

SALINIDAD DEL SUELO: SU DINAMICA EN CULTIVOS REGADOS POR PULSOS Y POR RIEGO TRADICIONAL.

Carlos Mirábile¹, José Morábito¹⁻², Graciela Fasciolo¹⁻², Hugo Loustaunau¹

¹ Instituto Nacional del Agua y del Ambiente, Belgrano (oeste) 210 (5500) Mendoza, Argentina, Telefax : 0261-428 8251. E-mail: cra@ina.gov.ar

² Docentes e investigadores de la FCA - UNCuyo

RESUMEN

El estudio tiene por objeto determinar y analizar la dinámica de las sales en el suelo en cultivos regados por pulso y por riego superficial tradicional, y determinar si la conductividad eléctrica final (CE F) del suelo está relacionada con el método de riego. En el riego por pulso el agua se aplica en forma intermitente.

Las fincas seleccionadas se encuentran en los oasis cultivados de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior. Se eligieron fincas que poseen ambos sistemas de riego y lo utilizan en un mismo cultivo, los cuales fueron vid, olivos, frutales y hortalizas.

El esquema metodológico consistió en tomar al azar en cada tipo de riego (pulso y tradicional) dos surcos, dividirlos en tres sectores (cabeza, medio y pie) y extraer muestras de suelo en dos estratos (profundidades de 0-40 y 40-80 cm). Las muestras de suelo se obtuvieron al inicio y final del ciclo de cada cultivo, y se les determinó en laboratorio, conductividad eléctrica (CE) por el método de la pasta saturada, midiéndose la misma en micromhos/cm a 25°.

Se han confeccionado a partir de una base de datos, tablas que muestran las variaciones de salinidad operadas en cada tipo de riego, expresadas en valor absoluto y en porcentaje, tanto para el perfil completo como para cada estrato de muestreo analizado.

Sobre la totalidad de los datos obtenidos (384 muestras) se aplicó un modelo de regresión múltiple, en donde la salinidad final (CE F) es función de la salinidad inicial (CE I) y del método de riego (pulso y tradicional).

La función que mejor se ajusta es la lineal; el estimador β_1 (salinidad inicial) es significativamente diferente de 0 (cero) $-(\text{prob}>|t| = 0,0001)$ -, mientras que β_2 (método de riego) no lo es $(\text{prob}>|t| = 0,376)$. Por esto último se interpreta la CE F del suelo no está relacionada con el método de riego.

Al ser β_1 significativamente menor que 1, se considera que ambos tipos de riego provocan desalinización.

La diferencia porcentual entre CE F e inicial no está asociada al tipo de riego, ni en cabeza, ni en medio, ni en pie. Estos cambios en la CE no presentan comportamiento homogéneos dentro de las fincas

INTRODUCCIÓN

Es sabido que el recurso hídrico de la provincia de Mendoza como el de todo el oeste argentino es la limitante fundamental de la expansión agrícola y esto es cada día más grave en función del aumento sostenido de la demanda de dicho recurso para uso industrial y humano.

En virtud de esto los agricultores se han visto obligados a ser mucho más eficientes en el uso del agua, adoptando nuevos sistemas de riego que permiten una mayor eficiencia en cuanto a forma y oportunidad de suministrar agua a las plantas. El riego por pulsos es uno de ellos y si bien no es el más eficiente de todos, debido a su relación de costo-beneficio está siendo muy utilizado en nuestro medio. En este riego descrito por primera vez por Stringhan y Keller en 1979 (Walker and Skogerboe, 1987) el agua se aplica a la unidad de riego (surco o melga) en forma intermitente de acuerdo a un programa pre establecido de caudales y tiempo de aplicación.

Es sabido que los sistemas de riego tradicionales por superficie (surcos, melgas etc.) traen aparejadas una determinada ineficiencia (generalmente por exceso), inherentes a su forma de aplicar el agua. Dicha ineficiencia generalmente es menor que la determinada, si se considera que parte de ese exceso pasa a conformar el exigido requerimiento de lixiviación, necesario para lavar del perfil las sales aportadas por el agua de riego. Este requerimiento de lixiviación es poco considerado y menos aún calculado por los agricultores, de todas maneras en los riegos tradicionales por superficie es por lo general aplicado en forma inconsciente.

