

INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL MANEJO DEL RIEGO A NIVEL DE PREDIO ¹

LEÓN NIJENSOHN ²

SUMMARY

The influence of water quality on field irrigation management for maximum agronomical efficiency

1 *The concept of "Agronomical Irrigation Efficiency" (AIE) is defined and pointed as the objective of an "Optimum irrigation management" in the field. The AIE is envisaged as a more involved concept than the common irrigation efficiencies, which could be unified under the name of "Physical Irrigation Efficiency".*

2 *It is discussed the influence of the water quality in relation with the variables determining the AIE and rules are established for avoiding salinity or sodicity hazards or excessive nutrient losses. Equations are proposed for Leaching Requirements in order to keep salinity and/or sodicity below certain limits of tolerance.*

3 *It is proposed an indirect method for determining deep percolation losses and the resulting application efficiencies, through the knowledge of the electrical conductivities of the irrigation water and of the soil saturation extract.*

INTRODUCCION

Si quisiéramos definir lo que debe entenderse por "Manejo Optimo del Riego dentro del Predio", podríamos decir que es "el conjunto de normas de diseño y técnicas operativas tendientes a lograr la máxima eficiencia en el uso del agua derivada", considerando a esta última como la recibida del sistema o la extraída en la misma propiedad. Para que esta definición sea realmente útil, en cuanto formulación de un objetivo ideal a lograr, debe dársele una significación precisa y suficiente al término "eficiencia". En este sentido, podríamos hablar de dos tipos generales de eficiencia,

1 Trabajo presentado como Relato al Primer Simposio Nacional de Riego, Salta, 27-29 de agosto de 1971.

2 Profesor Titular efectivo de Edafología y Director del Instituto de Suelos y Riego - Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo.

resultantes de sendos enfoques del problema y que difieren en sus alcances. Uno de esos tipos sería la que denominaremos "*Eficiencia Física*" y el otro, "*Eficiencia Agronómica*".

Por "*Eficiencia Física de riego*" (EFR) entenderemos aquella correspondiente al clásico planteo de la ingeniería de riego, para la cual la eficiencia es una relación entre el volumen de agua acumulado en el suelo después del riego, que podría ser utilizado por el cultivo en el proceso evapotranspiratorio —lámina neta (D_n)— y el ingresado o producido en la propiedad, es decir la lámina de agua derivada para el riego de ella (D_d). La diferencia entre esas dos magnitudes está dada por: i) pérdidas y desperdicios en el sistema de *distribución interna* (D_{in}) o eficiencia de conducción (como ser: infiltración y evaporación en el recorrido de las acequias y fugas a través de sus bordes, GRASSL, 1968) y ii) pérdidas en la *parcela irrigada* o eficiencia de aplicación, las que pueden deberse a: *escurrimiento* al pie (D_e), *evaporación* durante el riego (D_{ev}) y *percolación* por debajo de la zona radical (D_p).

Así, puede formularse:

$$EFR = D_n/D_d \cdot 100 = D_d - (D_{in} + D_e + D_{ev} + D_p)/D_d \cdot 100$$

La "*Eficiencia Agronómica de riego*" (EAR) es un concepto más complejo que el de la EFR, por cuanto involucra mayor número de elementos a considerar, y pretende fijar un objetivo más claro y real para la optimización del manejo del riego en la propiedad. Proponemos definir la EAR como "la relación existente entre la producción obtenida sostenidamente en un determinado complejo ecológico-cultural bajo riego (clima, suelo, cultivar, prácticas agrícolas, etc.) con una determinada cantidad y calidad de agua disponible, y la máxima posible de obtener para ese mismo complejo y con el uso de similar cantidad e idéntica calidad de agua, pero optimizando el manejo del riego".

Eso podría formularse así:

$$EAR = (\text{Produc. actual}/\text{Produc. potencial}) = f \frac{mro}{mra} \quad (2)$$

cl, s, ev, w.

Donde los suscriptos indican constantes; "f", función de; "mra", manejo de riego actual; y "mro", manejo de riego óptimo.

Comparando los elementos que determinan la EFR y la EAR deduciremos que existen algunos que son comunes a ambas eficiencias y su influencia se ejerce en el mismo sentido; otros que a pesar de ser comunes difieren en su acción y en la forma en que deben

ser apreciados según se trate de una u otra eficiencia y el resto que son exclusivos de la eficiencia agronómica. Estos conceptos se esquematizan en el Cuadro N^o 1.

Otras variables de manejo agronómico general, como ser: fertilizaciones, poda, etc., que pueden influir por sí mismas en la productividad y, por ende, aumentar aparentemente la eficiencia agronómica de riego, no se han considerado, pues no integran normas de diseño ni técnicas operativas ligadas al manejo del riego, propiamente dicho.

CUADRO N^o 1

*Variables que determinan las Eficiencias
Física y Agronómica del Riego*

<i>Variables</i>	<i>EFR</i>	<i>EAR</i>	<i>Observaciones</i>
1. Eficiencia de conducción	sí =	sí	Afecta por igual a la EFR y a la EAR.
2. Eficiencia de aplicación:			
i) Pérdidas por escurrimiento	sí =	sí	Pueden tener poca o ninguna importancia a nivel de "sistema de riego".
ii) Pérdidas por evaporación	sí =	sí	Mientras en la EFR tienen únicamente importancia cuantitativa, en la EAR pueden también influir cualitativamente, como se verá.
iii) Pérdidas por percolación profunda	sí	sí	La misma aclaración que para Dev, pero con la diferencia que su influencia puede llegar a ser positiva, como se verá.
3. Eficiencia de almacenaje	no	sí	Puede afectar la productividad pero no la EFR, tal como fue definida.
4. Eficiencia de distribución o de uniformidad	no	sí	Idem.
5. Métodos de riego	no	sí	Sus influencias en la EFR ya están consideradas a través de las eficiencias de conducción y aplicación. En la EAR, independientemente de los efectos sobre todas las eficiencias físicas, puede influir en la productividad, como se verá.
6. Régimen (frecuencia) de riego	no	sí	Idem.

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO Y VARIABLES DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA AGRONÓMICA DE RIEGO

La calidad del agua de riego disponible debe ser considerada en el establecimiento de los parámetros óptimos deseables y de las tolerancias permisibles para todos los rubros que conforman el manejo del riego al nivel de predio y que, complementariamente con los comunes con la eficiencia física, determinan la eficiencia agronómica. El *objetivo de esta exposición* es, justamente, analizar las relaciones entre *calidad de agua y manejo del riego*, aspecto frecuentemente soslayado o mal interpretado en la práctica corriente del diseño y operación del riego. Para ello consideraremos en el orden expuesto en la tabla precedente las variables que se citaron como influyendo en forma específica en la EAR, discutiendo en forma especial la influencia de la calidad del agua en la apreciación de cada una de ellas.

