 81. Por otra parte, la casi igualdad de las dos ecuaciones comprueba que en los datos utilizados se verificaba la igualdad de las sumas de aniones y cationes.

### 5.3.2. RELACION: SOLIDOS DISUELTOS - CE

Otra relación empleada generalmente y de utilidad análoga a la anterior, es la que resulta de dividir la concentración de sólidos disueltos, expresados en ppm., por la CE en  $\mu\text{mhos/cm}$ , relación que según la bibliografía debe ser aproximadamente 0,64 (108).

Establecida la correlación entre estas dos variables, la ecuación de regresión obtenida es:

$$\text{Sol. dis. ppm.} = 0,7445 \text{ CE } \mu\text{mhos/cm} + 53 \quad (\text{XVI})$$

el coeficiente de correlación ( $r = 0,9697$ ) es significativo al 0,1%.

### 5.3.3. RELACION CE - CLORUROS, SULFATOS Y BICARBONATOS

Hemos considerado de interés establecer la dependencia de la CE de las aguas de los componentes de una de sus fracciones iónicas (se han seleccionado los aniones porque debido a la ausencia casi sistemática de carbonatos quedan reducidos a tres lo que simplifica notablemente el cálculo). La consideración químico-física del fenómeno es compleja, ya que la presencia de varias especies iónicas en disolución, a concentraciones relativamente elevadas, da lugar a fenómenos de interacción que afectan muy marcadamente los resultados (3). El estudio realizado sobre 1.152 muestras de agua (de riego, freáticas y de avenamiento), muestran la dependencia de la CE de la concentración individual de los iones cloruro, sulfato y bicarbonato.

La regresión múltiple entre dichas variables, establecida mediante el sistema de multiplicadores de Gauss —método abreviado de Doolittle (50)—, viene expresada por la ecuación

$$CE \text{ } \mu\text{mhos/cm} = 210 + 74,0 (\text{CO}_3\text{H}) + 63,8 (\text{SO}_4) + 94,2 (\text{Cl}) \quad (\text{XVII})$$

donde las concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Cl}^-$  deben expresarse en meq/l.

El análisis de la varianza de la regresión múltiple muestra que ésta es muy significativa (nivel de probabilidad de 0,1%).

## **6. SALINIZACION Y ALCALINIZACION DE SUELOS ORIGINADA POR LAS AGUAS DE RIEGO**

Los principios que gobiernan las relaciones entre el suelo y el agua son conocidos, al menos cualitativamente, desde hace bastantes años y las investigaciones en este sentido se han orientado en todo momento a dar a estos conocimientos, en la medida de lo posible, una forma cuantitativa.

Todas las aguas de riego contienen cantidades variables de sales disueltas. Por ello, la práctica del riego, necesaria para el desarrollo de los cultivos en las zonas áridas y semi-áridas, puede alterar marcadamente las propiedades de los suelos a que se aplique, así como las de las especies vegetales que sobre ellos existan

Los efectos principales que las aguas de riego originan en los suelos pueden dividirse en dos grupos:

a) Alteración de la concentración de la disolución del suelo, proceso conocido como "salinización".

b) Modificación de la composición de los constituyentes disueltos y adsorbidos, "alcalinización", en el caso de aumento de la concentración de ión sodio especialmente.

Estas dos acciones dan lugar a perturbaciones de diversa índole cuando se emplean para el riego aguas muy salinas. Algunas de las más importantes son: disminución de la absorción de agua por las raíces de las plantas al aumentar la concentración de la disolución del suelo, empeoramiento de las propiedades físicas del suelo como consecuencia de la adsorción de sodio por el complejo coloidal, y fenómenos de toxicidad específica de algunos iones.

### **6.1. SALINIZACION**

La relación entre la concentración total de sales disueltas en el agua de riego y la de la disolución del suelo en la zona radical es muy compleja y está determinada, en primer lugar, por la fracción del agua aplicada que en un tiempo dado atraviesa esta zona, y secundariamente, por el contenido de agua del suelo. También influyen sobre dicha relación, la

precipitación de los constituyentes disueltos y la separación de algunos por los cultivos.

Por definición, la "capacidad de retención" de un suelo para el agua, es la cantidad máxima de ésta que el suelo puede retener, cuando el drenaje está libremente asegurado. Se admite que esta capacidad de retención es debida a fenómenos de superficie.

A medida que la textura del suelo se hace más gruesa, las fuerzas de atracción se debilitan y el lixiviado es más fácil. Este lixiviado está en relación con la permeabilidad, que a su vez se encuentra estrechamente ligada a la textura.

Los factores climáticos y pedológicos determinan en el SE. de la Península Ibérica una amplia zona, que abarca la casi totalidad de la provincia de Murcia y una parte notable de las de Alicante y Almería, con características netamente diferenciadas de las zonas colindantes costeras e interiores.

Los suelos de esta región están originados predominantemente sobre roca caliza y derrubiación subsiguiente; desde el punto de vista de tipología son principalmente suelos Pardos calizos mediterráneos y Serosem (93).

Con el fin de estudiar la salinización de suelos originada por el agua de riego en el Sureste español se han obtenido muestras hasta 20 cm. de profundidad de 137 suelos calizos de las provincias de Alicante, Murcia y Almería, de textura dominante limo-arenosa, contenido en sulfato cálcico inferior a 7.000 ppm y nivel de fertilidad medio, dedicados al cultivo de frutales y hortalizas de interés económico, y de las 137 aguas de riego correspondientes.

Al objeto de tener seguridad plena de que está establecido el equilibrio suelo-agua de riego, así como para eliminar los efectos que sobre él ejercen una serie de factores externos (sistemas de cultivo y de riego, cantidad de agua empleada en cada riego, frecuencia de los riegos, etc.), la mayor parte de las muestras corresponden a suelos regados con la misma agua un gran número de años (12-13). Los resultados obtenidos ofrecerán de este modo una estimación más representativa del proceso de salinización.

En las tablas 9 y 10, así como en la tabla de regresión se recogen las distribuciones de frecuencia de aquellas características de las aguas y los suelos estudiados, más directamente ligadas al proceso de salinización.