El balance hídrico salino realizado por Mirábile (1985) en el área regada por el Río Tunuyán Medio (riego superficial tradicional), determinó que se aplicaban láminas de riego superiores a las necesarias cumpliendo en exceso con los requerimientos de lixiviación (desalinización). No obstante ello en las zonas bajas con freática cercana a la superficie se presentaban problemas de salinidad.

La introducción de nuevos sistemas de riegos que aplican el agua con mayor eficiencia, trae aparejado el riesgo que, de no tenerse en cuenta el plus necesario para el requerimiento de lixiviación, su alta eficiencia de aplicación podría salinizar los suelos.

Varios investigadores han realizado estudios sobre el comportamiento de la salinidad en riego por goteo, entre ellos se destacan los trabajos de Castro (1996), quien luego de estudiar, entre otras variables, el comportamiento de las sales en distintas variedades de vid, regadas por goteo y riego superficial, determina un aumento importante de la salinidad del suelo en las vides regadas por goteo. Chambouleyron y otros (1997) llega a conclusiones similares al estudiar la evolución de la salinidad y los nemátodos del suelo, en cultivos regados por goteo. Estos trabajos han generado la discusión sobre las precauciones que deberían tomarse para evitar la salinización paulatina del suelo con sus nefastas consecuencias cuando se riega con métodos muy eficientes.

El riego por pulsos, es un método moderno de riego superficial, que aplica el agua por caudal intermitente, con mayor eficiencia que el riego por superficie tradicional. Es por

eso sumamente importante conocer qué comportamiento se está operando en cuanto a la dinámica de las sales del suelo y compararlo con la del riego superficial tradicional.

Las fincas en estudio se encuentran en la zona de riego de los oasis de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior, en virtud de que ambos ríos tienen totalmente comprometida su dotación y es en su área de influencia donde se ha generalizado el uso de este tipo de riego. Ambos oasis poseen un esquema productivo compuesto por vid, frutales, olivos y hortalizas llegando en conjunto a unas 150.000 ha regadas

El objetivo del estudio es chequear el comportamiento dinámico de la salinidad del suelo en cultivos regados por pulsos y por sistemas de riego por superficie (riego tradicional) y determinar si la Salinidad Final del suelo (CE F) está relacionada con el método de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución del estudio se seleccionaron 10 fincas que poseen los dos sistemas de riego (superficial tradicional y pulsos) y riegan un mismo cultivo por ambos métodos. En la práctica esto significa que tienen algunos sectores o potreros regados por pulsos y otros por riego superficial tradicional, siendo los cultivos involucrados en este estudio: vid, durazneros, manzanos, olivos y hortalizas (ajo, cebolla y tomate).

Para la evaluación se tomaron dos surcos no contiguos regados por pulso y dos regados por el método tradicional, y se extrajeron muestras de suelo al 25-50 y 75 % de su longitud, denominándose a dichos sitios cabeza, medio y pie de la unidad de riego respectivamente.

En una profundidad de perfil muestreado de 80 cm, se obtuvieron muestras de dos estratos (0-40 cm y 40-80 cm). Se utilizó para ello una pala barreno y la totalidad de suelo extraído en cada barrenada conformó la muestra a analizar en laboratorio.

A su vez se determinaron dos momentos de extracción de muestras en cada una de las fincas, al inicio del ciclo del cultivo y sobre el final del mismo. Estos momentos son diferentes para cada cultivo en función de la duración de su ciclo vegetativo.

A los fines prácticos se colocaron estacas en cada sitio muestreado con el objeto de identificar perfectamente el lugar y así asegurar la obtención de las muestras de final de ciclo, exactamente en los mismos lugares en que fueron extraídas la de inicio.

En laboratorio y por el método del extracto de saturación (pasta saturada) se determinó la salinidad del suelo expresada como conductividad eléctrica (CE) en $\mu\text{mhos/cm}$.

Con los resultados obtenidos en laboratorio se confeccionó una base de datos que permitió realizar distintos análisis y un estudio estadístico.

