

12

COMUNICACION A LA I PONENCIA DE LAS X JORNADAS DE ESTUDIO DE LA ASOCIA-
CION INTERPROFESIONAL PARA EL DESARROLLO AGRARIO

(A.I.D.A.)



CALIDAD DE AGUA PARA EL RIEGO. II: APLICACION A AGUAS DE LA DEPRESION
DEL EBRO.

ALBERTO F., ARAGÚES R.,
MACHÍN J., CUCHÍ J.A.

Zaragoza, Mayo de 1.978

INTRODUCCION

La existencia en la Depresión del Ebro de grandes superficies de regadío, que se incrementarán en los próximos años, así como de importantes áreas de suelos salinos cuyo único camino para su recuperación es el lavado de las sales con el agua de riego, justifica esta revisión actualizada de la calidad del agua de riego y su problemática específica en la región.

La primera parte de este trabajo ha comprendido la revisión de los criterios más recientes sobre calidad de aguas, y en esta segunda se intenta la aplicación de los más importantes a nuestras aguas de riego desde un punto de vista global, junto con una discusión de los problemas más relevantes para de allí, plantear las líneas por las que debe ir la investigación de la problemática de las relaciones suelo-agua para las condiciones específicas de nuestra región que por el momento apenas han sido estudiadas.

MATERIAL Y METODOS

Los datos manejados provienen de las siguientes fuentes:

De la Comisaría de Aguas del MOPCA que por cuencas y años viene publicando desde 1.972^(*). Se han utilizado los años publicados 1.972-73 a 1.975-76. Las estaciones consideradas han sido las del centro de la Cuenca hasta la desembocadura, limitadas al W por las estaciones sobre el Ega y el Cidacos y al NE por las de las cuencas del Noguera Pallaresa y Segre (Fig. 1). En total son unas 960 estaciones/mes para las determinaciones de conductividad eléctrica (C.E.), y unas 150 estaciones/

(*) Agradecemos las facilidades dadas por D. Luís Pinilla para consultar estos datos.

por mes con datos analíticos más completos que incluyen aniones y cationes para los meses de marzo-abril y septiembre-octubre, que representan el comienzo y final de la temporada de riegos.

Otros grupo de datos proceden del "Estudio analítico de las aguas de consumo público en la provincia de Zaragoza" realizado en 1.963 por el Laboratorio del Colegio Oficial de Farmacéuticos de la provincia de Zaragoza (COFZA). Se han considerado aquí porque en muchos casos son utilizadas para riego de pequeñas zonas; en total comprenden unas 250 muestras.

Finalmente otros datos manejados proceden de análisis propios.

Al estudiar los datos del MOPCA se vió que había una fuerte fluctuación en los valores a lo largo del año; y que podría resultar interesante comprobar si los meses de marzo-abril y septiembre-octubre que representan el comienzo y fin de la época de riego representaban simultáneamente los extremos del intervalo de fluctuación. Con este fin se construyó la fig. 2 a partir de los productos de los porcentajes de frecuencia de cada intervalo en los histógramas de la fig. 3 por el valor del centro del intervalo. En ella se pone de manifiesto que si bien los valores de marzo-abril representa a los términos de más bajos valores de C.E. los de septiembre-octubre no son los términos más altos en el ciclo del año, pues el máximo aparece en agosto. En espera de que con mayor número de datos y mejor tratamientos de ellos se establezca con mayor seguridad el ciclo anual, hemos de considerar que en el mes de agosto los valores de C.E. son un 10 % más elevados que en septiembre-octubre y que en consecuencia las concentraciones de los diversos elementos en su conjunto serán también aproximadamente un 10 % mayores.

Los datos del COFZA se transformaron en C.E, multiplicando por 10 la suma de aniones ($\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^-$) en meq/l.

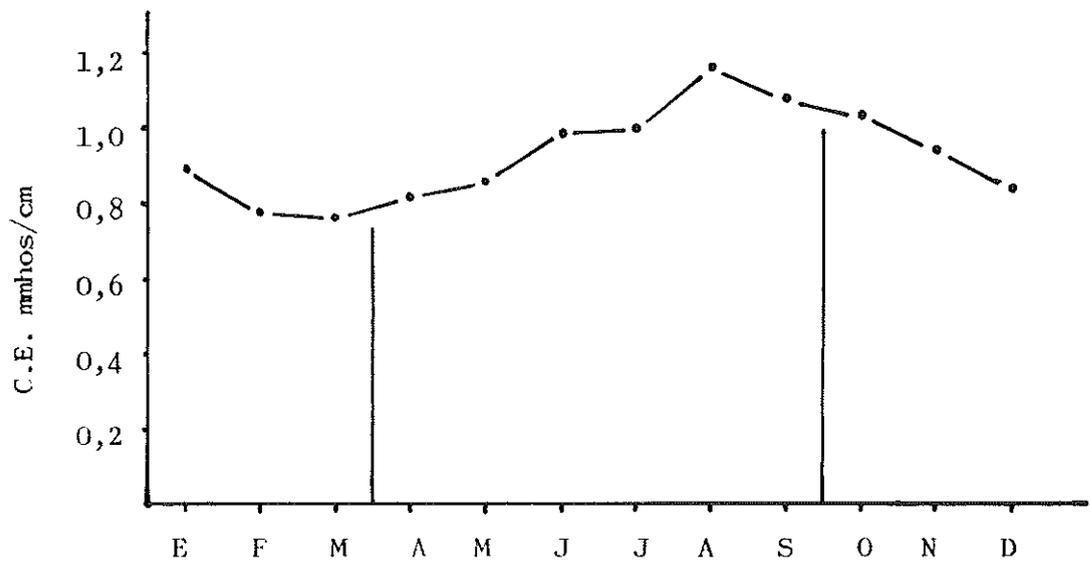


Fig. 2.- Variación a lo largo del año de la C.E. media de los puntos de muestreo del MOPCA (datos 1.972-1.976)

Los criterios de calidad de agua de riego descritos en la Parte I de este trabajo están desarrollados para regar suelos denominados "normales". Las características de los suelos que se consideran "normales" en la Depresión Media del Ebro son: la presencia de CaCO_3 en todo el perfil, ausencia de yeso y de sales más solubles y un pH no superior a 8.4. Quedan clasificados dentro de los Suelos pardos calizos con términos de mayor o menor profundidad de perfil; Suelos pardos con costra caliza sobre materiales no consolidados con variable grado de endurecimiento de la costra pero que no llega nunca a plantear problemas serios de drenaje y Vegas y Vegas pardas calizas a orillas de los ríos con perfil genéticamente poco desarrollado. Todos ellos son suelos de textura media.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Siguiendo el orden establecido en la Parte I de este trabajo revisaremos cada uno de los criterios allí recogidos:

Criterio de salinidad

En la fig. 3 se dan los histogramas de frecuencia porcentual de C.E. de las aguas en $\text{mmhos/cm}/25^\circ$ para los puntos de muestreo dados en MOPCA. Algunos datos tuvieron que ser transformados a C.E. a 25° pues los originales venían referidos a 22°C . Los intervalos elegidos corresponden a valores de las clasificaciones de RICHARDS (1.954) y AYERS y WESTCOT (1.976).