TABLA 9

## AGUAS

CE 25° C μmhos/cm	N.º de muestras	ppm SO <sub>4</sub>	N.º de muestras	ppm Cl <sup>-</sup>	N.º de muestras
0-1.000	10	0- 300	21	0- 200	25
1.000-2.000	21	300- 600	29	200- 400	38
2.000-3.000	33	600- 900	30	400- 600	29
3.000-4.000	40	900-1.200	23	600- 800	21
4.000-5.000	21	1.200-1.500	22	800-1.000	11
5.000-6.000	9	1.800-2.100	1	1.000-1.200	8
6.000-7.000	2	2.400-2.720	1	1.200-1.400	3
7.000-8.000	1	3.300-3.600	1	1.400-1.600	1
				1.600-1.800	1

TABLA 10

## SUELOS

ppm. CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	N.º de muestras	ppm Cl <sup>-</sup>	N.º de muestras		
0-1.000	70	0- 150	39		
1.000-2.000	34	150- 300	31		
2.000-3.000	21	300- 450	24		
3.000-4.000	7	450- 600	18		
4.000-5.000	2	600- 750	10		
5.000-6.000	2	750- 900	7		
6.000-7.000	1	900-1.050	4		
		1.050-1.200	2		
		1.200-1.350	2		
		1.500-1.650	1		
Textura	N.º de muestras				
Areno-limosa	11	CO <sub>3</sub> Ca total %			
Limo-arenosa	102	máximo	mínimo	medio	
Limo	20				
Limo-arc.-aren.	4				
		72,5	5,0	38,9	

Aunque en el estudio de los problemas de suelos en relación con el desarrollo vegetal se recomienda casi generalmente el empleo de la medida de la conductividad eléctrica del extracto de saturación a 25° C, en el presente capítulo se utilizan los correspondientes al extracto 1 : 5, por haberse establecido previamente (ecuación VIII) la correlación entre las conductividades eléctricas de ambos extractos para suelos de características análogas a los estudiados

La correlación entre las CE del extracto 1 : 5 ( $CE_s$ ) del suelo y del agua de riego conduce a una ecuación de regresión de segundo grado, de significación muy elevada (fig. 12).

$$CE_s = 19,76 \cdot 10^{-6} (CE_{H_2O})^2 + 0,14 CE_{H_2O} + 271 \quad (XVIII)$$

que pone de manifiesto un aumento más rápido de la salinización del suelo cuando la conductividad del agua de riego supera los 4.000  $\mu$ mhos/cm.

Por razones de simplicidad y dado que también resulta significativa al nivel de probabilidad 0,1% ( $r = 0,866$ ) puede utilizarse con fines prácticos, la ecuación de regresión de primer grado.

$$CE_s = 0,266 CE_{H_2O} + 101 \quad (XIX)$$

Esta ecuación permitirá predecir el riesgo de salinización de suelos de la región de características similares a las de los estudiados, en función de la conductividad eléctrica del agua de riego utilizada, con seguridad de  $\pm 350 \mu$ mhos/cm al nivel de probabilidad de 0,1%

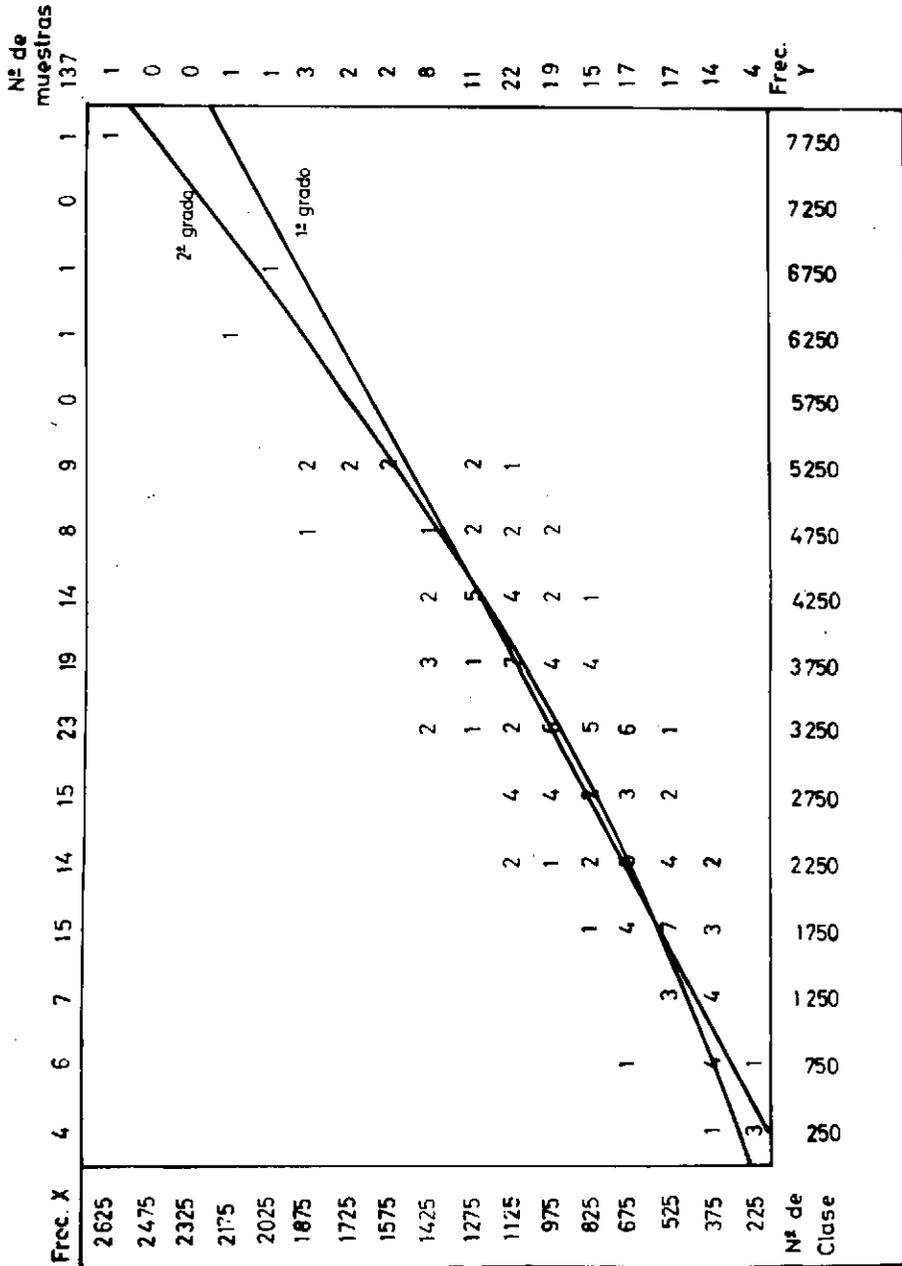


Fig. 12



## 6.2. ALCALINIZACION

Para predecir los efectos del agua de riego sobre la composición de los constituyentes disueltos y adsorbidos en el suelo, es interesante considerar el riego de un suelo como un proceso de columna.

El cambio en la composición de los cationes disueltos y adsorbidos con la profundidad del suelo y con el volumen de agua aplicada, es un tema de gran interés práctico.

Existen dos orientaciones que enfocan este problema desde distintos puntos de vista. La primera está fundamentada en las cinéticas de las reacciones de adsorción y cambio iónico y considera el proceso que tiene lugar cuando una disolución fluye a través de un sólido capaz de reaccionar con los cationes disueltos. En la segunda se considera ya alcanzado el equilibrio, y se intenta deducir las composiciones de las fases disueltas y adsorbida.

En el presente trabajo el problema de la alcalinización de los suelos, producida por los riegos sucesivos, se ha enfocado desde un punto de vista eminentemente práctico, para poder predecir, conociendo las características del agua de riego, el grado de alcalinización que se alcanzará en un suelo determinado.