Para conocer la relación existente entre las diferentes variables analizadas: conductividad eléctrica final (CE F), inicial (CE I) y tipo de riego, se realizó un análisis de regresión múltiple, en donde la variable respuesta es la CE F y las variables independientes son la CE I y el tipo de **Riego** como variable indicadora: 0;1 (Pulso: 0 y Tradicional: 1). La finca

fue tratada como bloque por considerar que hay una homogeneidad de manejo del riego en la finca que incide en la salinidad del suelo. El modelo adoptado se expresa de la siguiente manera:

$$CE F = \beta_0 + \beta_1 CE I + \beta_2 \text{Riego}$$

β_1 estima el cambio en la CE Final debido al aumento en i unidad de la CE Inicial.

Se evalúan las siguientes hipótesis :

- β_1 es diferente de 0, o sea que hay relación entre CE Final y CE Inicial
- β_1 es menor que 1, o sea que hay desalinización del suelo (porque la pendiente de la recta resulta menor que 1.
- β_2 es diferente de 0, o sea que hay relación entre CE Final y el tipo de riego.

Si β_2 es significativamente diferente de 0, se interpreta que hay diferencia entre el tipo de riego; en caso de que no lo sea se debe eliminar del modelo de regresión

Se ajustó modelo lineal, potencial (doble logarítmico) y exponencial (semi logarítmico).

Para analizar la CE Final e Inicial en los tres sitios de muestreo (cabeza, medio y pie), se compararon las medias de la diferencia porcentual $DP = ((CE F - CE I) / CE F) \times 100$. Se utilizó análisis de la varianza para cada sitio, considerando a las fincas como bloques y al tipo de riego como tratamiento.

El análisis se realizó para el perfil completo (0-80 cm) y también por estrato (0-40 y 40-80 cm)

Se evaluó la siguiente hipótesis para cada uno de los sitios muestreados.

- Hay diferencias entre las **DP** medias de los dos tipos de Riego.

RESULTADOS

El cuadro n°1 muestra para ambos tipos de riegos (en la totalidad del perfil y por estrato) y en cada sitio muestreado la variación porcentual promedio de la salinidad. También muestra la variación porcentual promedio de la salinidad en todo el surco.

Cuadro 1: Variación promedio porcentual de la salinidad por riego, sitio y estrato

Riego por pulsos – Perfil completo

Profundidad	Fincas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	media
0 - 0.80 m									
cabeza	6,1	-19,0	-50,0	61,8	-17,0	44,1	145,4	-20,0	18,9
medio	25,0	-30,0	-31,5	81,8	-34,7	18,9	-75,2	-57,1	-12,8
pie	28,0	-26,0	-29,0	0,1	-6,8	-11,0	-75,0	-19,4	-17,4
media	19,7	-25,0	-37,0	47,9	-19,5	17,3	-1,6	-32,2	-7,2

Riego por escurrimiento superficial – Perfil completo

Profundidad	Fincas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	media
0 - 0.80 m									
cabeza	37,0	-24,0	-27,0	4,6	-30,9	S/d	-29,7	valor	-11,7
medio	21,0	-41,0	7,0	7,7	-12,8	S/d	72,5	44,8	14,2
pie	-5,6	-43,5	-20,5	-1,0	-38,0	S/d	140,2	99,4	18,7
media	17,5	-36,2	-13,5	3,8	-27,2	S/d	61,0	72,1	11,1

Riego por pulsos – Perfil por estrato

Sector	Fincas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	media
cabeza									
0,00 - 0,40	6,5	-10	-33,5	4,8	-66,2	79,3	195,9	-67,2	13,7
0,40 - 0,80	6	-27,5	-66,5	118,8	32,1	8,9	94,9	27,2	24,2
medio									
0,00 - 0,40	22,5	-41,5	-14,5	29,3	-44,4	-31,4	-67,1	-61,8	-26,1
0,40 - 0,80	27,5	-18	-48,5	134,3	-24,9	69,2	-83,3	-52,5	0,5
Pie									
0,00 - 0,40	45,5	-36,5	-21,5	-23,4	-56,9	-47,2	-83,3	-18,1	-30,2
0,40 - 0,80	10,5	-16	-36	23,7	43,2	25,3	-66,8	-20,7	-4,6