PERDIDAS POR EVAPORACION

Durante la aplicación del agua y hasta su infiltración en el suelo, ocurren inevitables pérdidas por evaporación directa. La magnitud de esas pérdidas está determinada por la capacidad de evaporación potencial de la atmósfera (función de la energía radiante, de la turbulencia, etc.), por el tiempo que la superficie de agua está en contacto con la atmósfera y por la relación de esa superficie con respecto a la extensión unitaria de tierra. En el sistema de riego por superficie, las máximas pérdidas pueden producirse por el método de inundación y las mínimas por el de surcos. En ambos casos, y al ser la cantidad de sales que acompañan al agua la misma, el monto de esas pérdidas influiría, aparentemente, sólo desde el punto de vista cuantitativo, determinando una menor eficiencia de aplicación que afecta en forma igual a la EFR y a la EAR. Ese es el caso general.

La calidad de las aguas de riego podría influir específicamente sobre la EAR, en el caso de aquéllas sobresaturadas de bicarbonatos alcalino-térreos (como ocurre en muchas aguas de subsuelo) e, incluso, aún en las simplemente saturadas. Ambas, durante el período de exposición a la atmósfera, precipitan carbonatos insolubles, debido a la concentración por evaporización, a lo que se agrega, en las sobresaturadas, la acción concurrente de la pérdida CO_2 al ponerse en equilibrio con la presión parcial de ese gas en la atmósfera. Si, además, ese tipo de aguas tiene una concentración relativamente alta de sales sódicas, la precipitación de carbonatos alcalino-térreos puede aumentar peligrosamente la Relación de Adsorción de Sodio e influir, a través de un cambio desfavorable en el estado

de floculación de los coloides de la capa superficial, en la velocidad de infiltración, disminuyéndola. Las últimas porciones de la lámina aplicada serían las de mayor influencia dispersante. Con eso se crearía un círculo vicioso, pues al aumentar el tiempo de infiltración, también lo haría proporcionalmente la magnitud de la pérdida por evaporación.

No obra en nuestro conocimiento referencias en la literatura relativas a este aspecto de la influencia cualitativa de la pérdida por evaporación que sugerimos. Tenemos algunas observaciones personales que fundamentan la hipótesis, pero sería interesante la verificación experimental de sus alcances reales.

Donde sí a las pérdidas por evaporación puede atribuírseles con toda seguridad una influencia específica sobre la EAR, a través de la calidad del agua, es en el caso del riego por aspersión en cultivos sensibles a determinados iones.

El rango general de pérdidas por evaporización, citado para ese tipo de riego, oscila entre el 2% y el 8% de la lámina total aplicada (CHRISTENSEN y DAVIS, 1967), pero en ciertas condiciones, como las descritas por ORIOLANI y GRASSI para Mendoza (1966), pueden llegar al 10%. Agua que no es suficientemente salina como para afectar el crecimiento de las plantas cuando es aplicada directamente al suelo, puede provocar una absorción excesiva por vía foliar de cloruros y de sodio, con los consiguientes efectos de quemaduras en los ápices y bordes de hojas y, por último, defoliación total. A este tipo de daño salino provocado por absorción iónica foliar, son particularmente sensibles los citrus, durazneros, damasco, almendro y nogal (REEVE y FIREMAN, 1967).

En citrus, por ejemplo, se han descrito daños de esa naturaleza con el empleo de aguas con un contenido de 3,7 me/l de Cl y 8,2, me/l de Na (HARDING, 1957) y hasta con sólo 3 me/l de ClNa (EATON y HARDING, 1959). Una forma de disminuir las pérdidas por evaporación, en general, y la absorción salina vía foliar, en particular, es la de regar en las horas de menor insolación. EHLIC y BERNSTEIN (1959) v. gr. citan que con pulverizaciones efectuadas al atardecer, el ingreso de sales a través de las hojas fue de sólo la mitad del constatado para aplicaciones durante el mediodía.

PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA

Desde el punto de vista de la Eficiencia Física de Riego, todo el agua que sobrepasa el nivel de la zona radical activa constituye una pérdida que afecta matemáticamente su valor. Es decir, sería indeseable. Sobre esta base se han desarrollado, y se siguen buscando, técnicas de manejo del riego para minimizar esta fuente de ineficiencia física.

Otro es el enfoque a adoptar en la consideración de las pérdidas por percolación profunda, si el objetivo que se tiene por delante es optimizar la Eficiencia Agronómica del Riego. En efecto, la cantidad y calidad de las sales que acompañan al agua de riego, determinan la necesidad de una pérdida forzosa por percolación profunda, como requisito indispensable para asegurar la continuidad productiva del predio, evitando la salinización y/o sodificación del suelo. A esto apunta la expresión "*producción sostenida*", que hemos usado en la definición de EAR.

La pérdida por percolación profunda, esta "*eficiente ineficiente*", como paradójicamente podríamos llamarla, necesita, en ciertos casos, ser mayor que la que ocurre espontánea e inevitablemente como consecuencia de un determinado manejo del riego. En esas circunstancias hay que provocar de intento, como un mejoramiento en dicho manejo, mayores pérdidas, es decir, la disminución de la EFR en aras de un aumento de la EAR.

En cambio, cuando las pérdidas por percolación profunda son mayores que las calculadas como necesarias para la EAR, son estas últimas las que constituyen la meta a conseguir a través del mejoramiento en el manejo.

Cuando las pérdidas por percolación profunda son mucho mayores que las consideradas necesarias a los fines del balance salino, la EAR puede sufrir un mayor deterioro que la EFR. Eso es consecuencia de la influencia cualitativa del lavado excesivo, significada por el empobrecimiento de nutrimentos solubles, en especial nitratos.

A continuación se considerarán por separado los diferentes aspectos de las pérdidas por percolación profunda, que vinculan la calidad del agua con la eficiencia agronómica del riego.

PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA Y REQUERIMIENTOS DE LAVADO PARA LA SALINIZACION DEL SUELO

1. *La salinización por el agua de riego*

El empleo de un agua de riego con el 100% de "Eficiencia Física" en lo relativo a pérdidas por percolación profunda, provocará inexorablemente la salinización de la capa de suelo explorada por las raíces. La velocidad con que se cumpla este proceso será directamente proporcional a la concentración salina del agua y al consumo evapotranspiratorio, e inversamente proporcional al espesor de suelo considerado y a su peso específico aparente.

Eso podemos formularlo así:

$$\text{Incremento Salino} \quad \text{Cr (kg/m}^3\text{)} \cdot \text{NR (m}^3\text{/10.000 m}^2\text{/año}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

$$\text{g\%o/año} \quad = \quad \frac{\quad}{\text{Ds(m)} \cdot \text{PEA (t/m}^3\text{)}}_s$$

Donde: Cr : concentración salina del agua de riego

NR : necesidad de riego = uso consuntivo menos la lluvia efectiva

Ds : profundidad de suelo considerada.

