

COMPROBACION DE LA FORMULA DEL "REQUERIMIENTO DE LIXIVIACION" EN CONDICIONES DE INVERNACULO ¹

Por F. S. OLMOS ², R. R. HARDING ³ y L. NIJENSOHN ⁴

SUMMARY

The Leaching Requirement (LR) formula proposed by the United State Salinity Laboratory (USSL) assumes that for a given soil layer the drainage water and the saturation extract possess equivalent saline concentrations. Theoretical considerations make it doubtful such an equivalence and to make it clear the convenience or not of modifying the USSL's LR formula, experiments in greenhouse conditions were carried out.

Sudangrass was grown in containers and submitted to different LR régimes. Volumes, saline composition and electric conductivity of the irrigation and drainage waters were controlled and the yields of two cuttings of the Sudangrass obtained.

It was concluded that the factors $\frac{Wfc}{Ws}$ and $\frac{1}{f}$ must be introduced into the LR formula of the USSL and, consequently, the final equation proposed is read as follows:

$$RL = \frac{CEr}{CEd} \cdot \frac{Wfs}{Ws} \cdot \frac{1}{f}, \text{ where } \frac{Wfs}{Ws}$$

represents the relation between the field capacity and the saturation capacity of the soil, and where "f" is the efficiency with which the lixiviation is carried out. This efficiency is expressed by the ratio between the LR value determined as the volume relations between irrigation and drainage water, and the LR resulting from the quotient between the saline concentration of the irrigation water and that of the drainage water.

¹ La parte experimental de este trabajo fue realizado por el primero de los autores en la Citrus Experiment Station de la Universidad de California en Riverside, como becario del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

² y ⁴ Profesor adjunto y Profesor titular de Edafología, Instituto de Suelos y Riego, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

³ Associate Chemist, Department of Soils and Plant Nutrition, UCR, California.

In this experiment, $\frac{Wfc}{Ws}$ and "f" had similar values. This suggests the possibility of going on using the original LR formula proposed by the USSL.

The Sudangrass yields did not differ significantly in the various lixiviation treatments. According to our interpretation, this is due to the low matric suction (0,4 bars) taken as the minimum moisture level before irrigating.

INTRODUCCION

Para evitar la gradual salinización del suelo por efecto de la acumulación de sales aportadas por el riego, es indispensable el uso de un exceso de agua por sobre la necesaria para llenar las exigencias evapotranspiratorias de los cultivos. El *Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica* (1954) denominó como *Requerimiento de Lixiviación* ("Leaching Requirement"), a la fracción del agua de riego que debe perderse por debajo de la zona explorada por raíces para controlar su salinidad a un nivel especificado. El valor del RL⁵ está dado por la siguiente ecuación:

$$RL = \frac{CEr}{CEd} \quad (I)$$

de la que se deduce que para cada tipo de agua de riego la única variable que determina el valor del RL es la conductividad eléctrica del agua de drenaje, la que debe ser prefijada, en cada caso, de acuerdo con la tolerancia a la salinidad del cultivo considerado.

CUADRO 1

Abreviaturas empleadas

- RL = requerimiento de lixiviación.
- rr = riego de reposición.
- rl = riego de lixiviación.
- Vrc = volumen de agua de riego calculado.
- Vdc = » » drenaje calculado.
- Vro = » » riego observado.
- Vdo = » » drenaje observado.
- Sr = concentración salina del agua de riego.
- Sd = » » promedio del agua de drenaje.
- Clr = » de cloruros del agua de riego.
- Cld = » » promedio del agua de drenaje.
- CEr = conductividad eléctrica específica del agua de riego : mhos. 10³, 25°C.
- f = factor de eficiencia.
- CEs = conductividad eléctrica promedio del extracto de saturación.
- Wrec = capacidad de recipiente.
- Wfc = capacidad de campo.
- Ws = capacidad de saturación.
- ETR = evapotranspiración real (uso consuntivo).
- ETR_p = evapotranspiración real de un período determinado.

⁵ Las abreviaturas empleadas se consignan en el Cuadro 1.

La mayoría de los datos recientes relacionados con la tolerancia relativa de las plantas cultivadas a las sales (*U. S. Salinity Laboratory Staff*, 1964; EHLIG & BERNSTEIN, 1958; LUNIN & STEWARD, 1961; LUNIN *et al.*, 1963; BERNSTEIN, 1958, 1959, 1960), están basados en técnicas en las cuales los rendimientos de cosechas se relacionan con conductividades eléctricas del extracto de saturación de suelos de diferente tenor salino. Teniendo en cuenta esto, se plantea el siguiente problema (NIJENSOHN y OLMOS, 1963):

¿Cuál debe ser la CE del agua de drenaje, en la ecuación (I) para que la CE del extracto de saturación del suelo no exceda el valor admitido como el máximo compatible con un rendimiento satisfactorio del cultivo?

Aunque no en forma explícita, el criterio del Laboratorio de Salinidad de Riverside, tal como puede ser apreciado a través de los ejemplos consignados en el manual de su autoría: (pág. 37, segunda columna, arriba), es el de asimilar la CE del extracto de saturación a la CE_d , es decir, que de acuerdo con ese concepto, la CEs y la CE_d serían equivalentes en la parte inferior de la zona radical.