Riego por escurrimiento superficial – Perfil por estrato

Sector	Fincas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	media
Cabeza									
0,00 - 0,40	57	-18	-26	-8,3	-64,9	S/d	-16,4	110,9	4,9
0,40 - 0,80	18	-29,5	-27,2	17,5	3,0	S/d	-42,9		-10,2
Medio									
0,00 - 0,40	18,5	-52	6,5	-50,5	-39,1	S/d	45,5	85,6	2,1
0,40 - 0,80	24,5	-30	7,5	65,9	13,4	S/d	99,4	4,0	26,4
Pie									
0,00 - 0,40	9,5	-51,5	-10	-28,1	-64,4	S/d	195,0	10,4	8,7
0,40 - 0,80	-20,5	-35,5	-31	26,1	-11,6	S/d	85,5	188,5	28,8

El modelo de regresión múltiple que mejor se ajusta es el lineal, obteniéndose la siguiente ecuación

$$CE \text{ Final} = 810,6 + 0,560 CE \text{ Inicial} - 167,02 \text{ Riego} \quad (1)$$

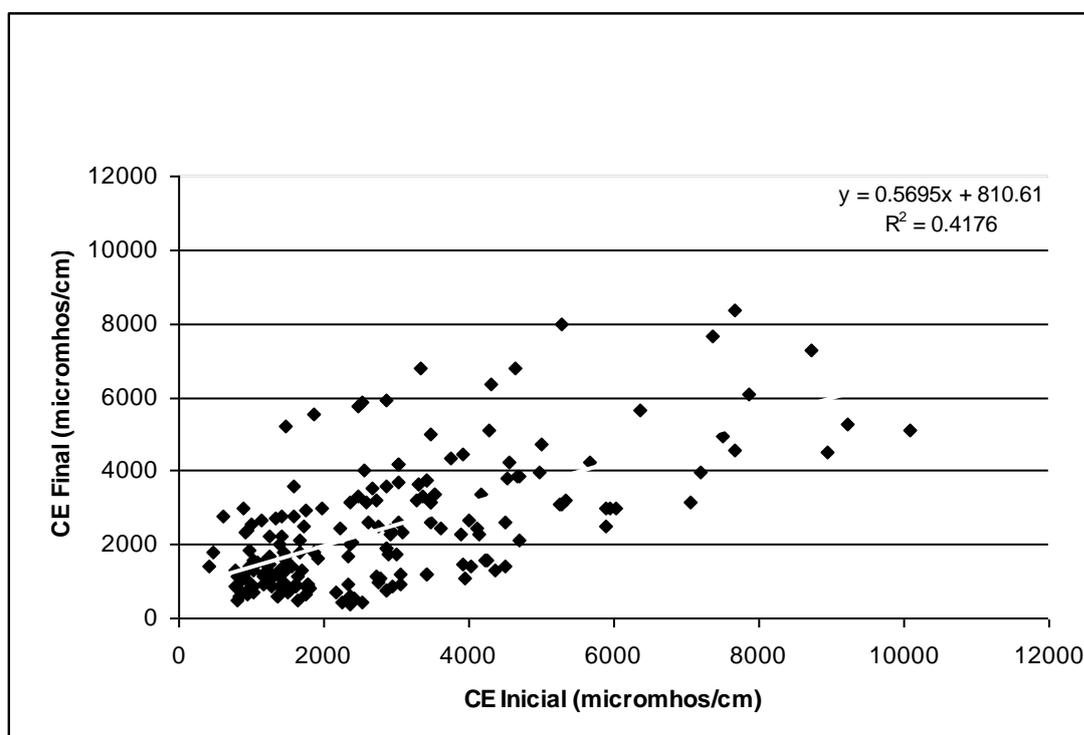
Con $R^2 = 0,413$; el estimador β_1 es diferente de 0 -significativo- ($\text{Prob}>|t|0,0001$), mientras que el estimador β_2 no es significativo ($\text{Prob}>|t|0,376$) por lo tanto no hay

diferencias entre el tipo de Riego (pulso y tradicional) y puede sacarse de la ecuación. Resultando la siguiente

$$CE \text{ Final} = 810,6 + 0,569 CE \text{ Inicial} \quad (2)$$

R^2 es 0,418 (Prob > F = 0,0001), es decir que casi el 42 % de la CE Final está explicada por la CE Inicial. Se interpreta que, en promedio, cuando la CE I aumenta 1000 μmhos , la CE F aumenta 569 (ver figura n°1).