Si aplicamos dichos criterios para la clasificación de aguas en función del riesgo de salinidad se obtienen los siguientes porcentajes

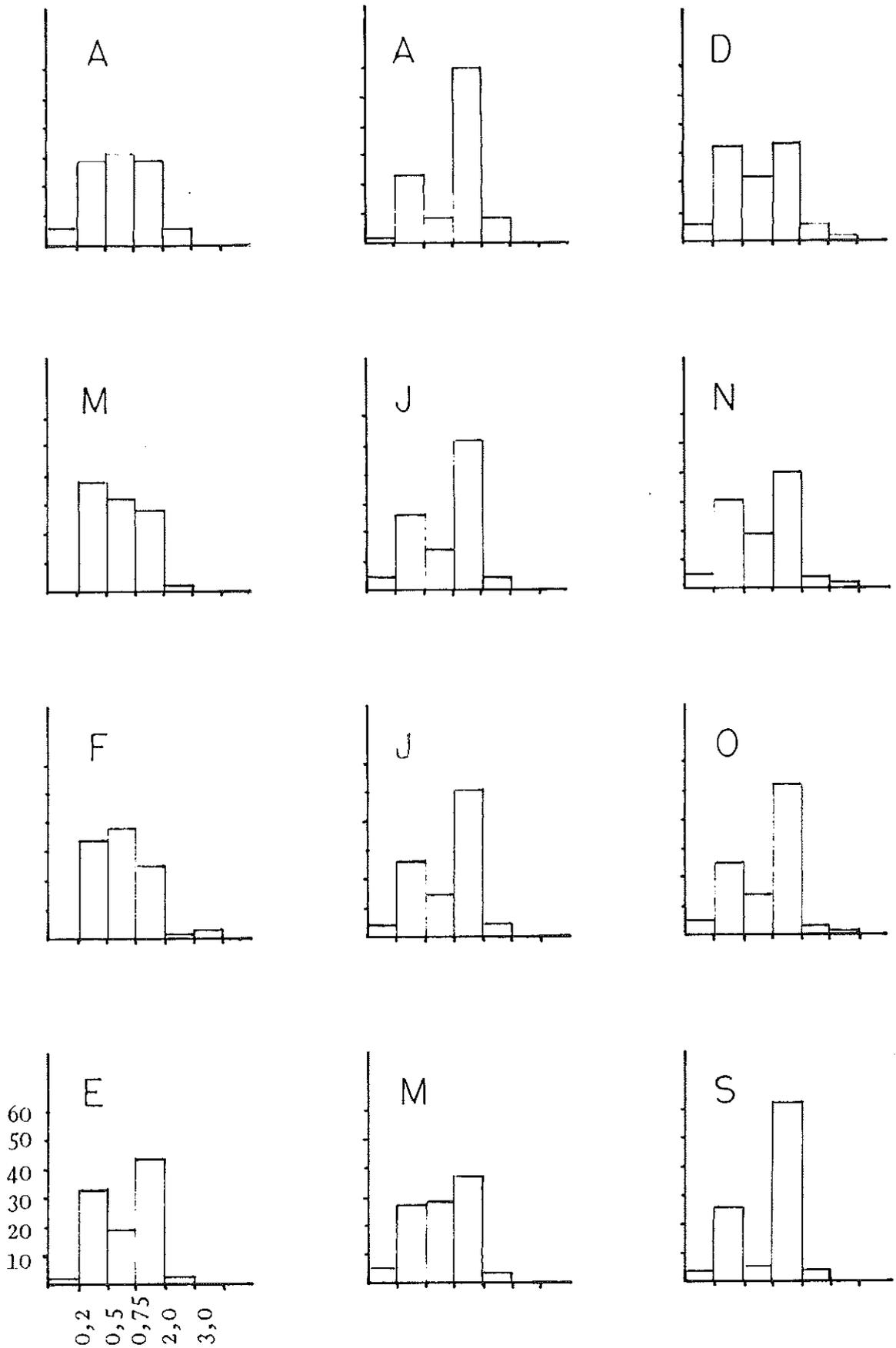


Fig. 3.- Distribución de frecuencias de C.E. de aguas de riego para los distintos meses del año. MOPCA, período 1.972-1.976.

de cada una de las clases indicadas, Cuadros 1 y 2. Para los datos del MOPCA se han considerado especialmente los valores de marzo-abril y septiembre-octubre en que había otros datos analíticos y que en cierta medida representan los extremos de la fluctuación de niveles de C.E. a lo largo del año. No obstante de la fig. 2 se puede deducir aproximadamente para cada mes los % de puntos de muestreo que entrarían en cada una de las clases, tanto de la clasificación de RICHARDS (1.954) como de la de AYERS y WESTCOT (1.976).

Los Cuadros 1 y 2 contienen también los porcentajes de aguas en ca da clase de COFZA.

A pesar de la idea extendida de que la calidad del agua de riego de la Depresión del Ebro es aceptable, de los cuadros 1 y 2 puede deducirse que los niveles de C.E. de los meses precisamente de riego pueden clasificarse como altos y por lo tanto debe ser motivo de consideración en el manejo del riego y prácticas de cultivo. En determinadas épocas, más del 60 % de estas aguas se clasifican como aguas con "problemas crecientes" indicándose la potencialidad de problemas; este podría ser uno de los mo tivos de descenso de producción observados en algunas áreas de suelos "normales" del centro de la Depresión y de las altas dosis de aguas de riego empleadas.

De la observación de estos cuadros y de la fig. 2, hay que concluir también que la época de muestreo de las aguas es una característica a te ner en cuenta especialmente al valorar situaciones intermedias.

El control de este potencial riesgo de salinidad se efectúa mediante aportes de agua superiores a las necesidades hídricas de las plantas y de la evaporación de deben provocar el lavado de las sales hacia capas profundas fuera de la zona radicular.

Cuadro 1.- Porcentajes de niveles de riesgo de salinidad, según RICHARDS (1.954), para aguas de riego de la Depresión del Ebro.

Indice de salinidad	M.O.P.C.A.		COFZA
	Marzo-Abril	Septiembre - Octubre	
Bajo riesgo de salinidad (C.E. 0,1 - 0,25)	9 %	10 %	3 %
Riesgo medio (C.E. entre 0,25 y 0,75)	61 %	29 %	25 %
Riesgo alto (C.E. entre 0,75 y 2,25)	29 %	61 %	61 %
Riesgo muy alto (C.E. >2,25 mmhos/cm/25°)	1 %	0 %	11 %

Cuadro 2.- Porcentaje de aguas de riego que pueden o no ocasionar problemas de salinización en la Depresión del Ebro según la clasificación de AYERS y WESTCOT (1.976).

	M.O.P.C.A.			COFZA
	Marzo-Abril	Agosto	Sept.-Oct.	
Aguas sin problemas	70 %	32 %	39 %	29 %
Aguas con problemas crecientes	30 %	68 %	61 %	69 %
Aguas con serios problemas	0 %	0 %	0 %	2 %

Si aplicamos el concepto de "necesidad de lavado" (LR), definido en la primera parte de este trabajo, a un grupo de cultivos frecuentes en la región y supuesta una evapotranspiración potencial de 700 milímetros (según los datos aportados para todo el año por Liso y Ascaso) obtendremos los siguientes valores que indican la cantidad de agua que hay que añadir para mantener unas condiciones adecuadas de salinidad en función de la planta y en función de la C.E. del agua de riego (Cuadro 3).

Respecto de los valores dados en la fórmula correspondiente, estos valores vienen incrementados en el 20 % para asegurar la efectividad al tener que considerar la variabilidad de las condiciones de suelo en las parcelas.

Cuadro 3.- Cantidad de agua de riego en m³/ha necesaria para mantener un nivel adecuado de sales para la planta en la zona de raíces, en función de la E.T.P. anual y de la C.E. del agua de riego.