Esta equivalencia es cierta, sin duda, mientras el proceso de drenaje está teniendo lugar pero, probablemente, no lo es cuando el agua gravitante se ha eliminado y el suelo ha alcanzado su capacidad de campo, lo que ocurre durante el lapso entre dos riegos.

Si admitimos que la relación promedio existente entre el porcentaje de saturación y la capacidad de campo es de alrededor de 2:1, deberíamos también admitir que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de suelo drenado será, aproximadamente, la mitad del valor de la conductividad eléctrica del agua de drenaje.

Por otra parte, cuando se afirma que un cierto cultivo puede producir satisfactoriamente en un suelo cuya conductividad eléctrica de extracto de saturación, es, por ejemplo, 6.000 micromhos, se infiere que sus raíces pueden estar en contacto con una solución edáfica cuya conductividad eléctrica mínima es, aproximadamente, 2 veces ese valor.

Si, además, se tiene presente que entre dos riegos el contenido hídrico del suelo puede descender hasta el porcentaje de marchitamiento, el que corresponde, a su vez, a alrededor de la mitad de la capacidad de campo, el valor tolerable de la CE de la solución edáfica, en el ejemplo anterior, podría llegar a ser hasta 4 veces el del extracto de saturación.

De acuerdo con este razonamiento es lícito suponer que, aun en condiciones de drenaje continuo, se podría admitir una conductividad eléctrica del agua de drenaje de, por lo menos, el doble del valor de la conductividad eléctrica considerada como la máxima conveniente para el extracto de saturación.

La revisión de la literatura pertinente revela que mientras algunos investigadores hacen razonamiento más o menos análogos a los

expuestos, otros no prestan ninguna consideración a esta evidente falta de identidad entre la *CEd* y la *CEs*.

F. EATON, 1954, hace referencia a la necesidad de doblar los valores de concentración de sales del extracto de saturación, para que ellos sean representativos de las concentraciones de la solución del suelo en capacidad de campo. No obstante ello, en su fórmula no necesita tomar en cuenta este razonamiento, dado que en la misma no utiliza como denominador la concentración del agua de drenaje, sino valores de lo que él llama "concentración promedio de la solución del suelo", obtenidos en experiencias realizadas en hidroponia sobre arena.

J. H. BOUMANS *et al.* (1963), admiten "a priori" como cierta esa falta de identidad entre *CEd* y *CEs* y al calcular el RL reemplazan en la fórmula la *CEd* por la *CEs* multiplicada por un factor que corresponde a la relación entre los contenidos de humedad de la pasta saturada y del suelo "saturado *in situ*". Debemos hacer notar que la publicación de BOUMANS *et al.*, es posterior a la iniciación de las experiencias que se informan en el presente trabajo.

Entre los que admiten tácitamente la identidad entre *CEd* y *CEs*, además del mencionado U. S. Salinity Laboratory Staff, están LEÓN BERNSTEIN y L. V. WILCOX (1963).

Otro aspecto poco claro en la literatura existente sobre este tema, es el de cómo aplicar en la práctica el RL. De acuerdo con la definición de RL, éste representa la fracción del agua de riego que debe drenar con el objeto de eliminar de la zona radical una cierta cantidad de las sales que quedan en el suelo y que estaban disueltas en el agua evapotranspirada, de forma tal que la concentración de la solución edáfica no sobrepase un límite previamente establecido. Por lo tanto, el RL determina una alícuota del agua de riego y su correspondiente volumen dependerá del uso consuntivo.

Pueden existir varios criterios para agregar el exceso de agua determinado por el RL, entre los que podemos citar:

- 1º Hacerlo en cada uno de los riegos, donde la cantidad de agua total a aplicar (V_r) se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V_r = \frac{ETR_p}{1 - RL} \quad (II)$$

- 2º Regar cuando se ha cumplido una ETR prefijada y establecer, además de los riegos comunes, riegos de lixiviación. Los riegos de lixiviación consisten en la aplicación de un volumen de agua correspondiente a la suma de la cuota de reposición (ETR prefijada) y un múltiplo exacto de la misma, también predeterminado (cuota extra). El número de riegos comunes que deben transcurrir antes de aplicar el de lavaje, está dado por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de orden} = & \left(\frac{100}{\text{RL}} \cdot \frac{\text{cuota extra}}{\text{cuota reposición}} \right) - \\ & - \left(\frac{\text{cuota reposición} + \text{cuota extra}}{\text{cuota reposición}} \right) \quad (\text{III}) \end{aligned}$$

3º Fijar la frecuencia de los riegos de lavaje y establecer la cuota extra para esos riegos con la fórmula:

$$\text{Cuota extra} = \frac{\text{ETR}_p}{1 - \text{RL}} - \text{ETR}_p \quad (\text{IV})$$

Donde ETR_p es la correspondiente al período entre dos riegos de lavaje.