Como índice de la alcalinización de los suelos se utiliza casi universalmente el PSC (porcentaje de sodio de cambio), mientras que para predecir la alcalinización que las aguas pueden provocar, se emplean distintas relaciones entre las concentraciones del ión sodio y las de los restantes cationes presentes en aquéllas, relaciones deducidas de las ecuaciones de equilibrio, supuesto que se haya establecido dicho equilibrio en el sistema dinámico: agua de riego-disolución del suelo-complejo adsorbente del suelo.

Se han calculado las ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación entre el PSC determinado experimentalmente y cada una de las relaciones escogidas, con objeto de determinar cual de ellas ofrece valores más acordes con los reales.

Las relaciones entre el contenido de sodio y los restantes cationes de las aguas de riego que se han utilizado, han sido:

$$a) \text{ SAR (Relación de adsorción de sodio)} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$$

$$b) \text{ PSS (Porcentaje de sodio soluble)} = \frac{\text{Na} \cdot 100}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}}$$

que expresa el porcentaje de ión sodio respecto a la suma de cationes presentes en el agua.

c) PSE (Porcentaje de sodio en exceso) =

$$\frac{\text{Na} \cdot 100}{(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) - (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H})}$$

que presenta la modificación de restar al total de cationes los carbonatos más bicarbonatos. Esto permite que los PSE puedan ser iguales o mayores de 100 en lugar de la práctica usual de expresar el exceso de carbonatos sobre la suma de calcio más magnesio como "carbonatos residuales".

Los valores de PSE están basados en el supuesto de que la totalidad de los iones carbonato y bicarbonato están completamente precipitados o ligados a cationes divalentes.

d) PSA (Porcentaje de sodio activo) =

$$\frac{\text{Na} \cdot 100}{(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) - (\text{CO}_3 + \text{CO}_3\text{H})/4}$$

suponiendo que sólo la cuarta parte de los carbonatos más bicarbonatos sería efectiva en la precipitación del calcio y magnesio (103):

e) También se ha probado la utilidad del PSC obtenido mediante la aplicación al sistema suelo-agua de riego de la ecuación de equilibrio de Gapon modificada.

### 6.2.1. RELACION DE ADSORCION DE SODIO Y PORCENTAJE DE SODIO DE CAMBIO

El estudio de la correlación entre el SAR y el PSC (fig. 13) conduce a la ecuación:

$$\text{PSC} = 0,767 \text{ SAR} + 1,09 \quad (\text{XX})$$

con un coeficiente de correlación  $r = 0,903$ , significativo al nivel de probabilidad 0,1% y con unos límites máximos de confianza a P: 0,1 de  $\pm 1,58$ .

La recta superior muestra los valores del PSC que se alcanzarían en los suelos suponiendo que el agua de riego se concentra en el suelo 2,5

veces, límite que está de acuerdo con el dado por Durand (37) para suelos de textura limo-arenosa, y concuerda exactamente con nuestros resultados, ya que sólo tres de las muestras estudiadas lo superan ligeramente.

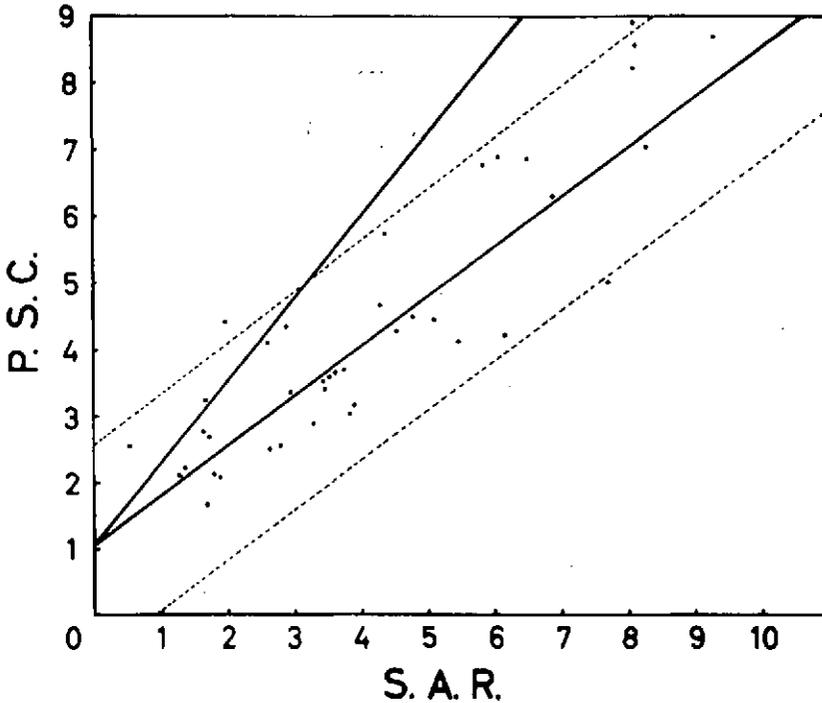


Fig. 13

### 6.2.2. PORCENTAJE DE SODIO SOLUBLE Y PORCENTAJE DE SODIO DE CAMBIO

El empleo del PSS da lugar a la siguiente ecuación de regresión:

$$PSC = 0,123 PSS \quad (XXI)$$

representada en la fig. 14. El coeficiente de correlación es significativo al nivel de probabilidad 0,1% ( $r = 0,821$ ). Los límites máximos de confianza a  $P: 0,1$  son de  $\pm 2,13$ .

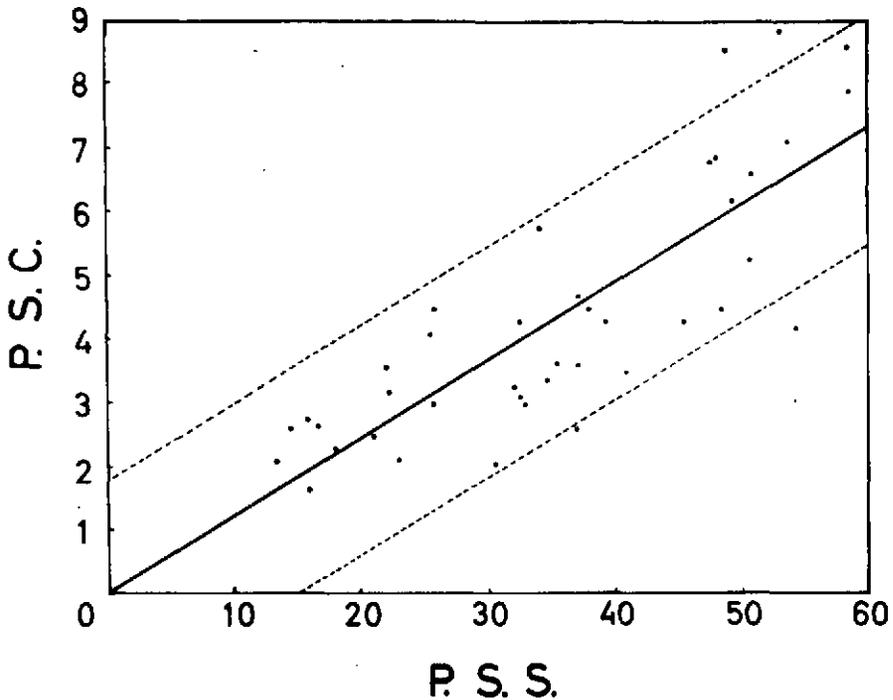


Fig. 14

### 6.2.3. PORCENTAJES DE SODIO "EN EXCESO" Y "ACTIVO" Y PORCENTAJE DE SODIO DE CAMBIO

La utilización de los PSE y PSA no representa ninguna ventaja sobre las otras relaciones estudiadas. Esto indica que en las condiciones consideradas, la precipitación de la totalidad de los carbonatos y bicarbonatos del agua no se realiza a expensas de los iones calcio y magnesio de la misma.