C.E. del agua de riego mmhos/cm/25º	Cultivo		
	Cebada y semejantes	Maíz patata etc.	Cítricos y frutales en general
0,75	8.760	9.600	10.340
1,5	9.170	11.200	13.440
2,0	9.460	12.600	16.800

Como conclusión marginal de este apartado indicaremos que la calidad del agua de riego es un parámetro importante a tener en cuenta en las estimaciones de necesidad de agua de riego para cada zona en particular, así como que respecto a los valores reales que se utilizan, CESIE (1.971), las necesidades aquí calculadas son bastante inferiores y que esta puede ser la causa de los daños que se producen en las cotas bajas de las zonas regadas por ascenso de capa freática, al acumularse en ellas

el exceso de agua de drenaje. Si las causas de la mala utilización del agua residen en desajustes legislativos vigentes estos deberían ser corregidos para hacer más productivo el consumo de agua.

Criterios de permeabilidad

Mayor importancia relativa deben tener los problemas asociados a falta de permeabilidad y originados fundamentalmente como consecuencia de altos valores de SAR y en algunos casos a bajos niveles de C.E. de las aguas de riego.

La fig. 4 contiene los valores de C.E. expresados en mmhos/cm/25° representados frente a los correspondientes "SAR ajustado" definido en la Parte I de este trabajo. El enrejillado superpuesto corresponde a los valores límites señalados por AYERS y WESTCOT (1.976), como indicadores de posibles problemas de permeabilidad.

Como se deduce del cuadro 4, desde el punto de vista de la C.E., el número de muestras que pueden dar lugar a problemas serios de permeabilidad corresponde aproximadamente al 4 % tanto al principio como al final de la época de riego. No obstante, en las condiciones de suelos "normales" tales como los definidos más arriba, raramente, el agua de riego al incorporarse al suelo, mantendrá este bajo nivel de C.E. puesto que la disolución del Ca CO_3 en condiciones de equilibrio con el CO_2 de la atmósfera del suelo incrementará los valores de sales disueltas en 3,5 a 5,5 meq/l. (DONEEN, 1.964).

Más elevado porcentaje de aguas con "problemas serios" se dan por valores de "SAR ajustado" superiores a 9,0. Suponen estos casos el 4 % en la época de comienzos del riego y suben hasta el 13 % en los meses de septiembre-octubre. Los porcentajes con "problemas crecientes" por este concepto van de 4,0 para la primavera al 17 % en el verano.

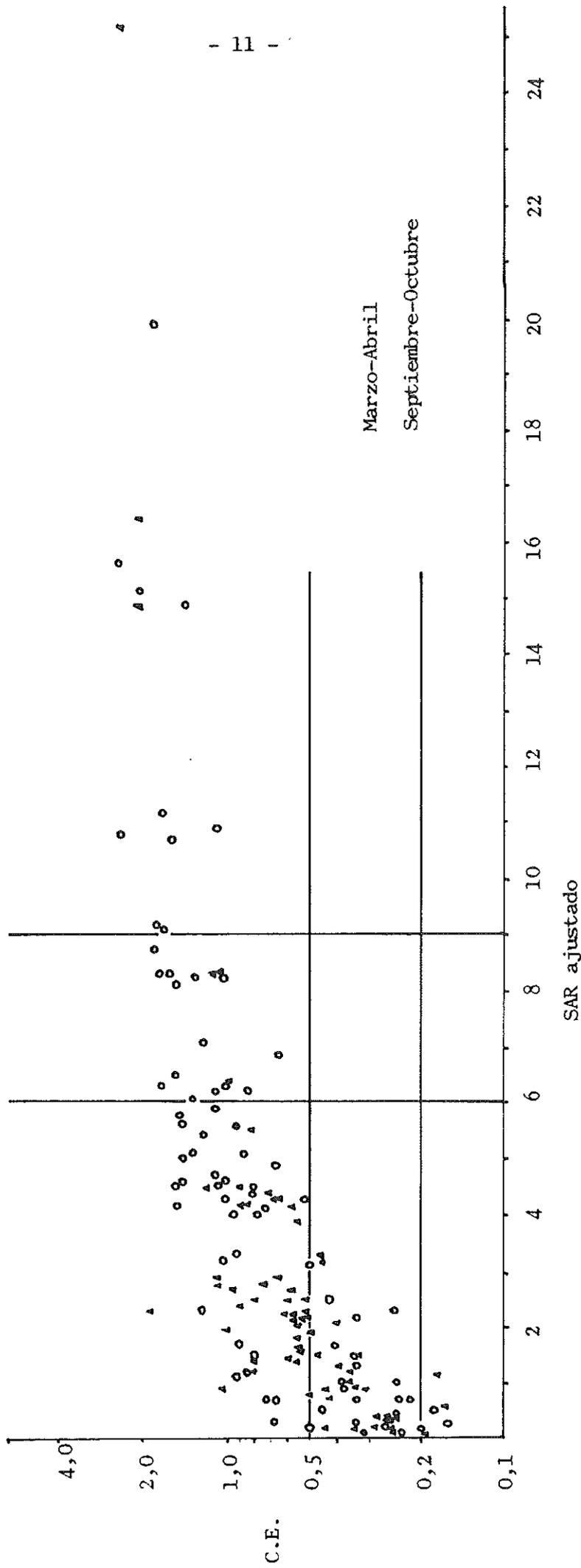


Fig. 4.- Relación entre C.E. del agua de riego y sus SAR ajustado. MOPCA, período 1.972-1.976



Cuadro 4.- Porcentaje de aguas que por C.E. o por SAR pueden ocasionar problemas de permeabilidad en suelos "normales". AYERS y WESTCOT (1.976).

	C.E.		SAR Ajustado	
	Sin problemas > 0,5	Problemas crecientes < 0,5	Sin problemas < 6,0	Problemas crecientes 6,0-9,0
Marzo-Abril	61	39	91	4
Septiembre-October	71	29	70	17
				Problemas serios > 9,0
				4
				13

Para ambos grupos de aguas con posibles problemas de permeabilidad (los de baja C.E. y los de alto SAR) la solución es común y consistirá en la aplicación de yeso bien al agua de riego (práctica poco utilizada pero de una gran efectividad) o al suelo en cantidad suficiente para llevar la C.E. y SAR al intervalo sin problemas.

Si el conjunto de las muestras de agua del MOPCA, meses de marzo-abril y septiembre-octubre, los representamos en un eje de coordenadas de C.E. frente a SAR (normal) y trazamos la línea que delimita el umbral de concentración (QUIRK, 1.971), que separa las aguas que darán problemas de permeabilidad de las que no lo tendrán, obtendremos la fig. 5 en la que puede observarse que prácticamente no hay muestras que entren dentro del área en que pueden ocasionar problemas de permeabilidad en suelos normales.

Esta diferencia entre criterios es una razón más que justifica la necesidad de una investigación propia.

CRITERIOS DE TOXICIDAD

Sodio y cloruros

El conjunto de datos suministrados por los análisis realizados por el MOPCA permiten también valorar estas aguas en función de niveles de elementos tóxicos, para cultivos sensibles (especialmente para árboles frutales).

Si aplicamos los criterios de toxicidad por Na y Cl de AYERS y WEST-COT (1.976) se obtiene la siguiente distribución de porcentaje de aguas en cada uno de los niveles de toxicidad señalados para absorción de estos elementos por las raíces (Cuadro 5).