El objeto de este trabajo fue, primordialmente, el de aclarar la conveniencia o no de modificar la fórmula (I) de acuerdo a la probable falta de identidad entre la salinidad del agua de drenaje y la del extracto de saturación y, además, reunir información experimental acerca del segundo de los métodos citados de aplicación del volumen de agua de lixiviación.

Para cumplir con esos fines se planeó un ensayo consistente en el cultivo de una forrajera regada con agua salina con la aplicación de diferentes requerimientos de lixiviación y el control de los volúmenes drenados, concentraciones salinas respectivas y rendimientos obtenidos.

MATERIAL Y METODOS

El suelo elegido pertenece a la Serie Altamont, del gran grupo de los Chernozem, cuyas principales características físicas que lo hacen adecuado para este ensayo son: *a)* textura franco arcillosa; *b)* bien estructurado y *c)* drenaje bueno a excesivo.

Datos químicos de interés están consignados en el Cuadro 2.

El volumen de tierra necesario fue muestreado en la propiedad de la "Boys Republic School n° 4".

La experiencia fue llevada a cabo en invernáculo, en macetas de 7,570 litros (2 galones) de capacidad, las que fueron preparadas de la siguiente manera: *a)* El orificio de salida, situado lateral e inferiormente, fue rellenado con lana de vidrio, que pendía exteriormente y servía para guiar el agua de drenaje; *b)* el fondo fue cubierto con una capa de grava, y con el objeto de evitar que el suelo pasase a través de los poros, sobre ésta se colocó una capa de arena de cuarzo; *c)* todos los recipientes se llevaron a la misma tara con esos elementos; *d)* el suelo, previamente tamizado por malla de 1 cm de abertura y luego homogeneizado, fue colocado a razón de 7,7 kg (17 libras) por maceta; *e)* con el objeto de determinar el momento oportuno de irrigación se colocó un tensiómetro en una maceta de cada tratamiento y se fijó como umbral de riego una succión matriz de 0,4 bares.

CUADRO 2

Características químicas del suelo «Altamont franco arcilloso»

Extracto de saturación(Porcentaje saturación de la pasta: $W_s = 52,78 \text{ g } \%$)

CE, mmhos 25° C.....	1,27
Ca, me/l	6,56
Na »	2,06
Cl »	3,84
pH en pasta.....	6,95

Cationes intercambiables

Capacidad intercambio catiónico (CIC)....	32,61 meq % g		
Ca	19,80 »	60,77 meq % de CIC	
Mg.....	8,33 »	25,54 meq	
Na	0,59 »	1,81 »	
K.....	0,66 »	2,04 »	
H.....	3,23 »	9,84 »	

La planta utilizada fue "Sudan grass" y la siembra se efectuó el 12 de noviembre de 1962.

El riego de presiembra y los posteriores, hasta que el Sudan grass alcanzó una altura de 3 cm, se efectuaron con agua desmineralizada. En ese momento se empezó la utilización del agua salina, la que tenía una CE de 2,5 mmhos y una relación de adsorción de sodio (SAR) de 6; su composición química era la siguiente: Cl⁻ 20,25 me/l, Ca 8,85 me/l y Na 12,32 me/l.

La cantidad de agua a agregar en cada riego, 800 ml, fue determinada previamente por diferencia entre el peso inicial de la maceta, una vez que dejó de drenar después de haber sido regada abundantemente (capacidad de recipiente: W_{rec}) y el peso de la misma cuando el tensiómetro marcaba 0,4 bares.

Denominamos "riego de reposición" a la aplicación de la cantidad de agua necesaria para llevar a cada maceta a su capacidad de recipiente, en este caso: 800 ml.

Denominamos "riegos de lixiviación" a la aplicación de una cantidad de agua equivalente al doble del volumen de los riegos de reposición, en este caso: 1.600 ml.

Los tratamientos realizados fueron 7, correspondientes a cada una de las siguientes relaciones "riegos de reposición a riegos de lixiviación": 1:1; 2:1; 3:1; 4:1; 5:1; 10:1 y 1:0. Los RL teóricos para esos tratamientos son: respectivamente: 33,3 %; 25,0 %; 20,0 %; 16,6 %; 14,2 %; 8,3 % y 0 %.