PEA: peso específico aparente del suelo.

Para tener una idea cuantitativa de las magnitudes en juego, desarrollaremos un ejemplo:

Cr = 0,8 g/l o kg/m³; NR = 7.000 m³/ha/año⁻¹; Ds = 0,5 m;
PEA = 1,25 g/cm³ o t/m³. Sustituyendo en (3), tendremos:

$$\text{Incremento Salino} = \frac{0,8 \times 7.000}{0,5 \times 1,25 \times 10.000 \times 1} = 0,895 \text{ g\%o/año}$$

Si queremos calcular el número de años necesario para, con tal manejo, transformar un suelo no salino en salino (definiendo a este último como conteniendo un mínimo de 2‰ de sales), escribiremos:

Años necesarios para acumular 2‰ de sales = $2 \text{ g\%o} / 0,895 \text{ g\%o año}^{-1} = \text{ca. } 2 \text{ años}$

2. Necesidad de lavado

Para evitar que se cumpla el proceso descrito de acumulación salina, debe *balancearse* la cantidad de sales aportadas por el agua de riego con las exportadas por el agua de drenaje. Llamamos aquí "agua de drenaje" a la que pasa por debajo de un plano convencional que generalmente es el que limita inferiormente la zona de actividad radical. Agua de drenaje, entonces, equivale, para el caso, a "agua de percolación profunda".

El balance salino al que hacemos referencia puede expresarse a través de la siguiente ecuación de conservación:

$$(V_r \cdot Cr) + S_s - (V_d \cdot Cd) - S_p - S_c = 0 \quad (4)$$

Donde: Vr : volumen de agua de riego

Cr : concentración salina del agua de riego

Ss : cantidad de sales disueltas a partir de la fase sólida

Vd : volumen de agua de drenaje

Cd : concentración salina del agua de drenaje

Sp : sales precipitadas en el suelo a partir del agua de riego

Sc : sales absorbidas por el cultivo y exportadas por la cosecha.

Esta ecuación fundamental del balance salino puede parafrasearse así: *Para que un suelo conserve su nivel salino inicial, la suma de sales aportadas por el riego más las disueltas de la fase sólida del suelo debe ser igual a la suma de la eliminada (de la capa de suelo considerada) por el agua de drenaje (= pérdida por percolación profunda), por precipitación y por exportación a través de las cosechas.* En aquellos casos donde la freática puede, por ascenso capilar, aportar a la capa considerada sales provenientes de niveles subyacentes, también debe tomárselas en cuenta.

De lo anteriormente expuesto, se desprende que pérdidas por percolación profunda son indispensables para la Eficiencia Agronómica de Riego y su monto es lo que se denomina "*necesidad de lavado*". En climas, como el mediterráneo, donde la precipitación pluvial se concentra en invierno, toda o parte de esa necesidad de lavado puede ser cubierta por la lluvia. En ese caso, puede considerarse a la eliminación total o casi total de las pérdidas por percolación profunda como una meta al alcanzar para optimizar la Eficiencia Agronómica de Riego. Esto no es, evidentemente, de aplicación para la generalidad de las zonas de riego integral, donde es despreciable el lavado que pudieran efectuar las escasas precipitaciones invernales. Una limitación que vemos en el método de riego por goteo y que proopnemos estudiar en su magnitud real es, justamente, la falta de lluvia invernal. En este nuestro caso, el agua de drenaje necesaria para mantener el balance salino no puede provenir de otra fuente que de la del riego y a costa, justamente, del aumento de la pérdida por percolación profunda y de la consiguiente disminución del valor de la EFR.

3. Relación y requerimiento de lixiviación (USSLR)

En su difundido manual (Richards, ed., 1954), el Laboratorio de Salinidad de Riverside, Estados Unidos de Norteamérica (USSLR), considera despreciables las magnitudes de las sales precipitadas y de las exportadas por los cultivos y no menciona la posibilidad de disolución de compuestos existentes en el suelo. De esa manera la ecuación (4) puede simplificarse así:

$$\boxed{\frac{V_d}{V_r} = \frac{C_r}{C_d}} \quad (5)$$

Es decir que, para mantener estable un nivel de salinidad original, el volumen de agua de drenaje o de percolación profunda que debe perderse, con respecto al volumen total de agua de riego aplicado, es directamente proporcional a la concentración salina del agua de riego e inversamente proporcional a la del agua de drenaje.

Se denomina "Relación de Lixiviación" (RL) al cociente entre V_d y V_r y "Requerimiento de Lixiviación" (RL %) a este mismo cociente expresado en porcentaje.

Por razones de comodidad analítica, en vez de expresar C_r y C_d en concentraciones (g/l o me/l) se lo hace mediante los valores respectivos de conductividad eléctrica específica, magnitud fácil y rápida de determinar y que es directamente proporcional a la actividad iónica de la solución. De esta manera se obtienen las siguientes expresiones:

$$\boxed{RL = C_{Er}/C_{Ed} \text{ y } RL \% = C_{Er}/S_{Ed} \cdot 100} \quad (6)$$

Es importante tener en cuenta que aunque desde el punto de vista cuantitativo el requerimiento de lixiviación es equivalente a las pérdidas por percolación profunda, *esta igualdad no es también cualitativa*, sino en el caso de una *eficiencia de distribución o uniformidad del 100 %*.

Si pretendemos que la RL se cumpla como valor mínimo en cualquier punto de la parcela regada, las pérdidas por percolación necesarias serán tanto mayores cuanto menos eficiente sea la uniformidad de la distribución del agua, es decir, cuanto más *desviaciones puntuales* se registren con respecto al promedio de lámina infiltrada.

4. Análisis crítico de la relación de lixiviación (USSLR)

4.1. Valor de la CED

En la ecuación (6) el valor de LR está determinado por una relación de magnitudes, una de ellas fija y la otra arbitraria. La fija es la C_{Er} , que es el de la salinidad real del agua de riego disponible. La arbitraria es la C_{Ed} , valor que debe ser prefijado en cada caso, de acuerdo con la tolerancia a la salinidad del cultivo considerado.

La mayoría de los datos confiables relacionados con la tole-

rancia relativa de las plantas cultivadas a la salinidad, están basados en técnicas experimentales en las cuales los rendimientos de los cultivos, en condiciones óptimas de fertilidad y manejo agrícola en general, se relacionan con las conductividades eléctricas de los extractos de saturación de parcelas con distinto tenor salino. Del conocimiento de la tolerancia relativa del cultivo del que se trate, puede adoptarse un valor de CEes como máximo a mantener a través de la RL. El criterio del USSLR es el de fijar para la zona inferior de raíces un valor de CEes correspondiente a la que, según las experiencias, provoca un 50 % de reducción en los rendimientos.

El fundamento para tal punto de vista se relaciona con el hecho de que para un perfil texturalmente uniforme y en estado estacionario o de equilibrio, la salinidad crece lineal (REEVE y FIREMAN, 1967) o casi linealmente con la profundidad (RHOADES, 1968), tal como se esquematiza en la Fig. 1.