Las ecuaciones de regresión obtenidas son:

$$PSC = 0,102. PSE \quad (XXII)$$

y

$$PSC = 0,119. PSA \quad (XXIII)$$

con coeficientes de correlación significativos al nivel de probabilidad 0,1%, de 0,742 y 0,813 respectivamente.

#### 6.2.4. PORCENTAJE DE SODIO DE CAMBIO DE GAPON Y PORCENTAJE DE SODIO DE CAMBIO DEL SUELO

La ecuación de equilibrio de Gapon:

$$\frac{\text{NaZ}}{\text{CaZ} + \text{MgZ}} = K_G \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$$

deducida para el sistema: disolución del suelo-suelo, da muy buenos resultados cuando se emplean para las concentraciones de los cationes, valores obtenidos a partir de extracto saturado del suelo. Sin embargo, puede ser de gran utilidad aplicar a dicha ecuación los valores del agua de riego.

La aplicación directa de la ecuación de Gapon requiere el cálculo de la constante de equilibrio, que como es lógico depende de la naturaleza del suelo y oscila de 0,010 a 0,015 según Greene (49) o de 0,04 a 0,004 según Jacobs et al. (64).

Para obtener el valor de esta constante aplicable a las condiciones de nuestro trabajo, se ha calculado a partir de la ecuación de equilibrio ligeramente modificada

$$\frac{\text{NaZ}}{\text{CC-NaZ}} = K_G \cdot \text{SAR}$$

para cada una de las muestras, tomando después el valor medio. En esta ecuación los símbolos NaZ, representan las concentraciones de sodio en meq/100 gr. en el complejo de cambio y CC la capacidad de cambio de cationes, también en meq/100 gr.

Los valores obtenidos varían en 39 de las 40 muestras estudiadas entre 0,007 y 0,024 con un valor medio de 0,012, lo que está en perfecto acuerdo con (49).

Modificando la ecuación de Gapon para que tome la forma:

$$\text{PSC} = \frac{K_G^2 \cdot \text{Na}^2 \cdot 100}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}} + K_G \cdot \text{Na}}$$

y sustituyendo en esta ecuación los valores de Na, Ca y Mg de cada una de las aguas y dando a  $K_G$  su valor medio 0,012 se han calculado los

PSCG para las 39 muestras, y entonces se han relacionado con los valores actuales de PSC.

La ecuación de regresión detenida, representada en la fig. 15 es:

$$\text{PSC} = 0,732 \text{ PSCG} + 0,90 \quad (\text{XXIV})$$

el coeficiente de correlación es 0,903, significativo al nivel de probabilidad del 0,1 %, y los límites máximos de confianza al mismo nivel, de  $\pm 1,56$ .

No se obtiene, pues, mayor ventaja utilizando los valores de  $\text{PSC}_G$ , que directamente los de SAR en la predicción de PSC. La única diferencia es que los límites de confianza son más estrechos, lo que no justifica su empleo.

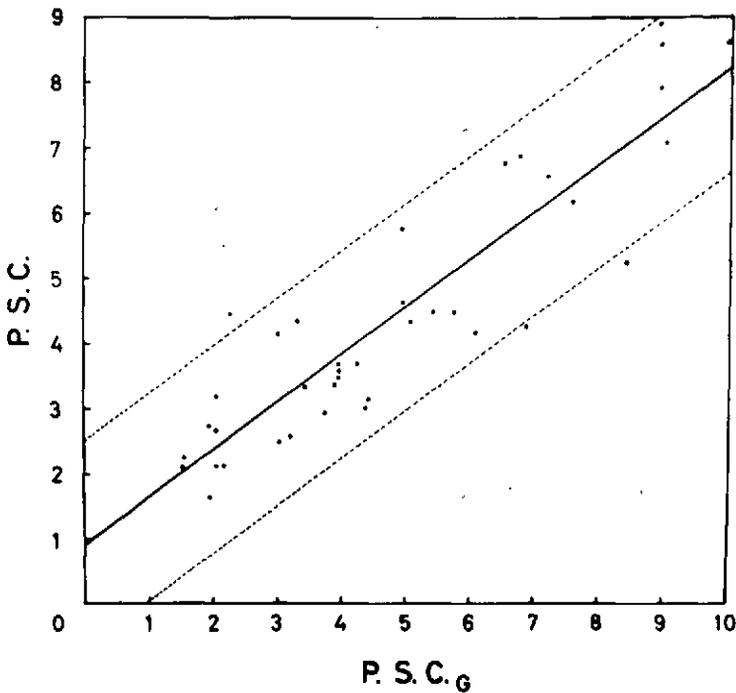


Fig. 15

## 7. CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO

### 7.1. ANTECEDENTES

Se han propuesto numerosas clasificaciones de aguas, basándose en algunas de sus características, para poder predecir su aptitud para el riego de determinados cultivos, Wilcox (114), Puri (85), Greene (49), Richards (108), Eaton (39) Durand (37), y Kanwar (67).

Sin embargo, a pesar de todas las modificaciones propuestas, no se ha conseguido una clasificación utilizable en cualquier condición, para todos los cultivos y todos los suelos.

Así, Thorne y Peterson (104), Bottini y Lisanti (11) y Kanwar (67) entre otros han comprobado que aguas que debían ser clasificadas como dudosas e incluso no utilizables para el riego según las normas anteriores, se empleaban sin embargo con buenos resultados.

### 7.2. APLICACION AL RIEGO DE AGRIOS

Los agrios son, en general, plantas poco tolerantes a la salinidad y alcalinidad.

Aunque no se puede establecer de forma absoluta una concentración salina en el agua que marque el límite de toxicidad, ya que éste depende de factores variables, generalmente se observan efectos depresivos sobre el desarrollo cuando se emplean aguas de concentraciones superiores a 0,35 y 0,70 gr./l. en los iones cloruro y sulfato respectivamente (86, 111).

Son numerosas las experiencias que así lo confirman. Pearson et al. (81), Pearson y Huberty (82) (111) y Harding (54).