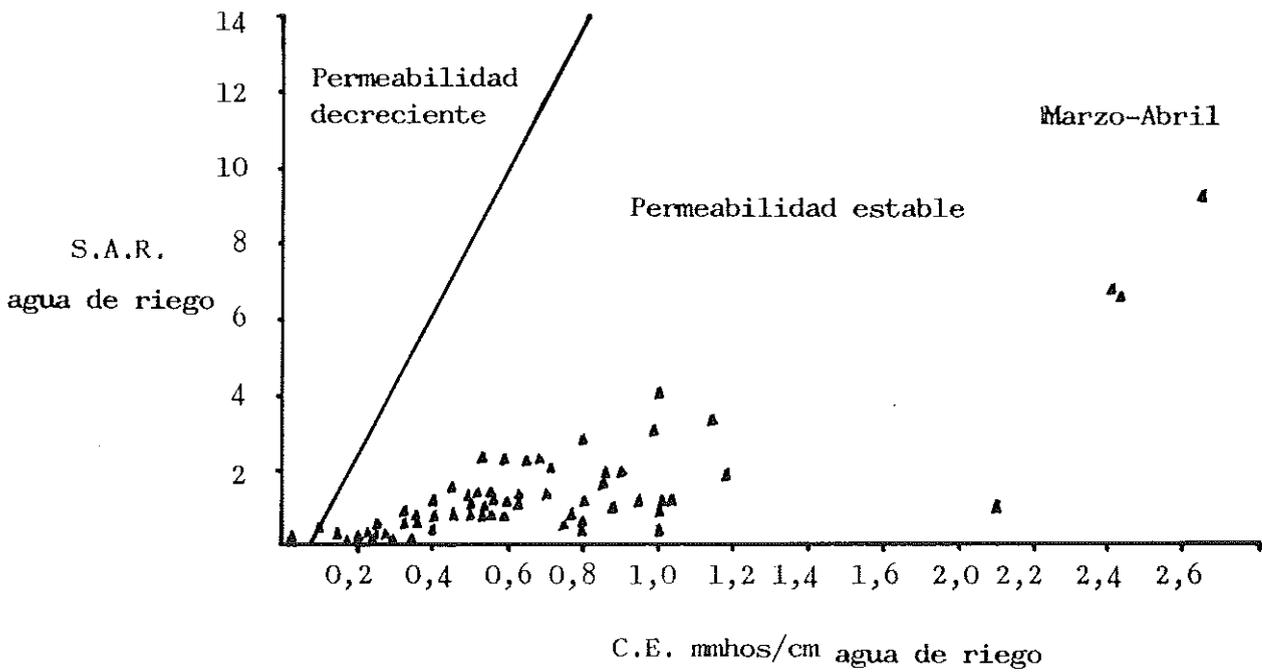
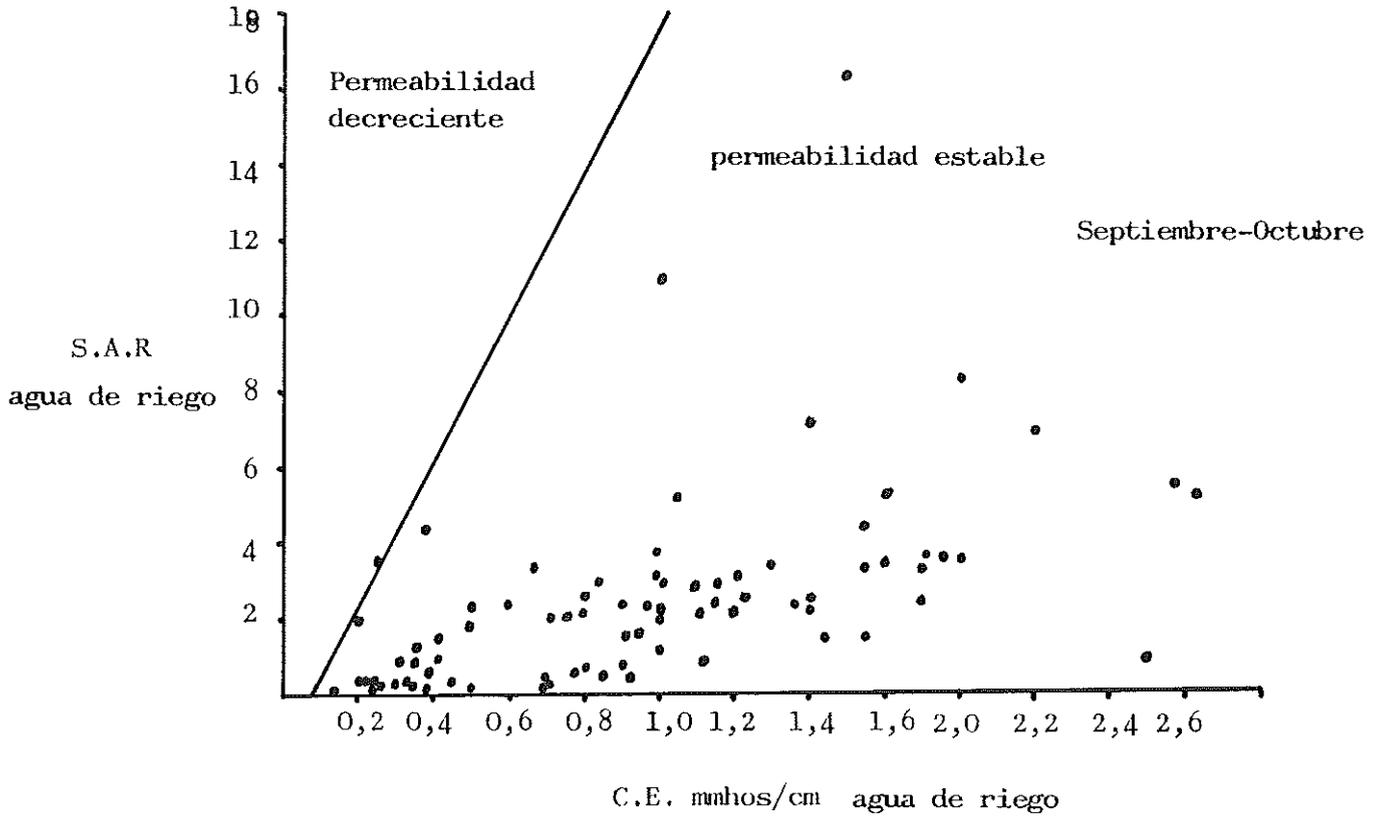


Fig. 5.- Umbral de concentración. QUIRK (1.971). Aguas del MOPCA período 1.972-1.976.

Cuadro 5.- Porcentaje de aguas del MOPCA en diversos niveles de toxicidad por Sodio y Cloruros para riego a pie al comienzo y fin de la época de riego.

Epoca de riego	Toxicidad por Sodio			Toxicidad por Cloruros		
	Sin problemas SAR a jus.<3	Problemas crecientes SAR a jus. 3-9	Problemas serios SAR a jus.>9	Sin problemas < 4 meq/l < 142 mg/l	Problemas crecientes 4- 10 meq/l 142-355 mg/l	Problemas serios >10 meq/l > 355 mg/l
Marzo-Abril	74 %	22 %	4 %	87 %	9 %	4 %
Septiembre-October	39 %	49 %	12 %	62 %	33 %	5 %

Los intervalos señalados para niveles de toxicidad por sodio, expresado éste a través del SAR ajustado son aplicables únicamente a suelos con predominio de montmorillonita o arcillas hinchables en la fracción coloidal; si dominan otras arcillas, los valores asignados a los intervalos deberían ser mayores. Hay que hacer notar que los niveles en los cuales se presentan problemas de toxicidad creciente comienzan a SAR ajustado más bajo que los correspondientes a problemas de permeabilidad.