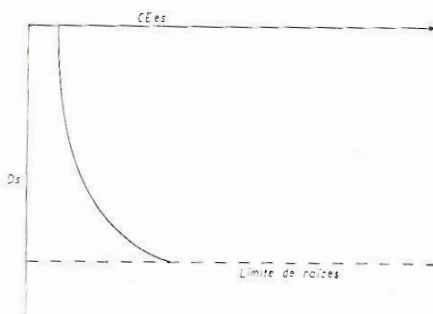


Fig. 1. — Distribución de la CE_{es} con la profundidad en un suelo texturalmente uniforme y en estado de equilibrio riego: drenaje (adaptado de RHOADES, 1968).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, puede permitirse que la CE_{es} por debajo del límite de las raíces llegue hasta el valor correspondiente a una disminución del 50% en los rendimientos, contando que la salinidad en la zona radical no sobrepasará tenores compatibles con rendimientos relativos de, por lo menos, 80 % del máximo asequible en condiciones no salinas (RHOADES, 1968) y para muchos cultivos hasta del 90 % al 95 % (REEVE y FIREMAN, 1967).

Ahora bien: ¿Cuál debiera ser la CE_d para que la CE_{es} en ese mismo plano, o sea el de la parte inferior de la zona radical, sea la prefijada como conveniente?

El criterio del Laboratorio de Riverside es el de asimilar la CE_{es} a la CE_d ; es decir, considera como equivalente ambos valores.

Ya en 1963 NIJENSOHN y OLMOS e, independientemente, BOURMANS *et al.* (1963), consideraron erróneo este planteo desde el punto de vista teórico.

En efecto, el estado de humedad del suelo en la zona de drenaje, cuando éste es libre, corresponde aproximadamente a su Capacidad de Campo (W_c), por lo que su salinidad debiera ser tanto mayor cuanto más amplia es la relación entre la Capacidad de Saturación (W_s) y la W_c . Por consiguiente, si el agua de drenaje estuviese en equilibrio con el agua que permanece en el suelo, o sea la "solución edáfica", la ecuación (6) debiera ser modificada para leerse así:

$$RL = \frac{CE_r}{CE_s W_s / W_c} \quad (7)$$

Pero, en la práctica, la CE_d no está en equilibrio con la solución edáfica sino que su concentración es menor. La explicación de este hecho es la siguiente: durante su pasaje a través del suelo, sólo el agua que se mueve lentamente a través de los capilares finos desplaza, con un efecto llamado "de pistón", a la solución del suelo. Otra fracción del agua en movimiento lento se intercomunica con la solución edáfica y, como consecuencia de los procesos de difusión termodinámica, se pone en equilibrio con ella resultando de eso una concentración promedio. Otra parte del agua de riego pasa rápidamente a través de macroporos, grietas, conductos de raíces, galerías de fauna edáfica, etc., sufriendo poca o ninguna modificación en su salinidad. A eso se agrega desigualdad puntual en la infiltración provocada por diferencias textuales y heterogeneidad en la lámina aplicada.

Todo ello da como resultado que la CE_d no sea la misma que la CE de la solución edáfica en su W_c (CE_c). A la relación entre esos dos valores: CE_d / CE_c se los denomina "*Factor de Eficiencia de Lavado*" (F_1) el que tiene como valor máximo posible el de 1.

Si se conocen V_r , V_d , CE_r y CE_d , puede calcularse el factor de lavado mediante la siguiente fórmula:

$$F_1 = \frac{V_r / V_d}{CE_r / CE_d} \quad (8)$$

Introduciendo el factor de lavado en la (7) se obtiene finalmente la ecuación modificatoria de la original del USSLR, como sigue:

$$RL = \frac{CEr}{CEes \cdot Fl \cdot Ws / Wc} \quad (9)$$

- i) *Valores de Ws/Wc*: De acuerdo al Handbook 60, del USSSLR, el contenido hídrico de saturación es aproximadamente el doble del correspondiente a Capacidad de Campo, o sea que $Ws/Wc = 2$. Nuestra experiencia en suelos de riego de Mendoza y Santiago del Estero nos indica que en texturas dentro del rango de arenosa-franca a franco-limosa, esa relación oscila alrededor de 1,5, por lo que recomendamos ese valor como guía, si es que no se determinan experimentalmente los que corresponden al caso específico planteado.
- ii) *Valores de Fl*: Hay muy escasos datos en la literatura, pues su determinación experimental implica la necesidad de la consecución de equilibrios demorosos y de mediciones que requieren instalaciones adecuadas.

BOUMAHS y VAN DER MOLEN (1965), citados por ZYLSTRA y YAP SALINAS (1969), dan los siguientes valores tentativos:

<i>Texturas</i>	<i>Fl</i>
Franco-limosa y Franco-arenosa	0,5 - 0,6
Franco-limo-arcillosa; Franco-areno-arcillosa y Franca	0,4 - 0,5
Arcillosa	0,2 - 0,3

En ensayos en recipientes con suelo franco-arcilloso y con cultivo de sorgo forrajero, OLMOS, HARDING y NIJENSOHN (1966) obtuvieron valores de "Fl" entre 0,75 y 0,89, según el régimen de lixiviación. Evidentemente, la mayor heterogeneidad textural y las variaciones operativas en condiciones de campo justifican los menores valores de "Fl" de Boumans y van der Molen.

iii) *Producto Ws/Wc . Fl*: Es interesante consignar que la ecuación original del USSSLR (6) encuentra su justificación empírica si se adoptan los valores medios $Ws/Wc = 2$ y "Fl" = 0,5. En ese caso el producto $Ws/Wc \cdot Fl = 1$ y, por consiguiente, las ecuaciones (6) y (9) se hacen iguales. Sin embargo, cuando Ws/Wc se aparta notoriamente de 2 y/o el factor de eficiencia de lavado de 0,5, pueden surgir diferencias no despreciables.

Por ejemplo: Suelo franco-limoso de San Isidro, Santiago del Estero. $Ws = 36 \%$; $Wc = 24 \%$; $CEr = 500$ micromhos; $CEes$ deseada = 4.000 micromhos; "Fl" estimado = 0,4.

$$\text{RL \% según (6)} = \frac{500}{4.000} \cdot 100 = 12,5 \%$$

$$\text{RL \% según (9)} = \frac{500}{4.000 \times 0,4 \times 36/24} = 20,8 \%$$

4.2. *Importancia potencial de las sales solubilizadas del suelo*

La actitud del USSLR al despreciar en su ecuación de RL el término Ss, es decir, las sales solubilizadas por el riego a partir de la fase sólida, se justifica en la generalidad de los casos, pero es teóricamente objetable en otros, especialmente en suelos yesosos que sean regados por aguas que no contengan sulfato de calcio o que lo posean en proporción insuficiente para llegar a saturar la solución del suelo al concentrarse según la relación CED/CEr. En este caso la RL calculada sin tomar en cuenta el valor de Ss pecaría por defecto. En el mismo sentido, pero con menos importancia cuantitativa, obraría la presencia de carbonato de calcio en el suelo.