CUADRO 3
Valores promedios obtenidos para todo el período del ensayo

r : r	RL calc. %		RL observados %				Factores de eficiencia					CEs antes de los « r »		CEs después de los « r »		Wrec / Ws		CEs antes de los « r »		ETR			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)	(q)	(r)	(s)	(t)	(u)	(v)	
	$\frac{Vd}{Vr}$	$\frac{Vde}{Ver}$	$\frac{Sr}{Sd}$	$\frac{Clr}{Clr}$	$\frac{CEr}{CEd}$	$f = \frac{Vde/Vrc}{Sr/Sd}$	$f = \frac{Vde/Vrc}{Clr/Clr}$	$f = \frac{Vde/Vrc}{CEr/CEd}$															
1 : 1	33,3	28,95	37,70	35,40	43,02	0,71	0,70	0,63	5,30	5,81	4,30	0,855	0,912	571	4,50	0,855	0,901	539	4,24	0,855	0,905	572	4,33
2 : 1	25,0	22,51	34,33	34,57	39,51	0,65	0,65	0,57	5,60	6,31	4,55	0,855	0,901	539	4,24	0,855	0,901	539	4,24	0,855	0,905	572	4,33
3 : 1	20,0	17,75	28,26	28,12	33,28	0,63	0,63	0,53	6,00	7,51	5,40	0,855	0,905	572	4,33	0,855	0,905	572	4,33	0,855	0,905	572	4,33
4 : 1	16,6	14,65	27,15	25,63	32,50	0,52	0,53	0,43	5,99	7,65	5,40	0,855	0,889	537	4,23	0,855	0,889	537	4,23	0,855	0,889	537	4,23
5 : 1	14,2	13,82	25,65	26,19	32,32	0,53	0,53	0,45	7,20	8,11	5,40	0,835	0,887	524	4,26	0,835	0,887	524	4,26	0,835	0,887	524	4,26
10 : 1	8,3	8,80	21,84	21,56	25,82	0,40	0,41	0,34	9,00	9,89	7,40	0,855	0,991	570	4,26	0,855	0,991	570	4,26	0,855	0,991	570	4,26

CUADRO 4
Valores promedios obtenidos para el período de definida tendencia al equilibrio

1 : 1	33,3	25,91	29,70	30,35	34,43	0,87	0,65	0,75	6,40	7,24	5,30	0,855	0,883	369	4,68	0,855	0,891	327	4,42	0,855	0,891	327	4,42
2 : 1	25,0	21,57	27,50	27,82	32,20	0,78	0,74	0,67	6,90	7,74	5,60	0,855	0,891	327	4,42	0,855	0,891	327	4,42	0,855	0,891	327	4,42
3 : 1	20,0	17,82	20,10	19,87	24,20	0,89	0,90	0,74	6,80	10,33	6,70	0,855	0,851	285	3,21	0,855	0,851	285	3,21	0,855	0,851	285	3,21
4 : 1	16,6	14,97	20,04	19,55	24,00	0,75	0,75	0,77	0,60	16,08	6,70	0,855	0,883	265	6,84	0,855	0,883	265	6,84	0,855	0,883	265	6,84
5 : 1	14,2	13,87	18,01	17,71	22,02	0,77	0,75	0,83	0,45	11,35	7,10	0,855	0,832	209	5,99	0,855	0,832	209	5,99	0,855	0,832	209	5,99

Con el objeto de evitar que el agua pasara a través de las grietas, cada riego se efectuó distribuyendo uniformemente, sobre la superficie, parcialidades de 100 ml hasta completar la cantidad estipulada y esperando, antes de agregar la nueva alícuota, que el agua de la anterior se insumiera. El agua de drenaje era recogida durante cada lixiviación, medido su volumen y determinado su contenido salino.

El ensayo duró 127 días, durante los cuales se efectuaron dos cortes de sudan grass, el primero de ellos a los 81 días después de la siembra. El material verde fue pesado, secado a 60°C y vuelto a pesar. Una vez terminado el segundo ciclo, se cortó por la mitad el pan de tierra de cada maceta y se extrajeron muestras representativas de la primera y segunda mitad, en las que se determinó la salinidad mediante el análisis de sus extractos de saturación.

RESULTADOS

En el cuadro 3 se consignan los valores promedios obtenidos en las determinaciones efectuadas durante el curso del ensayo.

El "RL calculado", (a), fue considerado como la relación programada entre el número de volúmenes de agua de lixiviación y el de volúmenes totales de riego, considerando como un volumen unitario a los 800 ml que definimos como riego de reposición. El primer tratamiento, por ejemplo, consistió en una secuencia de un riego de reposición o, lo que es igual, un volumen, seguido por un riego de lixiviación, que equivale a dos volúmenes.

$$\text{Por lo tanto, su RL} = \frac{1}{1 + 2} = 0,333 \text{ ó } 33,3 \%$$

El "RL observado, calculado sobre la base de volúmenes", (b), es la relación entre los volúmenes totales de drenaje por tratamiento, promedio de las cinco repeticiones, y el volumen total de agua de riego agregada.

Los "RL observados", calculados sobre la base de: "concentraciones de sales", (c), "concentración de cloruros", (d), y "conductividades", (e), son las relaciones entre las concentraciones o conductividades del agua de riego y las concentraciones o conductividades promedio, por riego y por recipiente, de las aguas de drenaje de todo el ciclo.

La "eficiencia de lixiviación" es la relación entre los RL observados en volúmenes y los correspondientes RL observados en concentraciones de sales, (b/c), en concentraciones de Cl⁻, (b/d) y conductividades, (b/e).