Para ambos elementos aparece clara la tendencia a incrementar el riesgo de toxicidad en el transcurso de la temporada de riego. Este hecho habrá de tenerse en cuenta no sólo para muestrear las aguas en el momento o momentos adecuados sino también para el manejo correcto de las aguas a lo largo de la estación de riegos.

La utilización de estas aguas para riego por aspersión lleva consigo problemas específicos y una nueva clasificación del nivel de riesgo por toxicidad de Na y Cl.

Aplicando los criterios de AYERS y WESTCOT obtenemos la siguiente distribución de frecuencias (cuadro 6).

Cuadro 6.- Porcentaje de aguas del MOPCA con diversos niveles de toxicidad por sodio y cloruros para aplicación en riego por aspersión.

Epoca de riego	Sodio		Cloruros	
	Sin problemas < 3,0 meq/l < 69 mg/l	Problemas crecientes > 3,0 meq/l > 69 mg/l	Sin problemas < 3,0 meq/l < 106 mg/l	Problemas crecientes > 3,0 meq/l > 106 mg/l
Marzo-Abril	77 %	23 %	84 %	16 %
Sept.-Oct.	39 %	61 %	46 %	54 %

En comparación con la aplicación de agua directamente al suelo parece que el riesgo es semejante al principio de la temporada de riegos y quizá ligeramente mayor -especialmente para cloruros- al final de la estación de riegos.

Boro

Los datos de MOPCA no especifican los niveles de B en estas aguas; las determinaciones de B realizadas en una serie de muestras de agua de diferente procedencia buscando áreas en que el B pudiera aparecer como elemento tóxico no sólo en las aguas sino en los suelos (CUCHI, MACHIN y ALBERTO, 1.977) quedan recogidas en el cuadro 7. Como conclusión general puede decirse que entre las aguas que pudieran utilizarse para riego no hay ninguna con niveles altos de B salvo las correspondientes a la Laguna de la Zaida y el agua de drenaje de Santed (zona de Gallocanta) que entraría ya en niveles de problemas serios.

Hay que tener en cuenta que el B aportado por el agua de riego se fija sobre las partículas del suelo (fundamentalmente sobre oxihidróxidos de Fe, Al y arcillas) por lo que los niveles de boro de algunas - - aguas pueden no ser tóxicos de momento pero pueden presentarse problemas si no se mantienen condiciones de lavado adecuadas. Prácticas de cultivo tales como mantener un nivel de fertilidad ligeramente por encima del óptimo y regando un poco más frecuentemente que lo "normal" pueden reducir el efecto tóxico del B en zonas con ligeros problemas (AYERS y WESTCOT, 1.976).

Litio

El Li y Se son otros elementos que en determinadas condiciones de suelo y cultivo se han señalado como tóxicos.

Cuadro 7.- Niveles de B en aguas de la Depresión Media del Ebro.

Número	Localidad		Fecha de toma	pH	CE ₂₅ °	S.A.R.	B ppm
AGUAS DE RIEGO Y/O CONSUMO							
37.973	Figarol (Z)	Laguna de «Dos Reinos»	10-5-76	8,42	0,62	3,03	trazas
38.026	Borja (Z)	Fuente «Barbalanca»	14-5-76	nodet	2,23	1,2	trazas
39.377	Morós (Z)	Embal. de riego	16-3-77	8,00	0,93	2,0	0,15
39.385	Alhama de Aragón (Z)	Agua Termal	16-3-77	7,85	1,46	2,0	trazas
39.387	Jaraba (Z)	Agua de consumo local	16-3-77	7,85	0,68	1,1	0,75
37.957	Tormos (HU)	Río Sotón	10-5-76	8,15	1,34	3,7	trazas
37.958	Tormos (HU)	C. de Monegros	10-5-76	8,42	0,34	1,3	trazas
37.965	Sádaba (Z)	Embalse de Valdelajuán	10-5-76	8,52	0,80	3,0	trazas
39.150	Altorricón (HU)	Embal. de riego	23-11-76	8,05	1,03	1,1	trazas
AGUA DE BALSAS Y LAGUNAS PERMANENTES O SEMIPERMANENTES							
37.846	Alcol. de Cinca (HU)	Agua de escurrería	5-4-76	—	6,70	12,6	0,25
37.882	Altorricón (HU)	Balsa	5-4-76	8,00	10,60	13,8	0,60
37.971	Figarol (Z)	Balsa	10-5-76	8,75	2,16	6,4	0,25
37.986	E. de los Caballeros	Aguas de escurrería	10-5-76	8,05	1,49	4,0	trazas
38.006	Tauste (Z)	Charca natural	14-5-76	—	2,87	4,5	trazas
38.048	Mequinenza-Fabara (Z)	Balsa	20-5-76	—	0,47	0,5	0,37
38.052	Bujaraloz (Z)	Laguna junto al pueblo	20-5-76	7,55	11,44	11,0	1,00
38.053	Bujaraloz (Z)	Laguna junto al pueblo	20-5-76	—	6,12	6,6	trazas
38.068	Chiprana (Z)	Lag. «La Salada»	20-5-76	7,95	2,19	4,0	10,55
39.289	Used (Z)	Lag. endorreica	17-3-77	8,05	32,5	—	1,10
39.393	Used (Z)	Lag. «La Zaida»	17-3-77	8,80	0,54	1,0	2,50
39.398	Gallocanta (Z)	Laguna de Gallocanta	17-3-77	8,20	21,0	39,3	2,80
39.417	Mediana (Z)	Lag. «La Salada»	17-3-77	8,85	78,0	—	4,20
CAPAS FREÁTICAS Y DRENAJES							
37.992	Valareña (Z)	Drenaje	10-5-76	8,12	5,54	19,8	0,25
39.381	Contamina (Z)	Drenaje	16-3-77	7,95	2,19	3,3	0,55
39.388	Santed (Z)	Drenaje	17-3-77	8,10	0,42	1,1	2,40
39.132	Altorricón (HU)	Drenaje	23-11-73	7,80	1,19	2,9	trazas
39.140	Altorricón (HU)	Capa freática	23-11-76	8,05	16,60	25,0	2,45
39.144	Altorricón (HU)	Capa freática	23-11-76	7,95	10,64	16,2	2,00
39.149	Altorricón (HU)	Drenaje	23-11-76	8,00	4,15	3,4	1,10
39.476	Caspe (Z) Alcañiz (TE)	Capa freática	15-5-77	7,85	7,60	—	3,50
39.477	Bujaraloz (Z)	Pozo	15-5-77	7,40	7,10	—	4,80
39.365	Altorricón (HU)	Arroyo «La Clamor»	17-2-77	8,50	4,04	—	4,00

De momento se dispone de pocos resultados analíticos sobre contenido en Li de las aguas de la región; los siguientes corresponden a aguas de pozo de la zona de las lagunas de Bujaraloz - Sástago y los niveles que se alcanzan bien pueden servir de estímulo para continuar determinando sus niveles en otras zonas. Del total de las 64 muestras analizadas, 55 de ellas corresponden a capas freáticas aseguibles por pozos y empleadas para dar de beber al ganado; el resto son aguas de escorrentía superficial recogidas en aljibes y balsas con idéntica finalidad.

El siguiente cuadro dá la distribución porcentual de aguas en cada uno de los intervalos de contenido en litio expresado en mg/litro.

Cuadro 8.- Distribución porcentual de niveles de Li en aguas de pozos de la región Bujaraloz - Sástago.