Ultimamente se ha señalado la posibilidad de que cantidades discretas de Ca + Mg y, con menor importancia, de Na, puedan ser liberadas por meteorización de silicatos relativamente frescos de la fase sólida de los suelos (RHOADES, 1968; NIJENSOHN, 1969). Estas cantidades -3 a 5 me/l, ca.- no son importantes como para modificar el RL relacionado con el balance salino, pero sí pueden serlo como para influir en el RL calculado para el control de la sodicidad, como se verá más adelante.

4.3. *Importancia potencial de las sales precipitadas del agua de riego*

La fórmula de RL del USSLR presupone que el término "Sp" de la ecuación de conservación (4) es despreciable. Pero la aplicación generalizada de este concepto puede llevar a errores considerables de apreciación, especialmente en el caso de aguas yesosas y/o bicarbonatadas calcomagnésicas, cuya salinidad fue ya dividida en "nociva" e "inocua" por NIJENSOHN (1950) y DONEEN (1954).

La influencia de la precipitación de los carbonatos alcalinotérricos es más importante desde el punto de vista de la sodicidad que de la salinidad, y se discutirá más adelante bajo ese aspecto.

Para aguas yesosas, NIJENSOHN (1961) desarrolló un procedimiento de cálculo que corrige el RL de acuerdo al contenido de sulfato de calcio del agua de riego y de su salinidad total. El plan-

teo de los varios casos presentados en aquel entonces, puede simplificarse con la siguiente fórmula que proponemos para el RL:

$$\boxed{RL = \frac{CE_r - CE_{Yr}}{s \quad CE_d - CE_{Yd}}} \quad (10)$$

Donde: CE_{Yr} : conductividad eléctrica correspondiente a los me/l de $CaSO_4$ del agua de riego (ver gráfica en Nijensohn, 1961).

CE_d : CE_{Es} adoptado o, si se conoce "Fl", $CE_{Es} \cdot Fl \cdot W_s / W_c$.

C_{Yd} : CE del yeso en el agua de drenaje = $CE_{Yr} \cdot CE_d / CE_r \approx 2.200$ micromhos/cm.

C_{bd} : $CE_{br} \cdot CE_d / CE_r \approx 900$ micromhos/cm.

Una ecuación similar puede establecerse para corregir la RL, previendo la precipitación de los bicarbonatos alcalinotóxicos:

$$\boxed{RL = \frac{CE_r - (CE_{Yr} + CE_{br})}{s \quad CE_d - (CE_{Yd} + CE_{bd})}} \quad (10 \text{ bis})$$

PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA Y REQUERIMIENTOS DE LIXIVIACION PARA EVITAR LA SODIFICACION DEL SUELO

La peligrosidad sódica de las aguas de riego, es decir, su tendencia a provocar un aumento en la proporción del sodio adsorbido por el suelo con todas las implicaciones deletéreas que para la productividad esto significa, se juzga generalmente a través de la conocida regresión entre el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS). Pero como esta regresión empírica se ha establecido para la RAS determinada en el extracto de saturación, su aplicación a las aguas de riego únicamente es válida en condiciones de equilibrio estacionario, es decir, cuando la composición del agua de riego y la solución del suelo son prácticamente iguales.

La RAS del agua de riego, ya convertida en solución del suelo, va modificándose de acuerdo con el régimen de riego adoptado. Las causas de esa modificación, que puede afectar desfavorable o favorablemente al PSI del suelo, son básicamente las siguientes: i) efectos directos de la concentración sobre la RAS; ii) efectos indirectos de la concentración sobre la RAS: precipitación de sales de Ca y Mg

medianamente solubles y iii) disolución de sales de los minerales del suelo. Conociendo para un determinado complejo agua: suelo: planta los valores correspondientes a cada uno de los procesos modificatorios de la RAS original del agua y la tolerancia del cultivo al PSI, puede plantearse un manejo del agua que evite sobrepasar este último límite. Este manejo consiste en lograr una determinada Relación de Lixiviación que, aunque basada en otras premisas y tendientes a otros objetivos que la anteriormente discutida, implica también una necesaria pérdida por percolación profunda. Es decir, estaríamos en otro caso más donde una disminución de la EFR es necesaria para el aumento de la EAR.

Al RL tendiente a controlar el PSI en el suelo lo denominaremos RL_{Na} para distinguirlo del RL comúnmente empleado, el que podría especificarse como RL_s . El valor de la RL_{Na} puede ser menor, igual o mayor que la RL_s ; en este último caso es donde la importancia de su cálculo trasciende a la práctica del manejo del riego.

1. *Efectos de concentración sobre el RL_{Na}*

La forma de la ecuación de la RAS — $RAS = Na / (Ca + Mg)^{1/2}$, todo en me/l— hace que el efecto de la variación total de concentración sobre el valor de las RAS pueda calcularse así:

$$\boxed{RAS_d = RAS_r (n)^{1/2}} \quad (11)$$

Donde: RAS_d : relación de adsorción de sodio del agua de drenaje

RAS_r : relación de adsorción de sodio del agua de riego

n : concentración del agua de riego/concentración del agua de drenaje

Siguiendo un razonamiento análogo al planteado para la RL_s puede llegarse a la siguiente fórmula simplificada:

$$\boxed{RL_{Na} = \left(\frac{RAS_r^2}{RAS_d} \right)} \quad (12)$$

Para ejemplificar, tomaremos un agua cuya interpretación seguiremos a través de las sucesivas etapas de nuestro razonamiento:

Agua de Riego: Santiago del Estero

Datos analíticos (Laboratorio de la C. R. D.)

	me/l		me/l
CO ₃	—	Ca	1,76
CO ₃ H	2,91	Mg	0,56
Cl	1,20	Na	4,12
SO ₄	1,61	K	0,16
		Suma de cationes . .	6,60
		CE, micromhos /cm	669
		RAS	3,8

Estableciendo como valores de salinidad y sodicidad tolerables una CE_d = 4.000 micromhos/cm, una ARS_d = 10 (correspondiente a un PSI = 12), calcularemos para esa agua los respectivos Requerimientos de Lixiviación, según las fórmulas simplificadas (6) y (12).

$$LR_s = \frac{669}{4.000} \cdot 100 = \underline{\underline{16,7 \%}}$$

$$LR_{Na} = \left(\frac{3,8}{10}\right)^2 \cdot 100 = \underline{\underline{14,4 \%}}$$

En este caso, el requerimiento de lixiviación salina cubriría aparentemente, también el de protección contra la sodificación del suelo.