En las plantaciones de agrios del Sureste español, es frecuente observar algunos de los efectos desfavorables, debidos en su mayoría al empleo de aguas de elevados contenidos en iones cloruro y sulfato y de SAR elevado.

En esta zona, son de uso común con buenos resultados, aguas que según las normas generalmente aceptadas, resultarían peligrosas o inutilizables para el riego de agrios, por el peligro de salinización y alcalinización implicado.

Por este motivo presenta un gran interés, el disponer de un diagrama que permita clasificar las aguas de acuerdo con las características particulares de la zona.

Para ello, hemos utilizado los resultados obtenidos en 6.2. por una parte, y se han efectuado con suelos dedicados exclusivamente al cultivo de agrios, un trabajo análogo al 6.1.

La figura 16 muestra la regresión entre las CE de los extractos 1:5 de los suelos y la CE de las aguas de riego correspondientes, expresadas ambas en mmhos/cm.

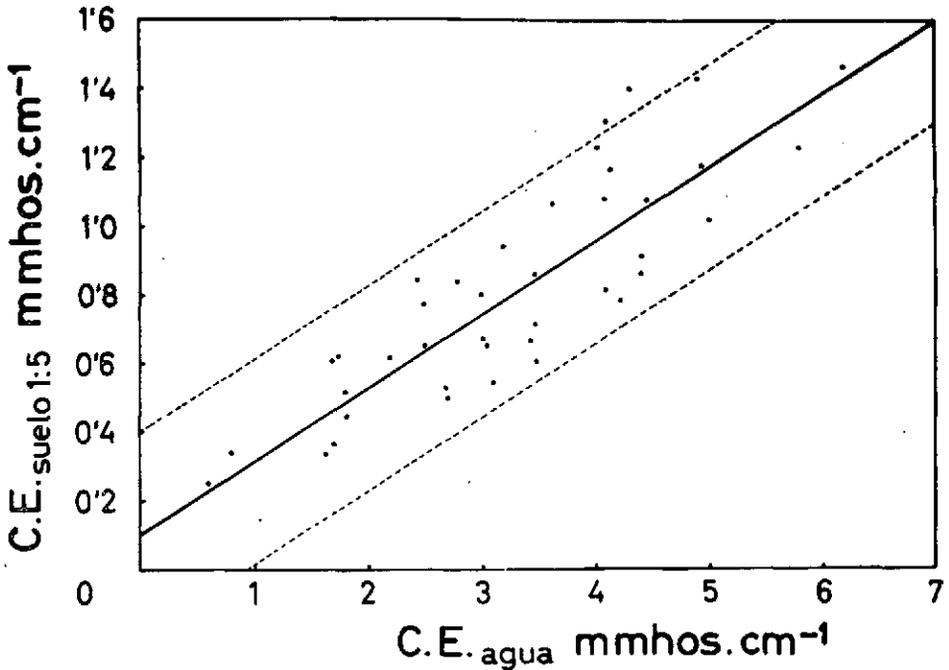


Fig. 16

La ecuación de regresión obtenida es:

$$CE_s = 0,222 CE_{H_2O} + 0,1 \quad (XXV)$$

A partir de esta ecuación pueden predecirse los valores de la CE del extracto 1:5 del suelo en función de la CE del agua empleada para el riego para valores de esta última hasta 6 mmhos/cm con seguridad mayor de  $\pm 0,50$  mmhos/cm, al nivel de probabilidad 0,1% ( $r = 0,861$ ).

Como consecuencia de todo lo anterior y de las observaciones de campo efectuadas ofrecemos un diagrama de clasificación de las aguas para

riego de agrios (fig. 17), en suelos de las características indicadas, y bajo las condiciones climáticas propias del Sureste español.

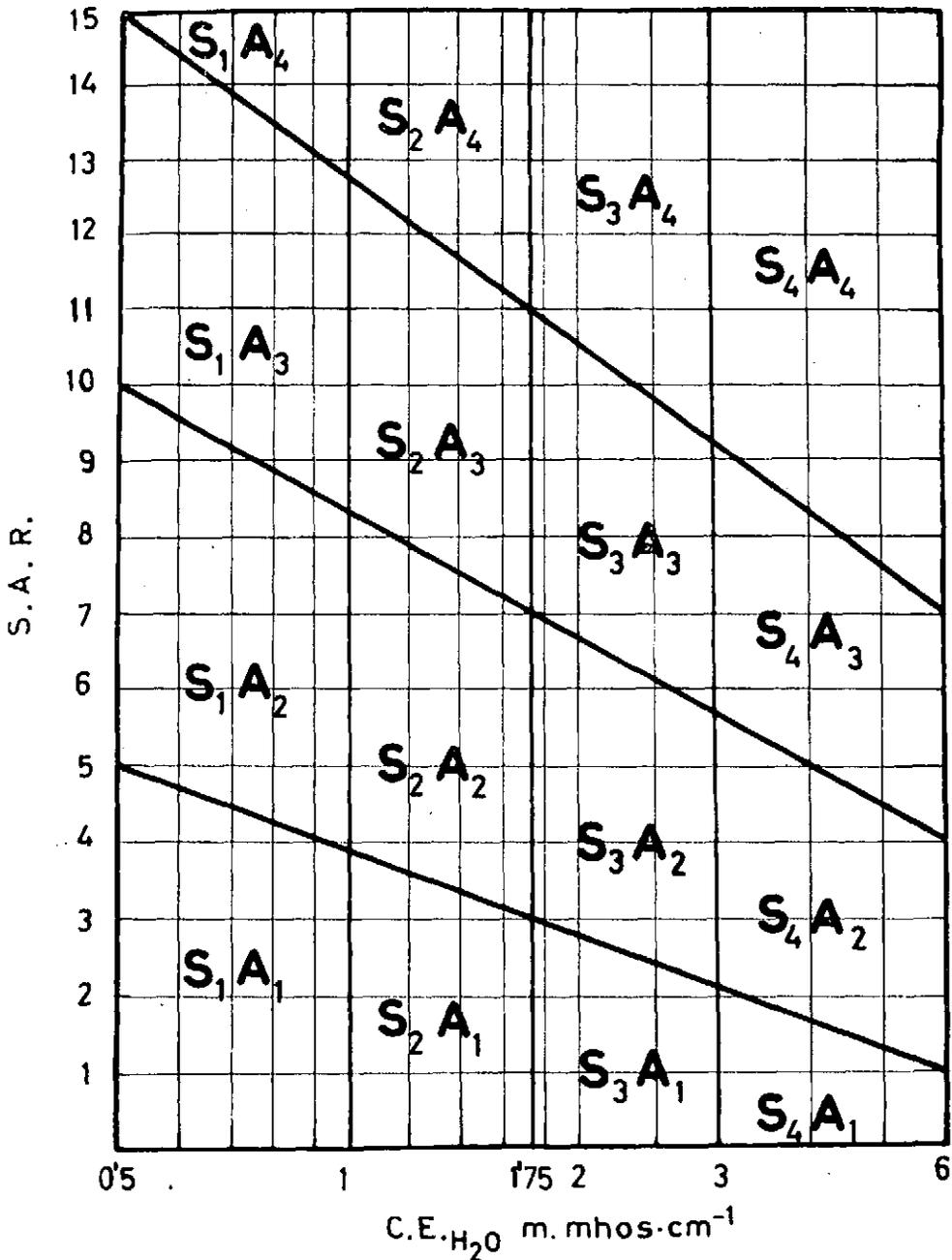


Fig. 17



En el gráfico propuesto (fig. 17), en abscisas figuran los valores de la  $CE_{H_2O}$  a 25° C en mmhos/cm y en ordenadas, los de la relación de adsorción de sodio.