0 - 0,1	16 %
0,1 - 0,2	6 %
0,2 - 0,5	51 %
0,5 - 1,0	19 %
1,0 - 5,0	6 %
5,0	2 %

Como nivel de Li tolerable en aguas de riego para las utilizadas continuamente en todos los suelos AYERS y WESTCOT (1.976) dan una concentración de 2,5 mg/l. Para cítricos la concentración máxima recomendada es 0,075 mg/l. (Ver Parte I de este trabajo).

En cuanto al Se se espera disponer pronto de los primeros resultados analíticos.

Nitrógeno amoniacal y nítrico

Transformando los valores de amoniaco, nitratos y nítritos en N y sumándolos obtenemos que sólo un punto de muestreo ha dado en dos años

consecutivos valores de N superiores a los 5 mg/litro que AYERS y WEST-COT (1.976) consideran como límite para pasar a nivel de "problemas crecientes" (Los valores obtenidos fueron 7,8 y 9,6 mg litro de N).

Bicarbonatos

De los datos de alcalinidad se han calculado los valores de HCO_3^- expresados en meq/litro. Todas las aguas consideradas quedan incluidas dentro del nivel de "problemas crecientes" en el caso de ser utilizadas en riego por aspersión sobre follaje (ver Parte I de este trabajo), no estableciéndose diferencia alguna entre las dos épocas de muestreo. El riesgo de que estas aguas produzcan manchas blancas sobre los frutos y las hojas de las plantas (incluyendo el efecto sobre plantas cultivadas en invernadero) regadas por "riego sobre follaje" habrá de considerarse como posible.

SUELOS SALINOS Y ALCALINOS

Diferentes problemas surgen para los suelos salinos de la región, que ocupan una extensión notable, 160.000 ha según nuestras primeras estimaciones, muchas de las cuales han sido o pueden ser puestas en regadío y cuya problemática especial en relación con el agua hay que estudiar detenidamente.

Como situación orientativa de las condiciones de los suelos salinos de la Depresión Media del Ebro en dos parámetros tan importantes como la C.E. y el SAR se da la fig. 6 que está construida a partir de un muestreo por las provincias de Zaragoza, Huesca y Lérida de los suelos que alguna característica morfológica, agronómica o la presencia de plantas indicadoras de salinidad hacía prever la presencia de sales y/o alcalinidad. En su mayoría fueron tomadas a 3 profundidades; (0-25; 25-40 y 40-70 cm)

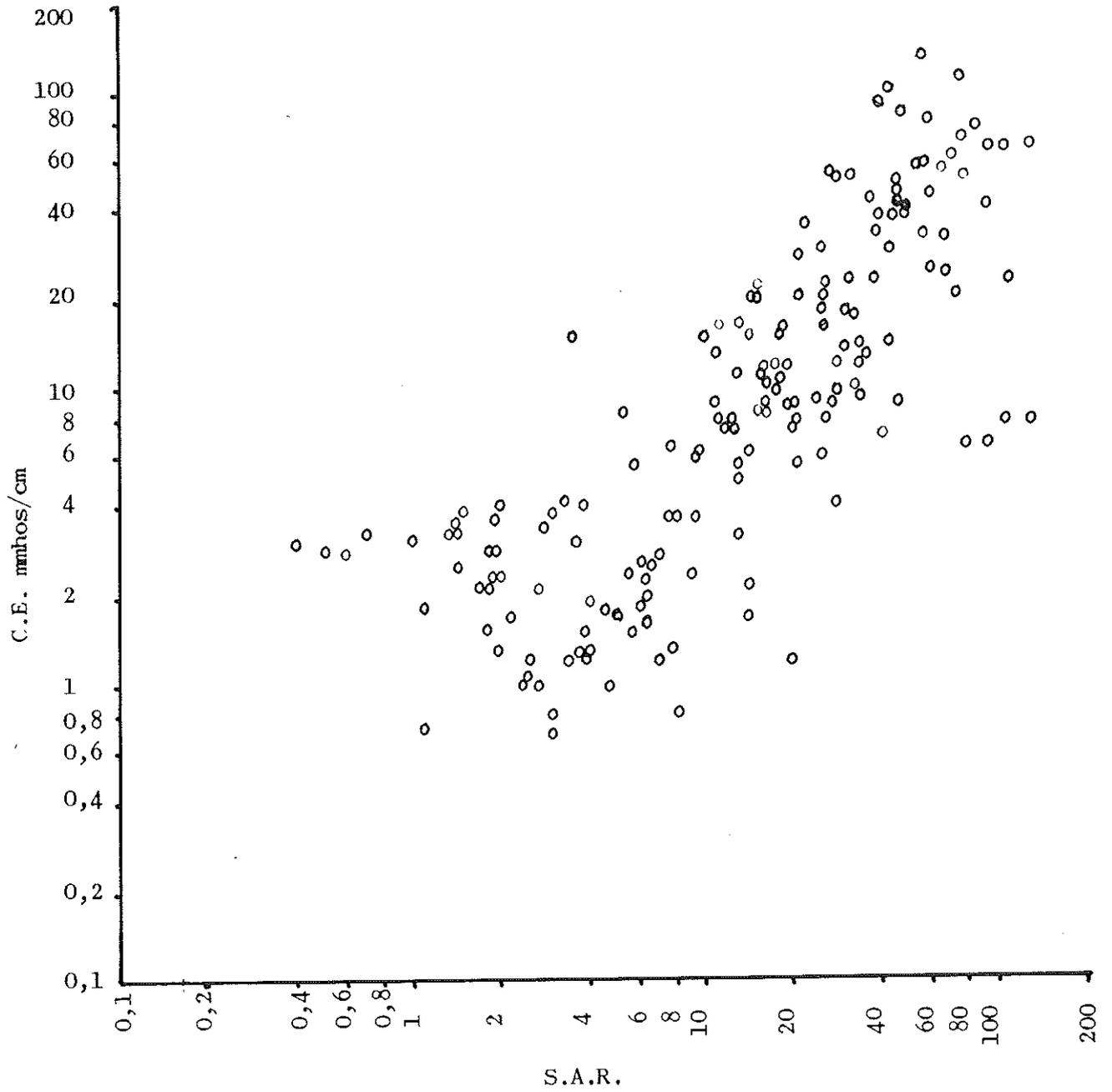


Fig. 6.- Relación entre C.E. y SAR en E Saturado de suelos salinos de la Depresión Media del Ebro.

1974
1975

para poder aplicar los criterios de clasificación de la FAO/UNESCO - - (1.973) en el levantamiento del mapa de suelos a escala 1: 400.000. Cada punto representa pues, a una capa muestreada. Su localización y otros - datos analíticos se han dado en CUCHI, MACHIN y ALBERTO (1.977).

Las relaciones entre el agua de riego y estos suelos salinos hay que considerarla en dos vertientes; por un lado y para los suelos con - bajo nivel de salinidad, el agua de riego ha de mantener un potencial total que permita el desarrollo de las cosechas en niveles productivos y mantener el balance de sales a niveles bajos y un SAR adecuado. En este campo resultará del todo imprescindible el ampliar nuestros conocimientos sobre resistencia a la salinidad y funciones de producción (relación rendimiento - nivel de salinidad) para nuestras variedades, nuestros - suelos y nuestras condiciones ambientales, y que en el momento actual hemos iniciado con variedades de cebada y trigo.