Para calcular la "CE del extracto a saturación antes de los riegos de lixiviación", (f), se restó del total de sales agregadas las sales lixiviadas hasta cada uno de ellos. Las sales presentes calculadas se transformaron en concentraciones del extracto de satura-

CUADRO 5
Rendimiento de «Sudan Grass» en los diversos tratamientos

N° maceta	Trata- miento rr : rl	Primer ciclo (cortado al 7/2/63)			Segundo ciclo (cortado al 6/4/63)				
		Peso verde gr	Prom. gr	Peso seco 60° C gr	Prom. gr	Peso verde gr	Prom. gr	Peso seco 60° C gr	Prom. gr
46		163		46,4		401		109	
47		165		48,3		408		107	
48	1 : 1	176	171,2	51,2	49,8	400	401	104	106,2
49		186		55,2		413		108	
50		166		47,9		383		103	
26		132		35,6		400		112	
27		141		40,0		385		103	
28	2 : 1	172	157,4	48,9	44,7	397	309,6	106	105,0
29		186		54,5		386		104	
30		156		44,9		380		100	
41		167		48,1		381		108	
42		140		39,5		366		100	
43	3 : 1	187	158,8	53,8	45,4	389	396,2	107	111,4
44		150		42,7		400		113	
45		150		43,2		445		129	
31		165		47,6		420		113	
32		165		48,4		392		103	
33	4 : 1	182	171,4	53,0	49,6	397	401,2	104	104,6
34		180		51,4		407		101	
35		165		48,9		390		102	
51		183		54,9		390		105	
52		189		55,7		364		98	
53	5 : 1	146	163,8	40,0	47,4	383	371,6	100	100,2
54		171		49,3		364		98	
55		181		37,2		357		100	
21		165		50,3		347		104	
22		180		53,9		363		107	
23	10 : 1	196	162,8	57,5	47,8	362	351,8	105	105,0
24		109		28,9		345		105	
25		164		48,5		342		104	
36		125		34,6		327		94	
37		164		48,2		316		94	
38	1 : 0	170	145,8	49,9	41,4	322	314,4	96	93,4
39		115		31,1		305		93	
40		155		43,4		302		90	

ción, teniendo en cuenta la humedad de la pasta saturada, y luego se expresaron en conductividades. Para ello se utilizó la curva de la figura 2, pág. 10 del Handbook 60 del USDA.

El promedio de todos los valores obtenidos por tratamiento es el que se consigna en el cuadro 3.

Un procedimiento similar se empleó para calcular la " CE_s , después de los riegos de lixiviación", (h), con la diferencia de que se incluyeron entre las sales lixiviadas las eliminadas por cada uno de los riegos de lixiviación considerados.

La " CEd " consignada en el cuadro 3, (g), es el promedio por recipiente y por riego de las conductividades de las aguas de drenaje de todo el ciclo.

W_{rec}/W_s es la relación entre la capacidad de agua del suelo en condiciones de recipiente y la capacidad de saturación (contenido de agua de la pasta saturada).

Los valores citados en el cuadro 4 fueron obtenidos en la misma forma que los del cuadro 3, pero teniendo en cuenta solamente los datos correspondientes a los últimos períodos del ensayo, en los que las concentraciones de sales del suelo mostraron una definida tendencia al equilibrio con las aguas de riego, para cada uno de los RL empleados. Esta tendencia al equilibrio está graficada en la figura 1, en la que se han representado los valores máximos y mínimos de concentraciones salinas del suelo para cada riego y para cada requerimiento de lixiviación.

No se citan en el cuadro 4 los datos correspondientes al tratamiento 10:1 debido a que, como puede apreciarse en la figura 1, éste no alcanzó un estado de equilibrio en el tiempo que duró el ensayo. Como dato complementario se dan los valores de evapotranspiración real en mm, ETR, para el ciclo total (cuadro 3), y para los últimos períodos del ensayo (cuadro 4). Los pesos de "sudan grass" obtenidos en los cortes realizados se consignan en el cuadro 5.

DISCUSION

Del examen de los datos obtenidos, cuyo resumen figura en los cuadros 3 y 4, pueden efectuarse las siguientes consideraciones:

- 1^a Los RL calculados y los RL observados, ambos en volúmenes, coinciden, en general, satisfactoriamente, aunque a medida que aumenta el valor de RL las diferencias se hacen mayores.
- 2^a Los RL observados son mayores cuando se calculan sobre la base de concentraciones salinas o conductividades eléctricas que cuando se lo hace con volúmenes. Este aumento tiene que deberse a una disminución del valor del denominador en la ecuación del RL, o sea: menor S_d o C_{ld} o CEd , ya que el numerador es constante en todos los casos.

Esta disminución puede deberse a que parte del líquido de drenaje está constituido por agua que pasó por los macroporos y grietas sin alcanzar un equilibrio con la solución del suelo.

- 3^a Los RL observados, expresados como la razón de las conductividades eléctricas de agua de riego y drenaje, aparecen como mayores que los calculados sobre la base de concentraciones salinas, ya sea salinidad total o únicamente de cloruros. Esta diferencia se explica porque el aumento de conductividad eléctrica por concentración no es simplemente proporcional a esta última, sino que está afectado por un coeficiente menor que 1, el que corresponde a la menor actividad de los iones provocada por la concentración.
- 4^a Denominando "Eficiencia de lixiviación", (f), a las relaciones existentes entre los RL calculados como volúmenes y los calculados como concentraciones salinas o CE, una eficiencia menor de 1 indica una tendencia a la acumulación salina del suelo, pues si:

$$\frac{V_d}{V_r} < \frac{S_r}{S_d}$$

entonces:

$$V_r.S_r - V_d.S_d > 0$$

siendo:

$$\begin{aligned} V_r.S_r &= \text{sales aportadas} \\ V_r.S_d &= \text{sales removidas} \end{aligned}$$

La ecuación de RL propuesta por el Laboratorio de Salinidad de Riverside presupone que $\frac{V_d}{V_r} = \frac{S_r}{S_d}$, condición que sólo se cumple cuando "f" = 1.