Las curvas logarítmicas, establecidas empíricamente, responde a las ecuaciones siguientes:

$$SAR = - 3,71 \log CE_{H_2O} + 15,0 \text{ (línea inferior)}$$

$$SAR = - 5,56 \log CE_{H_2O} + 25,0 \text{ ( " media)}$$

$$SAR = - 7,41 \log CE_{H_2O} + 35,0 \text{ ( " superior)}$$

Resultan de esta división, dos tipos de agrupamiento con respecto al peligro de salinización o de alcalinización que implican:

Las aguas correspondientes al grupo  $S_1A_1$  resultan de características excepcionalmente buenas para el riego de agrios, aunque son muy poco frecuentes en esta región.

También resultan aptas las clasificadas en el grupo  $S_2A_1$ , aunque en las inmediaciones del límite superior de conductividad y en suelos de texturas más finas, se aprecian síntomas foliares de salinidad en los agrios regados con ellas, especialmente en limoneros. A esto ha de añadirse, para las del grupo  $S_2A_2$ , el incipiente riesgo de alcalinización, aunque en suelos de texturas medias generalmente no llega a ser peligroso.

En las plantaciones de agrios regadas con aguas clasificadas en los grupos  $S_3A_1$  y  $S_3A_2$ , ya se presentan claramente y con cierta intensidad síntomas de salinidad que llegan a afectar no sólo al desarrollo, sino que influyen netamente sobre la producción. En el segundo de dichos grupos, el riesgo de alcalinización es moderado y sólo en suelos fuertes y mal drenados puede alcanzar peligrosidad.

Finalmente, resulta muy peligroso el empleo para el riego de agrios en suelos de las características generales de la zona, de aguas clasificadas en los últimos grupos  $S_4$  y  $A_4$ .

## BIBLIOGRAFIA

- (1) ABRISQUETA, C.; ARTES, F.; ROMERO, M. 1962. Estudio crítico del método de Bower y Huss para la determinación de yeso en los suelos calizos de Murcia. *Anal. Edaf. Agrobiol.* XXI: 531-538.
- (2) ABRISQUETA, C.; GUILLEN, M. G.; FERNANDEZ, F. G.; CARO, M. 1962. Contribución al estudio de la determinación de salinidad de suelos. *Anal. Edaf. Agrobiol.* XXI: 545-554.
- (3) ABRISQUETA, C.; ROMERO, M.; LAX, A. 1962. Relación entre las concentraciones iónicas y la conductividad de los extractos salinos de los suelos de Murcia. *Anal. Edaf. Agrobiol.* XXI: 539-544.
- (4) AGARWAL, R. R.; DAS, S. K.; MEHROTRA, C. L. 1961. Interrelationship between electrical conductivity of 1:5, and saturation extracts and total soluble salts in saline-alkali soils of the Gangetic alluvium in Uttar Pradesh. *Indian J. Agric. Sci.* 31:284-294.
- (5) ALBAREDA, J. M.; HOYOS, A. 1948. *Edafología*. SAETA. Madrid.
- (6) A.O.A.C. 1960. Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 9.<sup>a</sup> Ed. 452. Washington.
- (7) A.O.A.C. 1960. Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 9.<sup>a</sup> Ed. 453. Washington.
- (8) A.O.A.C. 1960. Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 9.<sup>a</sup> Ed. 455. Washington.
- (9) AYERS, A. D.; VAZQUEZ, A.; RUBIA, J. de la; BLASCO, F.; SAMPLON, S. 1960. Saline and sodic soils of Spain. *Soil Sci.* 90:133-138.
- (10) BOLT, G. H. 1955. Ion adsorption by clays. *Soil Sci.* 79:267-276.
- (11) BOTTINI, O.; LISANTI, L. 1955. Ricerche e considerazioni sull'irrigazione con acque salmastre. *Ann. Sper. Agr.* IX:401-436.
- (12) BOWER, C. A. 1961. Prediction of the effects of irrigation waters on soils. *Arid Zone Res.* XIV:215-222.
- (13) BOWER, C. A.; GARDNER, W. A.; GOERTZEN, J. O. 1957. Dynamics of cation exchange in soil columns. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21:20-24.
- (14) BOWER, C. A.; HATCHER, J. T. 1962. Characterization of salt-affected soils with respect to sodium. *Soil Sci.* 93:275-280.
- (15) BOWER, C. A.; REITEMEIER, R. F.; FIREMAN, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73:251-261.
- (16) BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of P in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- (17) BROOKS, R. H.; GOERTZEN, J. O.; BOWER, C. A. 1958. Prediction of changes in the compositions of the dissolved and exchangeable cations in soils upon irrigation with high-sodium waters. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 22:122-124.
- (18) BRYSSINE, G.; CHEROTSKY, G. 1951. Note sur la relation entre la salure du sol, celle de l'eau d'arrosage et le regime des irrigations. 70<sup>e</sup> Congrès de l'A.F.A.S. Tunis C.R.T. IV:71-76.
- (19) BUTTERS, R. E. 1960. The pC value of soils and its effect on the tomato crop. *J. Sci. Food. Agric.* 11:202-212.