Por otro lado el agua de riego debe poder lavar las sales en aque- llos de alta C.E. y adaptarse a las cambiantes condiciones que su desa- parición paulatina establece. En determinados suelos este lavado debe - de prolongarse aun después de que hayan desaparecido las sales más solu- bles en función del nivel de boro que quede en el suelo. Para los mismos suelos salinos que hemos considerado en la fig. 6, el histograma de fre- cuencia de niveles de B en el extracto saturado (fig. 7) nos indica cuál es la situación en la Depresión Media del Ebro, y en donde se ve que no hay un problema general y que sólo en casos muy concretos habrá de tener se en cuenta. Estos suelos con niveles altos de B en E.S. pueden presen- tar -dependiendo de su mineralogía- unos niveles de B adsorbido muy supe- riores; este boro adsorbido se libera lentamente y regenera niveles tóxi- cos en el suelo. Las determinaciones de reserva de boro y de las isoter- mas de Langmuir para nuestros suelos -realizado ya para una situación con- creta- será el camino adecuado para llevar a buen fin la recuperación.

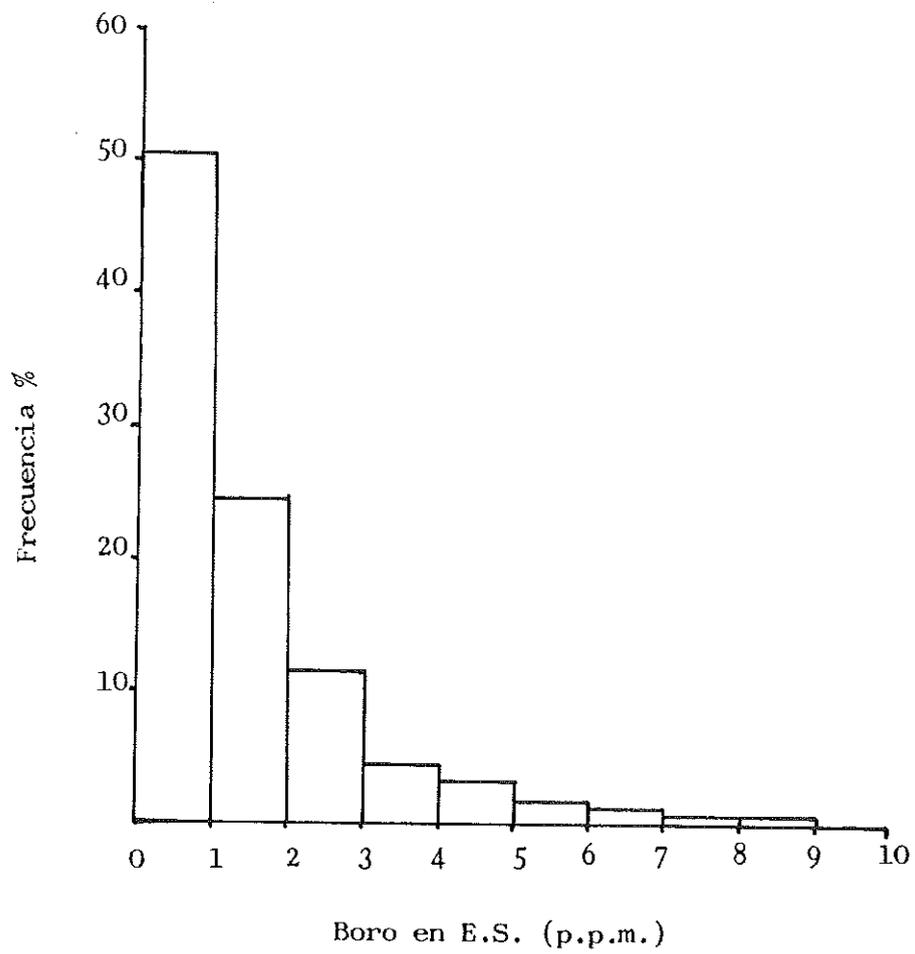


Fig. 7.- Distribución porcentual de niveles de B en extractos saturados para suelos salinos de la Depresión Media del Ebro.

El problema de relaciones cuantitativas entre permeabilidad del suelo y agua de riego, salinidad del suelo y otras propiedades del mismo no ha sido suficientemente estudiado. El proceso coloidal que provoca el descenso de permeabilidad consiste en la dispersión de las partículas del suelo impidiéndose la infiltración de nuevas cantidades de agua de lavado. Recientemente FRENKEL et al. (1.978), han puesto de manifiesto - que el descenso en la conductividad hidráulica parece estar fundamentalmente relacionado con el taponamiento de los poros por las partículas de arcilla dispersadas. La dispersión tiene lugar en la capa superior del suelo, RHOADES (1.972). En el laboratorio se muestra como irreversible por simple cambio de solución percolante McNEAL y COLEMAN (1.966) y DANE y KLUTE (1.977); es decir que para que a partir del estado dispersión la floculación de los coloides pueda tener lugar, se necesitará de un procedimiento físico que vuelva a hacer asequibles a las partículas coloidales las soluciones floculantes. Alcanzado el estado floculado, la consecución de unas buenas propiedades físicas vendrá facilitada por alternancia de secado y humedecimiento, congelación y deshielo y por participación de las plantas y animales del suelo.

Aplicando los criterios de QUIRK (1.971) expuestos en la primera parte de este trabajo, obtenemos que, aguas de 0,2 mmhos/cm sólo mantendrán estable la permeabilidad del suelo si el ESP del mismo es inferior a 4; las de 0,5 si es inferior a 13, etc. Hay que tener en cuenta que las aguas del río Aragón en el pantano de Yesa y las del Gállego en La Peña, Ardisa y Sotonera que riegan unas 150.000 ha tienen valores de C.E. similares a los señalados más arriba y que dentro de estas áreas se encuentran suelos con valores de SAR suficientemente elevados para que puedan aparecer riesgos potenciales.

Sin embargo, en la Depresión Media del Ebro hay que tener en cuenta la frecuente presencia de yesos simultáneos a los altos valores de SAR, lo cual disminuye el riesgo señalado anteriormente. Así, experien-