- 5^a A medida que se permite una mayor concentración salina por disminución del RL, disminuye la eficiencia de lixiviación, por lo menos en el procedimiento de lixiviación adoptado en el ensayo y para la duración total que el mismo tuvo.
- 6^a Relacionando la CE del extracto de saturación de todo el suelo contenido en los recipientes en los momentos anteriores a los riegos de lixiviación (valores que representan la máxima salinidad que tuvo que enfrentar el cultivo) con las CE de las aguas de drenaje, se puede observar que, salvo el tratamiento 1:10, su razón difiere del valor 1 y se acerca sensiblemente a la relación existente entre la capacidad de retención del agua del suelo en recipiente y el porcentaje de saturación del suelo. Esto se hace más evi-

dente si en lugar de considerar los promedios correspondientes a todo el ciclo del ensayo, se toman en cuenta únicamente los últimos períodos. Debe tenerse presente que el contenido de agua en "capacidad de recipiente" es siempre mayor que el correspondiente a "capacidad de campo", por lo que la relación W_{fc}/W_s será menor que W_{rec}/W_s , y por consiguiente, la relación CE_s antes del riego/ CE_d será también menor en condiciones de campo.

- 7^a De la observación de la figura 1 surge que para cada uno de los tratamientos ensayados existe un primer período de aumento constante de concentración salina en el suelo y un segundo en el cual esta concentración parece estabilizarse. A ese segundo período lo denominamos como "de equilibrio".

Si las relaciones discutidas precedentemente para todo el ciclo se recalculan para el período de equilibrio de cada tratamiento (cuadro 4), pueden efectuarse las siguientes consideraciones:

- a) Los RL observados, en volúmenes, se mantienen prácticamente iguales a los del ciclo completo;
- b) La eficiencia de lixiviación ha aumentado en todos los tratamientos, pero no ha llegado en ninguno de ellos al 100 %, valor que definiría un verdadero estado de equilibrio sin acumulación posterior de sales.

- 8^a Tal como puede observarse en el cuadro 5, los pesos de materia vegetal obtenidos en los diferentes tratamientos no difieren significativamente entre ellos, salvo el correspondiente al $rr:rl = 1:0$. Esto se explicaría por el alto porcentaje de humedad adoptado como umbral de riegos.

CONCLUSIONES

1. Los ensayos realizados confirman la identidad práctica entre las relaciones de CE_s antes del riego/ CE_d y W_{rec}/W_s ó W_{fc}/W_s .

Esto indicaría la conveniencia de introducir en la fórmula del RL de Riverside un factor, menor que la unidad, correspondiente a W_{fc}/W_s .

2. La diferencia de identidad entre el requerimiento de lixiviación calculado como la razón entre los volúmenes de agua de drenaje y de riego y el establecido como la razón entre la concentración salina del agua de riego y la del drenaje, revela que la eficiencia con que se cumplen las lixiviaciones es menor que el 100 %. Esto indicaría la conveniencia de introducir en la fórmula del RL de Riverside un factor, mayor que la unidad, correspondiente a la inversa del "factor de eficiencia de lixiviación".

3. Introduciendo los factores citados en 1) y 2) en la ecuación de RL de Riverside, ésta quedaría formulada así:

$$RL = \frac{CEr}{CEd} \cdot \frac{Wfc}{W_s} \cdot \frac{1}{f} \quad (V)$$

Sólo en esta forma sería lícito, como lo propone el Laboratorio de Salinidad de Riverside, asignar a la CEd el valor de la CE del extracto de saturación considerado como el máximo conveniente para el cultivo en cuestión.

4. En el presente ensayo de invernáculo y en el único otro de campo que obra en nuestro conocimiento (Boumans *et al.*, 1963), los valores de $\frac{Wfc}{W_s}$ y "f" son muy similares, por lo que se anularían mutuamente en la fórmula (V), la que quedaría en su forma primitiva (I).

5. Por lo tanto, si bien es conveniente calcular, en cada caso particular, los factores Wfc/W_s y $1/f$, se puede concluir que es probable que no se cometan errores de magnitud considerable si el RL se determina mediante la fórmula sencilla (I).

6. El alto valor de humedad del suelo adoptado como umbral para los riegos —0,4 bares de succión matriz— impidió la manifestación de efectos depresivos de la salinidad sobre los rendimientos de sudan grass en todos los tratamientos de lixiviación ensayados.

RESUMEN

La finalidad de este trabajo fue la de aclarar la conveniencia o no de modificar la fórmula del RL del Laboratorio de Salinidad de Riverside (LSR), de acuerdo a la probable falta de identidad entre la salinidad del agua de drenaje y la del extracto de saturación. Además, reunir información experimental acerca de uno de los métodos de aplicación del volumen de agua de lixiviación.