- (20) CAMPBELL, R. B.; BOWER, C. A.; RICHARDS, L. A. 1949. Change of electrical conductivity with temperature and the relation of osmotic pressure to electrical conductivity and ion concentration for soils extrates. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:66-69.
- (21) CAÑEDO, E. 1947. *Curso de meteorología*. Madrid.
- (22) CARPENA, O. 1961-1962. La rentabilidad agrícola en el Sureste de España. *Memoria del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura*, 155-161.
- (23) CARPENA, O.; SANCHEZ, J. A. 1962. Necesidades hídricas de las plantas de ciclo largo. I. Citrus. *Anal. Edafol. Agrobiol.* XXI:567-576.
- (24) CARPENA, O.; SANCHEZ, J. A. 1962. Necesidades hídricas de las plantas de ciclo largo. II. Prunus y vitis. *Anal. Edafol. Agrobiol.* XXI:577-581.
- (25) CASTRO, R. DE. 1950. Los suelos y las aguas de riego en la zona tabacalera granadina. (El pH y las sales solubles totales). *Bol. Inv. Agron.* X:369-396.
- (26) CECONI, S.; POLESELO, A. 1956. Metodi rapidi per la determinazione della capacità di scambio cationico (CSC) del terreno. *Ann. Sper. Agr.* X:127-132.
- (27) Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Sección de Químico-Física y Cartografía de Suelos. 1962. Mapa de suelos de la provincia de Murcia. Murcia.
- (28) Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Sección de Químico-Física y Cartografía de Suelos. Mapa de suelos de la provincia de Alicante. Comunicación privada del Dr. Sánchez Fernández.
- (29) CHAVES, M.; ROMERO, R. 1962. Suelos salinos. *Acta Salmanticensia. Ciencias.* V:136-143. Salamanca.
- (30) CHEVALIER, G. 1951. Sur la diagnose électrique des états de salure et de sécheresse des sols Nord-Africains. *La Revue Française de l'Oranger* núm. 227:229-234.
- (31) CONSEJO ECONOMICO SINDICAL. 1961. Bases para un «Plan Murcia». Murcia.
- (32) CONSEJO ECONOMICO SINDICAL. 1962. Perspectivas de desarrollo económico en la provincia de Murcia. Murcia.
- (33) DE SIGMOND, A. A. J. 1938. *The principles of soil science*. T. Murby. Londres.
- (34) DELVER, P.; KADRY, L. T. 1960. Estimation of saturation-extract conductivities from saturation paste conductivities and textures for saline soils in the Mesopotamian Plain. *Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci.* 2:370-377.
- (35) DEMOLON, A. 1952. *Dynamique du sol*. 5.<sup>a</sup> Ed. Dunod. París.
- (36) DULAC, J.; BOUAT, A. 1951. Une technique rapide d'analyse granulométrique des terres. *Ann Agron.* 2:456-459.
- (37) DURAND, J. H. 1958. *Les sols irrigables*. Alger.
- (38) EATON, F. M. 1935. Boron in soils and irrigation waters and its effect on plants with particular reference to the San Joaquín Valley of California. *U. S. Dept. Agric. Tech. Bull.* 448.
- (39) EATON, F. M. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.* 69:123-133.
- (40) ERICKSSON, E. 1952. Cation-exchange equilibria on clay minerals. *Soil Sci.* 74:103-113.
- (41) F. A. O. 1954. *Multilingual vocabulary of soil science*. G. V. Jacks, Editor.
- (42) FERNANDEZ, F. G.; GUILLEN, M. G.; CARO, M. 1962. La calidad de agua para el riego de agrios. *Anal. Edaf. Agrobiol.* XXI:555-565.
- (43) FISHER, R. A.; YATES, F. 1954. *Tablas estadísticas*. Aguilar, S. A. Madrid.
- (44) FITTS, J. W.; NELSON, W. L. 1956. The determination of lime and fertilizer requirements of soils through chemical tests. *Advanc. Agron.*, VIII:241-282.
- (45) GALET, M. P. 1951. Le dosage du calcaire actif et l'apreciation du pouvoir chlorosant des sol. *Progr. Agric. Vitic.* 136:277-282.
- (46) GAPON, E. N. 1933. On the theory of exchange adsorption in soils. *J. Gen. Chem. (USSR)*, 3:144-163.
- (47) GEDROIZ, K. K. 1931. *Die Lehre vom Adsorptionsvermögen der Böden*. Steinkopff, Dresde y Leipzig.
- (48) GLASSTONE, S. 1953. *Tratado de Química-Física*. Aguilar. Madrid.



- (49) GREENE, H. 1953. Using salty land. F.A.O. Agricultural Studies n.º 3, 2.ª Ed. Roma.
- (50) GOULDEN, C. H. 1956. Methods of statistical analysis. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- (51) GUILLEN, M. G.; CARO, M.; SANCHEZ, J. A. 1964. Soil salinization by irrigation waters. VIIIth International Congress of Soil Science. Bucarest.
- (52) GUILLEN, M. G.; FERNANDEZ, F. G.; CARO, M. 1963-1964. Estudio sobre salinización de suelos en el Sureste Español. Memoria del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. 41-47.
- (53) GULHATI, N. D. 1960. Los riegos en el mundo. Edit. Dossat. Madrid.
- (54) HARDING, R. B. 1962. Quality of irrigation water in relation to salinity. Calif. Citrog. 47:232.
- (55) HAUSENBULLER, R. L.; HAQUE, M. A.; WAHAHE, A. 1960. Some effects of irrigation waters of differing quality on soil properties. Soil Sci. 90: 357-364.
- (56) HELMANN, H. 1958. Irrigation with saline water and the ionic environment. Potassium Symposium. 173-220.
- (57) HERNANDO, V.; JIMENO, L.; GUERRA, A. 1954. Estudio sobre las condiciones de fertilidad de los suelos de la Provincia de Guadalajara. Madrid. (C.S.I.C.).
- (58) HIESTER, N. K.; VERMEULEN, T. 1952. Saturation performance of ion-exchange and adsorption columns. Chem. Eng. Prog. 48:505-516.
- (59) HILGARD, E. W. 1930. Soils. The Mac Millan Co. New York.
- (60) INST. NAL. ESTADISTICA. Reseñas estadísticas de las Provincias de Murcia (1962), Alicante (1958) y Almería (1955).
- (61) INST. NAL. DE ESTADISTICA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y ORGANIZACION SINDICAL. 1963. Primer censo agrario de España. Madrid.
- (62) IVANOVA, E. N.; ROSANOV, A. N. 1939. Classification des sols salés. Pedology N.º 7:44-52.
- (63) JACKSON, M. L. 1960. Soil chemical analysis. 2.ª ed. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- (64) JACOBS, H. S.; NADDIH, B. I.; DIXON, R. M. 1961. Correlations between constituents in irrigation waters and irrigated soils in Kansas. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 25:404-407.
- (65) KAMALIDDIN, A. R.; AL-ANI, T. A. 1961. Some salinity and electrical conductivity relationships in saline soils of Central and Southern Iraq. Proc. Iraqui Sci. Soc. 4:11-19.
- (66) KAMALIDDIN, A. R.; SHARIF, B.; HARDAN, A. 1961. Electrical conductivity relationships for soil pastes and 1:1 soil water suspensions and their extracts. Arid Zone Res. XIV:299-303.
- (67) KANWAR, J. S. 1961. Quality of irrigation water as an index of its suitability for irrigation purposes. Rev. de la Potasa. Septiembre. Sección 24. (13.ª cont.):1-14.
- (68) KELLEY, W. P.; BROWN, S. M.; LIEBIG, G. F. Jr. 1940. Chemical effects of saline irrigation waters on soil. Soil Sci. 49:95-107.
- (69) KERR, H. W. 1928. The nature of base exchange and soil acidity. J. Amer. Soc. Agron. 20:309-335.
- (70) KLINTWORTH, H. 1952. The use of brack-water for irrigation. Farming in South Africa 27:45-51.
- (71) KRISHNAMOORTHY, C.; OVERSTREET, R. 1950. An experimental evaluation of ion-exchange relationships. Soil Sci. 69:41-53.
- (72) KURTZ, L. T. 1942. Elimination of fluoride interference in the molybdenum blue reaction. Ind. Eng. Chem. A. E. 14:855.
- (73) LANGELIER, W. F. 1936. The analytical control of anticorrosion water treatment. J. Amer. Water Works Ass. 28:1500-1521.
- (74) LEWIS, G. C.; JUVE, R. L. 1956. Some effects of irrigation water quality on soil characteristics. Soil Sci. 81:125-137.
- (75) LONGENECKER, D. E.; LYERLY, P. J. 1959. Chemical characteristics of soils of west Texas as affected by irrigation water quality. Soil Sci. 87: 207-216.
- (76) MAGSTAD O. C.; REITEMEIER, R. F.; WILCOX, L. V. 1945. Determination of soluble salts in soils. Soil Sci. 59:65-75.