2. *Efectos de la precipitación de sales de calcio y magnesio en la RL_{Na}*

En aguas de riego que contienen como combinaciones hipotéticas carbonatos y/o bicarbonatos de Ca y Mg y/o sulfato de calcio, debe considerarse la limitada solubilidad de esas sales como un factor modificador de la RAS de la solución del suelo durante la concentración que se opera a través del proceso evapotranspiratorio y del manejo de riego adoptado.

i) *Efectos de la precipitación de Ca+Mg como Bicarbonatos.* La solubilidad de Ca y Mg como bicarbonatos depende de la presión Parcial de CO₂ en la atmósfera del suelo —generalmente 10

veces mayor que en la exterior— y de la fuerza iónica de la solución edáfica. Datos recogidos en la literatura (Plá, 1968) y de muestra propia experiencia, nos indican como *valor máximo medio* el de 10 m/l.

Tomando a ese valor como el límite a encontrar en el agua de drenaje, la concentración de Na permisible en el agua de percolación profunda (Nad), en función de una RASd deseada, puede establecerse con la siguiente fórmula que proponemos:

$$\boxed{\text{Nad} = \text{RASd} (\text{CaBd}/2 + \text{CaAd}/2)^{1/2}} \quad (13)$$

Donde: CaBd : bicarbonatos de Ca + Mg en agua de drenaje =
 bicarbonatos de Ca + Mg en el agua de riego x
 "n" . "n" (factor de concentración por RAS) =
 RAS
 (RASd/RASr)².

El valor máximo-límite de CaBd es 10 me/l.

CaAd : otras sales de Ca + Mg en el agua de drenaje =
 exceso de Ca + Mg sobre bicarbonatos en el
 agua de riego x "n". *No tiene valor límite*, salvo
 la existencia de yeso, como se verá luego.

Combinando (13) con la ecuación de conservación para Na:

$$\text{Vr} \cdot \text{Nar} = \text{Vd} \cdot \text{Nad},$$

proponemos una fórmula simplificada para calcular el RL % pa-
 Na

ra aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas que establece:

$$\boxed{\text{RL}_{\text{Na}} = \frac{\text{Nar}}{\text{RASd} \cdot (\text{CaBd}/2 + \text{Yd}/2 + \text{CaAd}/2)^{1/2}}} \quad (14)$$

Aplicando esta fórmula al agua de nuestro ejemplo, se tiene:

$$\text{RL}_{\text{Na}} \% = \frac{4,12}{10 (5 + 0)^{1/2}} \cdot 100 = 22,36 \%$$

Quiere decir que, para una misma agua, el RL % crece del
 Na

14,7 % al 22,36 % cuando se toma en consideración la precipitación de carbonato de calcio que puede tener lugar durante la concentración por evapotranspiración y, en este caso, el RL_s calculado

(16,7%) resulta insuficiente para mantener el nivel de sodicidad por debajo del deseado.

ii) *Efectos de la precipitación de Ca como CaSO* 4. La precipitación de calcio como yeso, durante la concentración del agua de riego en el suelo, es un fenómeno que ocurre frecuentemente en la región cuyana, donde son comunes las aguas selenitosas.

La introducción de este factor modificatorio dentro de la RL

Na

puede hacerse siguiendo el mismo procedimiento que el que hemos empleado para los carbonatos. En este caso deberemos tener en cuenta que la solubilidad límite del yeso es, aproximadamente, 31 me/l.

Por tanto, para un agua que contenga tanto bicarbonatos como sulfato de calcio, formularemos así:

$$\boxed{\text{RL}_{\text{Na}} = \frac{\text{Nar}}{\text{RASd.} \left(\frac{\text{CaBd}}{2} + \frac{\text{CaAd}}{2} \right) \frac{1}{2}}} \quad (15)$$

Donde: CaBd : lo mismo que en (14)

Yd : $\left((\text{Ca} + \text{Mg})_r - \text{CO H}_r \right) \frac{1}{3}$ ("n" ("n" como en (14)).

Es el yeso que puede haber en el agua de drenaje.

El valor límite máximo para Yd es 31 me/l.

CaAd: Es el resto de las sales de Ca+Mg en el agua de drenaje = exceso de Ca+Mg en el agua de riego respecto de: $\left(\text{SO}_4 + \text{CO H} \right) \frac{1}{4} \frac{1}{3}$. No tiene valor límite.

Ejemplo: La ecuación (15) no es aplicable al agua de Santiago del Estero pues ella no contiene yeso. La usaremos en esta otra agua:

Agua de Riego: El Salado, Las Lajas, San Juan

Datos analíticos (Instituto de Suelos y Riego, F. C. A.)

	me/l		
CO	---		
3			
CO H	4,70	me/l	
3		Ca	6,70
		Mg	4,90
Cl	7,00	Na	20,40
SO	20,30	Suma de iones	32,00
4			
		CE, micromhos/cm	3,031
		RAS	8,5

Como se trata de una propiedad con cultivo de vid, que es medianamente tolerante a la salinidad, fijamos un valor límite de 6.000 micromhos para la CED y, considerando la profundidad de arraigamiento y la posibilidad de mantener floculados los coloides por la salinidad a pesar de un PSI relativamente alto, se fija la RASd en 18, lo que corresponde a un PSI = 20 me %.

Calcularemos los requerimientos de lixiviación para el control de la salinidad y para la sodicidad aplicando las fórmulas (6) y (15)

$$LR_s \% = \frac{3031}{6000} \cdot 100 = 50,5 \% \quad , \quad \text{según (6)}$$

$$LR_{Na} \% = \frac{20,4}{i8 \cdot (5 + 15,35)^{\frac{1}{2}}} \cdot 100 = 25,1 \% \quad , \quad \text{según (15)}$$

Cálculos parciales:

$$\begin{aligned} n &= (18/8,5)^2 = 4,45 \\ CaBd/2 &= 4,7 \times 4,45/2 = 5, \quad \text{por límite máximo} \\ Yd/2 &= 6,9 \times 4,45/2 = 15,35 \end{aligned}$$

En el caso de esta agua, la RL calculada para el control de la salinidad es suficiente para mantener el PSI del plano inferior de raíces en el límite prefijado de PSI = 20 me%g, pero hubiera sido insuficiente para asegurar un PSI menor de 14 me%g. En general, es mucho más probable que RL supere a RL en aguas poco

Na s

salinas, bicarbonatas, que en aguas salinas yesosas.