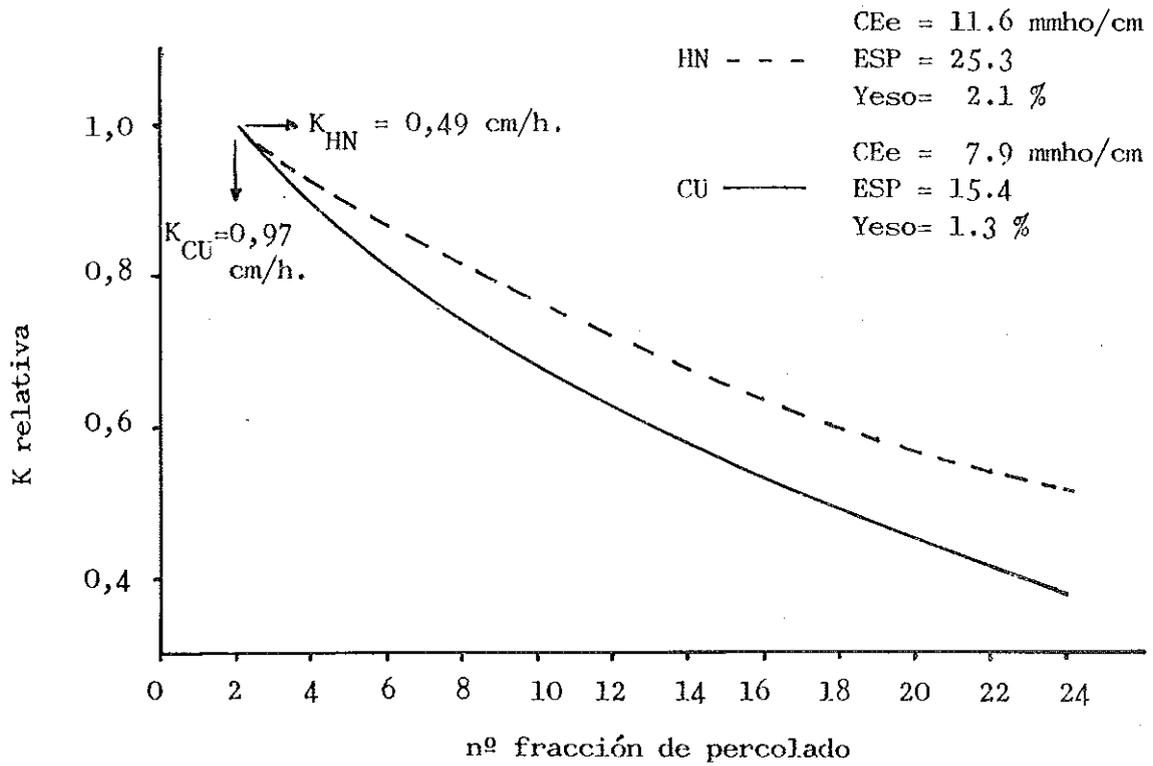


Fig. 8.- variación de la conductividad hidráulica durante el proceso de lavado de dos suelos salinos de la Depresión Media del Ebro.

cias de lavado de sales en suelos con alto ESP, llevadas a cabo en condiciones de laboratorio (ARAGÜES R.; ALBERTO F., 1.977) con agua destilada a temperatura constante muestran, fig. 8, cómo el yeso ha mantenido la velocidad de percolación a unos niveles aceptables y con un gradiente de caída lento frente a valores dados para tratamientos semejantes en suelos sin yesos por FIREMAN (1.944), FRENKEL, GOERTZEN y RHOADES (1.978), etc.

Para los suelos que no posean yeso las cantidades a añadir habrán de determinarse a partir de sus datos analíticos y estudiar el método de aplicación al suelo o al agua de riego más idóneo. El empleo de aguas con elevada salinidad "high salt water dilution method" puede ser también un camino adecuado para conseguir la desalinización total de áreas con problemas de salinidad y en las que la calidad de las aguas sea de la de - bajos niveles de C.E.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de los criterios de calidad descritos en la Parte I de este trabajo a las aguas aquí consideradas permite concluir que en general su calidad es aceptable, aunque especialmente la salinidad (C.E.) y la toxicidad específica de Na o Cl de algunas aguas en ciertas épocas del año sobrepasan los límites de inocuidad establecidos y por lo tanto su utilización deberá ajustarse a condiciones de control adecuadas para evitar descensos en los rendimientos.
2. Tanto los grandes planes de riego como los pequeños (embalses y pozos) necesitan un control de la calidad de las aguas en función del tiempo y de acuerdo con las características del suelo, de las cosechas y de las prácticas de cultivo para optimizar su utilización.
3. La calidad del agua de riego es un parámetro importante a tener en cuenta en las estimaciones de necesidad de agua de riego para cada zona en particular.

4. Parámetros de calidad tales como niveles de B, Li y Se de los que se dispone de poca información a nivel regional deberían ser estudiados y evaluados convenientemente.
5. El estudio de las relaciones agua de riego - suelos salinos y sódicos, es el único camino que permitirá deducir normas de manejo para una correcta utilización de ambos. En este aspecto, los ensayos de laboratorio deben ser el paso obligado debiendo estos centrarse sobre los problemas reales que una prospección previa en el terreno - descubra. El perfecto conocimiento de la mineralogía de las arcillas es imprescindible para explicar estas relaciones.
6. El yeso parece ser en la región el material adecuado para mejorar múltiples situaciones. Deberán estudiarse los métodos de aplicación y características que debe reunir para conseguir efectividad en su utilización.
7. Deben emprenderse estudios de balance de sales a lo largo de la Cuenca para evitar problemas futuros y como base para establecer normas legales de utilización del agua.

BIBLIOGRAFIA

ARAGÚÉS R.; ALBERTO F., 1.977-a.- El proceso de recuperación de dos suelos salinos de la Depresión Media del Ebro. I. Evolución de la conductividad eléctrica, conductividad hidráulica y pH durante el lavado.

An. Est. Exp. Aula Dei, 14 (1-2) En prensa.

ARAGÚÉS R.; ALBERTO F., 1.977-b.- El proceso de recuperación de dos suelos salinos de la Depresión Media del Ebro. II. Dinámica de las sales durante el lavado.

An. Est. Exp. Aula Dei, 14 (1-2) En prensa.

AYERS R.S.; WESTCOT D.W., 1.976.- Water quality for agriculture.

Irrigation and drainage paper, nº 29, FAO (Roma).

FAO (Roma) 97 pp.

C.E.S.I.E., 1.971.- Regadío.

Consejo Económico Sindical Interprovincial del Ebro.

CUCHI J.A.; MACHIN J.; ALBERTO F., 1.977.- Niveles de boro en suelos salinos de la Depresión Media del Ebro.

Anuario 1.977. Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca. Vol. homenaje al Prof. F. Lucena Conde, 249-265.

DANE J.H.; KLUTE A., 1.977.- Salt effect on the hydraulic properties of a swelling soil.

Soil Sci. Soc. Am. Proc. 41 (6): 1043-1049.

DONEEN L.D., 1.964.- Notes on water quality in agriculture. Part I.

Dep. of Irrigation, Univ. of California. Davis.

- DONEEN L.D., 1.975.- Water quality for irrigated agriculture. En POLJAKOFF-MAYBER Plants in saline environments.
Springer Verlag. Berlin.
- FAO/UNESCO, 1.973.- Soil resource development and conservation service.
Soil Map of the World. FAO. Roma.
- FRENKEL H.; GOERTZEN J.O.; RHOADES J.D., 1.978.- Effect of clay type and content, ESP and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity.
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 42 (1): 32-39.
- LABORATORIO COLEGIO OFICIAL DE FARMACEUTICOS, 1.963.- Estudio analítico de las aguas de consumo público en la provincia de Zaragoza.
Colegio Oficial de Farmacéuticos de Zaragoza.
- LISO M.; ASCASO A., 1.969.- Introducción al estudio de la evapotranspiración y clasificación climática de la cuenca del Ebro.
An. Est. Exp. Aula Dei, 10 (1-2) 5-505.
- McNEAL B.L.; COLEMAN N.T., 1.966.- Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity.
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30 (3): 308-312.
- M.O.P. COMISARIA DE AGUAS, 1.972-1.976.- Análisis de calidad de las - aguas.. Años 1.972-73; 73-74 nº 109; 74-75 nº 119; 75-76 publicación nº 122.
Ministerio de Obras Públicas. Madrid.
- QUIRK J.P., 1.971.- Chemistry of saline soils and their physical properties.
En TALSMA T. y PHILIP J.R. (Ed.) Salinity and water use. John Willey and Sons. New York p. 79-91.

RHOADES J.O., 1.972.- Quality of water for irrigation.

Soil Sci. 113 (4): 277- 284.

RICHARDS L.A., 1.954.- Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.

USDA. Agric. Handbook nº 60, 160 pp.

Dpto. de Suelos.E.E. Aula Dei (CSIC).Zaragoza.

Dpto. de Fruticultura.CRIDA 03 (INIA).Zaragoza.