Una forrajera, sudan-grass, fue cultivada en macetas en condiciones de invernáculo y regada con agua salina, bajo diferentes requerimientos de lixiviación determinados por las distintas relaciones entre riegos de lixiviación y de reposición.

Se controlaron los volúmenes de agua drenados, las concentraciones salinas y las conductividades eléctricas de los líquidos de drenaje y los rendimientos de sudan-grass obtenidos.

Se concluyó que en la fórmula de RL del LSR deberían introducirse los factores $\frac{Wfc}{W_s}$ y $\frac{1}{f}$, quedando por lo tanto la ecuación final formulada así:

$$RL = \frac{CEr}{CEd} \cdot \frac{Wfc}{W_s} \cdot \frac{1}{f}$$

Donde $\frac{W_{fc}}{W_s}$ representa la relación entre las capacidades de campo y de saturación del suelo considerado y "f" la eficiencia con que se cumple la lixiviación; esta eficiencia está expresada por la razón entre el valor del RL determinado sobre la base de volúmenes de agua aportada y drenada y el RL resultante del cociente entre la concentración salina del agua de riego y la del agua de drenaje.

En este ensayo $\frac{W_{fc}}{W_s}$ y "f" resultaron similares, lo que sugiere la posibilidad de seguir usando la fórmula primitiva del RL propuesta por el LSR.

Los rendimientos de sudan-grass no difirieron significativamente entre los diversos tratamientos de lixiviación ensayados, lo que se interpretó como debido al bajo umbral de succión matriz —0,4 bares— adoptado para los riegos.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BERNSTEIN, L., 1958. *Salt Tolerance of Grasses and Forrage Legumes*. USDA. Agriculture Information Bulletin N° 194.
- 1959. *Salt Tolerance of Vegetable Crops in the West*. USDA. Agriculture Information Bulletin N° 205.
- 1960. *Salt Tolerance of Field Crops*. Agriculture Information Bulletin 217, USDA.
- 1962. *Salt Affected Soils and Plants*. The Problem of the Arid Zones, Proc. of the Paris Symposium : 139-174. UNESCO.
- BERNSTEIN, L., s/f. *Salt Tolerance of Plants and the Potential Use of Saline Waters for Irrigation*. Desalination Research Conference-National Academy of Sciences. National Research Council. Publ. 942.
- BOUMANS, J. H., HULSBOS, W. C., LINDERBERGH, H. L. J., VAN DER SLUIS, P. M., 1963. *Reclamation of Salt affected soils in Iraq*. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication 11. Wageningen.
- EATON, P. M., 1954. *Formulas for Estimating Leaching and Gypsum Requirements of Irrigation Waters*. Texas Agricultural Experiment Station. Miscellaneous Publication III.
- EHLIG, C. F., BERNSTEIN, L. 1958. *Salt Tolerance of Strawberries*. Proc. Am. Soc. for Hort. Sc. 72, 198-206.
- LUNIN, J., STEWARD, F. B., 1961. *The Effect of Soil Salinity on Azaleas and Camellias*. Proc. Am. Soc. for Hort. Sc. 77 : 528-532.
- LUNIN, J., GALLATIN, M. H., BATCHELDER A. R., 1963. *Saline Irrigation of Several Vegetable Crops at Various Growth Stages. I: Effect on Yields*. Agr. Journal 55 : 105-114.

- NIJENSOHN, L. y OLMOS, F. S., 1963. *Cálculo del Requerimiento de Lixiviación de Aguas Salinas de Riego*. Conf. Latinom. para el Estudio Zonas Áridas. Com. Resum. y Trab. 79-80 pp. Bs. As.
- U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U. S. Dept. Agr. Handb. 60.
- WILCOX, S. V., 1963. *Salt Balance and Leaching Requirement in Irrigated Lands*. Agricultural Research Services U. S. Department of Agriculture Technical Bulletin N° 1290.