3. *Efectos de las sales disueltas de los minerales del suelo en la RL* Na

Tres tipos de compuestos en el suelo pueden dar lugar a la liberación de Ca, Mg y Na modificando la RL Ellos son:

Na.

i) *Carbonatos alcalinotérreos.* Su acción sólo se puede manifestar en el caso de que el agua de riego empleada no tenga suficientes bicarbonatos como para saturar el agua de drenaje. Si así ocurriera, se puede utilizar la ecuación (14), colocando el valor máximo de CaBd/2, o sea 5, en el denominador.

ii) *Yeso.* Se puede aplicar el mismo criterio que al caso anterior, pero referido al sulfato de calcio en el agua de riego. Se utiliza la ecuación (15), dándole el máximo valor a Yd/2, es decir, 15,5.

iii) *Silicatos complejos*. Tal como se señaló anteriormente (4.2.), hay evidencias de que en suelos de zonas áridas y semi-áridas donde existen minerales frescos y relativamente fáciles de meteorizar, se pueden liberar cantidades apreciables de cationes.

Rhoades *et al.* (1968) encontraron que los lixiviados de 6 suelos, con sólo trazas de CO_3Ca o con un máximo de 1,2%, obtenidos haciendo pasar, hasta alcanzar el equilibrio, aguas sintéticas de distintas RAS logradas con mezclas de ClNa y Cl_2Ca , contenían

incrementos de $\text{Ca}+\text{Mg}$ y de Na que iban desde 2,7 me/l hasta 5,4 me/l. Es interesante que estos índices, para cada suelo, eran independientes de la calidad del agua utilizada.

Del rango mencionado, la mayor parte corresponde a $\text{Ca}+\text{Mg}$ (2,3 me/l a 4,0 me/l) y el resto a Na ; el incremento de K no pasaba de 0,2 me/l. En esta forma, se operaba una disminución del RAS del efluente con respecto al agua de riego utilizada, disminución que era tanto más manifiesta cuanto menos salina era el agua.

Rhoades atribuye este hecho a una "meteorización in situ" de minerales del suelo y le asigna importancia en cuanto al cálculo del RL_{Na} .

NIJENSOHN (1969, inéd.) informó también sobre la posibilidad de que tal hecho ocurriera como una forma de interpretar la disminución de RAS de extractos de suelo salino-sólidos, sin reserva aparente de yeso y de calcáreo dosable, en suelos del área del proyecto del río Dulce.

Los datos de Rhoades, sin embargo, sugieren que la mayor parte, por no decir la totalidad, de los cationes $\text{Ca}+\text{Mg}$ liberados lo han sido a partir de carbonatos. El no menciona específicamente este hecho, pero él se desprende del análisis de los cuadros que acompaña en su trabajo.

Esto estaría de acuerdo con la tesis sostenida por Nijensohn, (op. cit.) que los principales responsables del Ca y Mg liberados durante los lavados provienen de la disolución del CO_3Ca muy fino, originado por la precipitación desde aguas de riego o freáticas.

En este caso, no es probable que ese $\text{Ca}+\text{Mg}$ pueda influir en los cálculos de RL_{Na} cuando se trate de un suelo bajo riego normal

y con aguas que contengan de por sí bicarbonatos de calcio y magnesio. El efecto no podrá ser mayor que el de saturar la solución, como ya se tomó en cuenta en la ecuación (14). Por lo tanto, no se justificaría modificar la ecuación de LR_{Na} para incluir el $\text{Ca}+\text{Mg}$ presuntamente movilizables del suelo.

Cuando sí puede tener gran importancia esa fuente de $\text{Ca}+\text{Mg}$ es en las operaciones de recuperación de suelos salino-sódicos, donde no se alcanza a producir la concentración de las aguas de

riego hasta el punto de saturarse con su propio bicarbonato. El que se solubilice en forma adicional desde el suelo disminuirá la RAS de la solución en equilibrio con el suelo y contribuirá, probablemente, a desodificarlo parcialmente.

En ensayos que hemos hecho con el equipo técnico de la C. R. D. hemos recogido datos que confirmarían tal hipótesis.

LA RELACION DE LIXIVIACION OBSERVADA Y LA EFICIENCIA DE RIEGO EN FUNCION DE LA PERCOLACION PROFUNDA

Si bien el requerimiento de lixiviación no es idéntico, como promedio parcelario, a las pérdidas por percolación profunda (salvo cuando la eficiencia de distribución es del 100%), sí lo es en forma puntual. Esto permite establecer una relación entre el RL realmente observado —calculado a partir de la CE_r y de la CE_{es} (considerada esta última como equivalente a la CE_d) del suelo en equilibrio con esa agua— y la eficiencia parcelaria o de aplicación como función de la percolación profunda, es decir, considerando constantes la evaporación y el escurrimiento al pie: (E_a)

ev, e .

La ecuación que proponemos reza:

$$(E_a) = \frac{100 \cdot (1 - CE_r/CE_{es})}{ev, e} \quad (16)$$

Donde la CE_{es} corresponde a la del plano inferior de la capa de suelo considerado. En los casos de agua de riego y/o suelos yesosos, se reemplazará CE_r/CE_{es} por la RL según fórmula (10).

Ejemplo de aplicación: En un cultivo de trigo de la zona de Beltrán, en Santiago del Estero, se observaron áreas normales y otras cloróticas con crecimiento disminuido. Se formularon dos hipótesis etiológicas antes de los análisis: efectos de salinidad-sodicidad o deficiencia nutricia (N). Los datos disponibles fueron: *Agua de riego:* $CE = 400$ micromhos/cm; Salinidad-sodicidad del suelo a 30-60 cm: *Lugar normal*, $CE_{es} = 810$ micromhos/cm y $PSI = 1,5$; *Lugar clorótico*, $CE_{es} = 480$ micromhos/cm y $PSI = 0,2$. Mediante la introducción en la ecuación (16) de los valores respectivos, se obtuvieron las siguientes eficiencias de aplicación de riego: *Lugar normal*, $E_a = 50,6\%$; *Lugar con trigo clorótico*, $E_a = 16,7\%$. Los resultados indicaron que la hipótesis del lavado de nitratos era la más probable. Respuestas a nitrógeno, aplicado como sulfato de amonio, confirmaron la hipótesis.

Además de una orientación en problemas de fertilidad, ligadas a pérdidas por percolación profunda, la fórmula (16) que propone-

mos puede ser de mucha utilidad en la evaluación del manejo de riego, en general.

INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN OTROS ASPECTOS DEL MANEJO DEL RIEGO QUE DETERMINAN LA EAR

Si bien, por razones de espacio disponible, no nos extenderemos sobre el particular, mencionaremos suscitadamente los aspectos más esenciales que relacionan a la calidad del agua de riego con las variables del Cuadro N° 1, determinantes de la EAR, y que aún no fueron consideradas.

1. *Eficiencia de Almacenaje* (E_{al})

Es la relación entre el contenido hídrico de la capa de suelo considerada, después del riego, y el correspondiente a la capacidad de campo de esa misma capa. Una baja E_{al} puede ser resultado de la acción individual o concurrente de: i) Elevadas pérdidas por percolación profunda; ii) error en la estimación del umbral de riego y por lo tanto, de la lámina teórica de reposición y iii) error en la lámina realmente aplicada.

Una E_{al} menor del 100%, cuando no está acompañada de D_p , puede ser compatible con una EFR del 100%, pero generalmente determina una disminución en la EAR.