- (77) MAGISTAD, O. C.; FIREMAN, M.; MABRY, B. 1944. Comparison of base-exchange equations founded on the law of mass action. *Soil Sci.* 57: 371-379.
- (78) MERKLE, F. G.; DUNKLE, E. C. 1944. Soluble salt content of greenhouse soils as a diagnostic aid. *J. Am. Soc. Agron.* 36:10-19.
- (79) MOSS, H. C. 1956. Problems of soil nomenclature. A review of Multilingual Vocabulary of Soil Science. *Soil Sci.* 81:327-331.
- (80) OPLER, A.; HIESTER, N. K. 1954. Tables for predicting the performance of fixed bed ion exchange and similar mass transfer processes. Stanford Research Institute. Stanford, California.
- (81) PEARSON, G. A.; GOSS, J. A.; HAYWARD, H. E. 1957. The influence of salinity and water table on the growth and mineral composition of young grapefruit trees. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 69:197-203.
- (82) PEARSON, H. E.; HUBERTY, M. R. 1959. Response of citrus to irrigation with waters of different chemical characteristics. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 73:248-256.
- (83) PIPER, C. S. 1950. *Soil and plant analysis*. Interscience Publishers, Inc. New York.
- (84) PLEVEN, J. 1955. Comparaison de l'extrait saturé d'un sol et de son extrait salin 1:10. *Travaux des Sections Pedologie et Agrologie Bull. n.º 1 Alger*.
- (85) PURI, A. N. 1949. *Soils, their physical and chemical properties*. Reinhold Publishing Corp. New York.
- (86) REBOUR, H. 1957. *Les agrumes*. J. B. Bailliere et fils, Editeurs 4.ª edic. Paris.
- (87) REITEMEIER, R. F. 1943. Semimicroanalysis of saline soil solutions. *Indus. and Engin. Chem., Analyt. Ed.* 15:393-402.
- (88) REITEMEIER, R. F. 1946. Effect of moisture content on the dissolved and exchangeable ions of soils of arid regions. *Soil Sci.* 61:195-214.
- (89) REITEMEIER, R. F.; WILCOX, L. V. 1946. A critique of estimating soil solution concentration from the electrical conductivity of saturated soils. *Soil Science*, 281-293.
- (90) ROBINSON, G. W. 1936. *Soils, their origin, constitution and classifications*. Murby, Londres.
- (91) ROMANO, E.; LAUCIANI, D. 1958. Sui rapporti acquaterreno nella pratica irrigua. *Ann. Sta. Chim. Agrar. Roma.* III: N.º 139.
- (92) RUSSELL, E. J.; RUSSELL, E. W. 1954. *Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas*. Aguilar, S. A. Madrid.
- (93) SANCHEZ, J. A.; CARPENA, O.; FERNANDEZ, F. G. 1964. Soils of Sierozem type in the province of Murcia (Spain). Their genesis and characteristics. VIII Inter. Congress. of Soil Sci. Bucaresti (Rumania).
- (94) SCHOLLEMBERGER, C. J.; SIMON, R. H. 1954. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soils. *Soil Sci.* 59:13-24.
- (95) SCHWARZENBACH, G. 1959. *Las complexonas en el análisis químico*. Edic. Atlas. Madrid.
- (96) SCOFIELD, C. S. 1941. Pecos River Joint Investigation: Soil salinity investigation. Division of Irrigation Agriculture. Bureau of Plant Industry. U. S. Department of Agriculture. Washington, D. C.
- (97) SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL. Boletín meteorológico mensual. Madrid.
- (98) SNEDECOR, G. W. 1957. *Statistical methods*. The Iowa State College Press. Ames, Iowa. 5.ª ed.
- (99) SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. 1962. Glossary of terms approved by the Soil Science Society of America. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:305-317.
- (100) SOIL SURVEY STAFF. 1951. *Soil survey manual*. U. S. Dept. Agr. Handbook n.º 18.
- (101) THOMAS, H. C. 1944. Heterogeneous ion-exchange in a flowing system. *Jour. Amer. Chem. Soc.* 66:1664-1666.
- (102) THORNE, J. P.; THORNE, D. W. 1951. *Irrigation waters of Utah*. Utah Agric. Exp. Sta. Bul. n.º 346.
- (103) THORNE, D. W.; THORNE, J. P. 1954. Changes in composition of irrigated soils as related to the quality of irrigation waters. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 18:92-97.



- (104) THORNE, D. W.; PETERSON, H. B. 1963. Técnica del riego, fertilidad y explotación de los suelos. Compañía Editorial Continental, S. A. México.
- (105) THORNTHWAITTE, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38:55-94.
- (106) TORRES MARTINEZ, M. DE. 1961. El regadío murciano problema nacional. Instituto de Orientación y Asistencia Técnica del Sureste. Murcia.
- (107) TURC, L. 1954-55. Le bilan de l'eau des sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. (I) (II). *Ann. Agron. Paris.* 5: 491-595, 6:5-131.
- (108) U. S. SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Dept. Agr. Handbook. N.º 60.
- (109) VANSELOW, A. P. 1932. Equilibria of the base-exchange reactions of bentonites, permutites, soil colloids and zeolites. *Soil. Sci.* 33:95-113.
- (110) WALKLEY, A. 1947. A critical examination of rapid methods for determining organic carbon in soils. *Soil Sci.* 63:251-264.
- (111) WEBBER, H. J.; BATCHELOR, L. D. 1948. The citrus industry. University of California Press, Berkeley y Los Angeles. 1.ª ed.
- (112) WHITTLES, C. L.; SCHOFIELD-PALMER, E. K. 1951. On pC, pS and pN as indicating functions of electrical soil conductivity. *J. Soil Sci.* 2:243-245.
- (113) WILCOX, J. C. 1947. Determination of electrical conductivity of soil solution. *Soil Sci.* 63:107-117.
- (114) WILCOX, L. V. 1948. The quality of water for irrigation use. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. 962.
- (115) WILCOX, L. V.; BLAIR, G. Y.; BOWER, C. A. 1954. Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. *Soil Sci.* 77:259-266.
- (116) WOODS, J. T. and MELLON, M. G. 1941. Molybdenum blue reaction. *Ind. Eng. Chem. A. E.* 13:760-4.