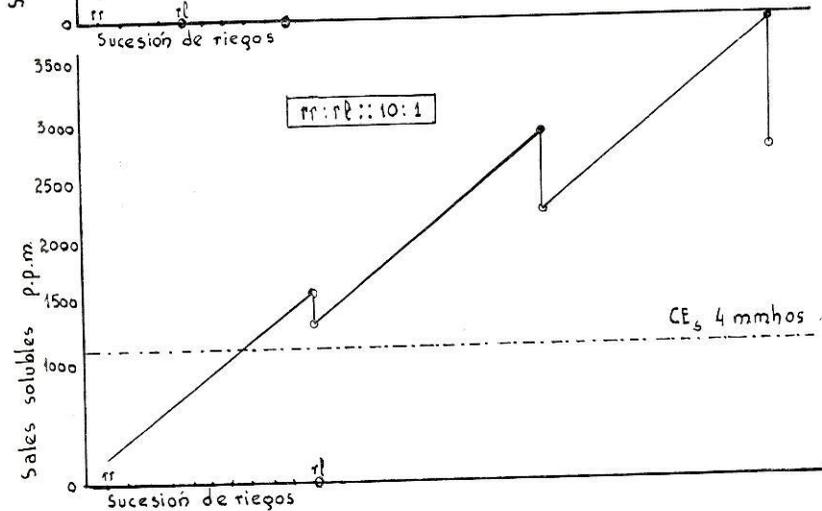
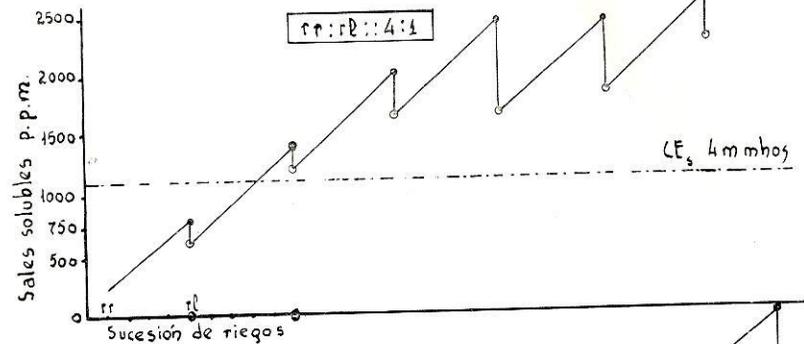
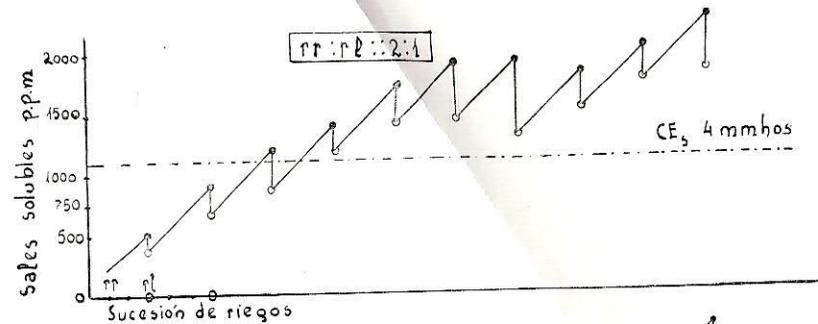
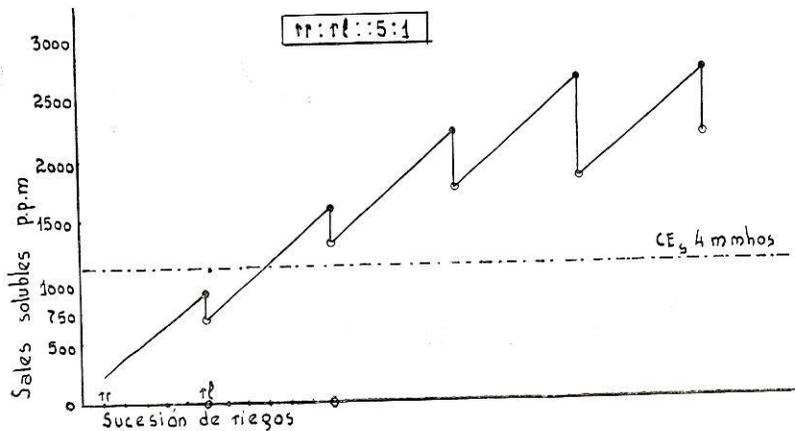
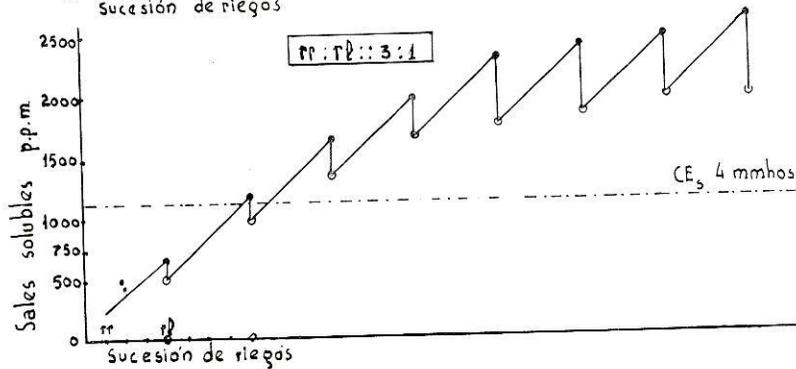
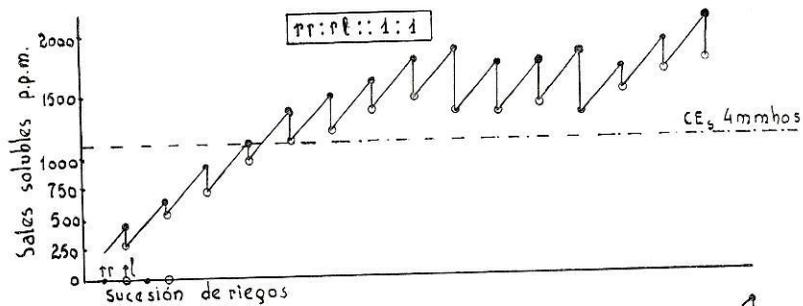


Fig. 1. — Evolución del contenido salino de los recipientes a través del ensayo (● antes del rl y ○ después del rl)