Cuanto más salina y/o sódica sea un agua, tanto mayor será el efecto depresivo de una menor E_{al} pues las acumulaciones salinas se producirán dentro de zona radical activa.

2. *Eficiencia de Distribución* (E_d)

También llamada "eficiencia de uniformidad", es la medida de los desvíos puntuales de la profundidad mojada con respecto al promedio general.

Aunque no afecta directamente a la EFR (sólo actúa indirectamente a través de la eficiencia de aplicación), sí es de gran importancia en la EAR, en especial con el uso de aguas salinas. Cuando la $E_d = 100\%$, entonces D_p se hace igual a la RL correspondiente. En caso contrario, podrán existir áreas dentro de la parcela, donde D_p es mayor que RL y otras donde D_p es menor que RL. Esto se reflejará en los rendimientos de los cultivos que presentarán manchas de afección salina y/o sódica. Cuando D_p es mucho mayor que RL, podrán no existir manchones salinos, pero en ese caso es probable la disminución de la EAR por problemas de deficiencias de fertilidad.

3. *Métodos de Riego*

Ya mencionamos los problemas que puede ocasionar la aspersión de aguas con contenidos aún relativamente bajos de CINA en especies sensibles.

Cada método de riego, bien manejado, puede acercarse a la máxima EFR, pero la EAR requiere precauciones especiales, independientemente de las necesarias para los distintos tipos de eficiencia descritos. En el riego por surcos, por ejemplo, la tendencia a la acumulación salina en las crestas debe ser neutralizada con un desplazamiento metódico de ellos. En el riego por goteo, el peligro de la formación del frente salino por excesiva eficiencia de percolación o de la acumulación superficial por inversión del flujo (I. MARCHEVSKY, comunicación personal), debería ser compensada por lavados periódicos por inundación en climas como el nuestro, de insuficiente precipitación invernal.

4. *Régimen (frecuencia de riego)*

La frecuencia de riego está determinada por el límite mínimo de agua disponible que demuestra ser el de mayor EAR para el cultivo de que se trate.

El empleo de aguas salinas, al disminuir el potencial hídrico con una energía negativa de tipo osmótico, obliga a una mayor frecuencia, la que deberá ser establecida en cada caso particular según la calidad del agua y el cultivo de que se trate.

RESUMEN

1. Se propone como finalidad del "Manejo Optimo del Riego" el de la máxima "Eficiencia Agronómica", concepto éste que se define diferenciándolo de la acepción común de eficiencia, a la que se designa como "Eficiencia Física".

2. Se discute la influencia de la calidad del agua de riego con relación a las diferentes variables que determinan la Eficiencia Agronómica del Riego y se establecen normas de manejo para evitar los peligros de salinización y/o sodificación o de pérdidas excesivas de nutrimentos solubles de los suelos. Estas normas se cuantifican en ecuaciones que consideran la cantidad y calidad de las sales en las aguas empleadas y los límites de tolerancia admisibles según cultivos.

3. Se propone un método indirecto para determinar las pérdidas por percolación profunda y la eficiencia de aplicación resultante a partir del conocimiento de las conductividades eléctricas del agua de riego y del extracto de saturación del suelo.

LITERATURA CITADA

- BOUMAN, J. H., W. C. HULSBOS, H. L. J. LINDBERG AND P. M. VAN DER SLUIS. 1963. "Reclamation of salt affected soils in Iraq", International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publ. 11, Wageningen, Holanda.
- CHRISTIANSEN, J. E. AND J. R. DAVIS. 1937. "Sprinkler Irrigation systems", en "Irrigation of agricultural lands", chapter 44, Monograph Number 11, Agronomy, American Society of Agronomy, Wisconsin, U. S. A.
- DONEEN, L. L. 1954. "Salinization of soil by salts in irrigation water", Amer. Geophys. Union, Trans. 35 : 943 - 950.
- EATON, F. M. AND R. B. HARDING. 1959. "Foliar uptake of salt constituents of water by citrus plants during intermittent sprinkling and immersion", Plant Physiol. 34 : 22 - 26.
- EHLIG, C. E. AND L. BERNSTEIN. 1959. "Foliar absorption of sodium and chloride as a factor in sprinkling irrigation", Amer. Soc. Hort. Sci. Proc. 74 : 661 - 670.
- GRASSI, C. J. 1968. "Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación de proyectos", C.I.D.I.A.T., Documento N° 53, Mérida, Venezuela.
- NIJENSOHN, L. 1950. "Calidad de aguas para riego: interpretación de análisis", Inst. Invest. Tecnol. Agropec., Informes Inéditos, Mendoza, Argentina.
- . 1961. "Calidad de las aguas para riego", en "Riego y Drenaje", Cap. IV, pp. 167 - 205, Inst. Tecnol. Agropec., Buenos Aires, Argentina.
- y F. S. OLMOS. 1963. "Cálculo del Requerimiento de Lixiviación de aguas salinas de riego", Confer. Latinoam. Est. Zonas Aridas, Comun. Resúm. Trab.: 78 - 80, Buenos Aires, Argentina.
- . 1969. "Primer Informe Periódico del Experto de Suelos", Proyecto Río Dulce, C. R. D., Santiago del Estero, Argentina (inédito).
- OLMOS, F. S., R. B. HARDING y L. NIJENSOHN. 1966. "Comprobación de la Fórmula del Requerimiento de Lixiviación en condiciones de invernáculo", Rev. Fac. Ciencias Agrarias XIII (1 - 2) : 42 - 56, Mendoza, Argentina.
- ORIOLANI, M. J. y C. J. GRASSI. 1963. "Eficiencia del riego por aspersión", IDIA N° 180, Inst. Nac. Tecnol. Agropec., Buenos Aires, Argentina.
- PLA, SENTIS, I. 1968. "Calidad de aguas de riego y requerimientos de drenaje". Seminario Latinoamericano de Irrigación - Memorias. Caracas.
- REEVE, R. C. AND M. FIREMAN. 1967. "Salt problems in relation to irrigation", en "Irrigation of agricultural lands", chapter 51, Monograph Number 11, Agronomy, Amer. Soc. Agron., Wisconsin, U. S. A.
- RHOADES, J. D. 1968. "Leaching Requirement for Exchangeable-Sodium Control", Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32 (5) : 652 - 656.
- , D. B. KRUEGER AND M. J. REED. 1968. "The effect of soil-mineral weathering on the sodium hazard of irrigation waters", Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32 (5) : 643 - 647.
- RICHARDS, L. A., editor. 1954. "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils", U.S.D.A., Handbook 60, Washington, D.C.
- ZYLSTRA, G. y H. YAP SALINAS. 1969. "Control de la salinidad y drenaje en áreas bajo riego", II Curso Nac. Drenaje de Tierras Agrícolas, Tomo II, Cap. 4, CENDRET, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.