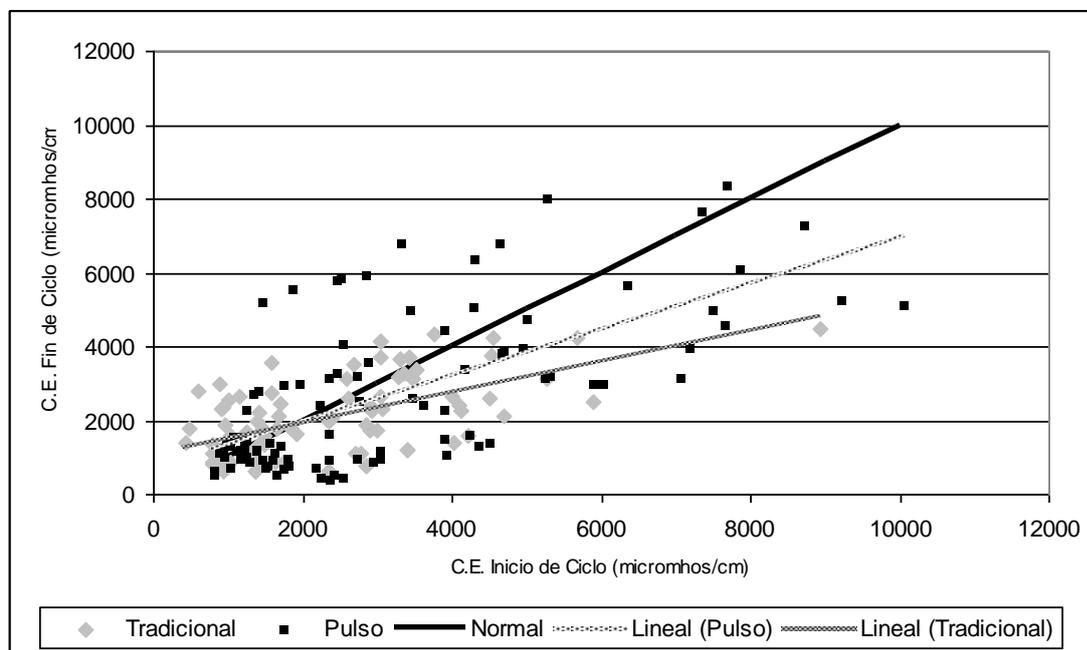
Figura 1: Relación entre conductividad eléctrica final e inicial en riego por pulsos y tradicional



En la ecuación (1), β_1 es significativamente menor que 1, lo que indica que ambos tipos de riego producen desalinización del suelo (esto se puede observar en forma gráfica en la figura 2).

La superposición de los gráficos de dispersión con su correspondiente línea de tendencia, elaborados para cada tipo de riego, y la inclusión de una recta normal (45°) que corresponde a un suelo en el que la CE I y Final son iguales, permite observar que ambas líneas de tendencia se encuentran por debajo de la recta normal, pero la del riego tradicional se aparta más de la normal hacia el eje (x), por lo en este tipo de riego la tendencia a la desalinización es más acentuada (figura 2).

Figura 2: Evaluación comparativa de la salinidad del suelo en riego por pulsos y por escurrimiento superficial (tradicional) período 1999-2001



Analizando para cada tipo de riego las líneas de tendencia por estrato o profundidad de muestreo (0-40 y 40-80 cm), se observa que en los dos tipos de riego la desalinización es siempre más enérgica en la capa superior.

Del análisis de la varianza de las diferencias porcentuales, se obtiene que las diferencias entre las medias del cambio porcentual por tipo de riego (tratamiento) no son significativas en cabeza, en medio y en pie.

- a) DP en cabeza. No se encontraron diferencias significativas ($Pr > F = 0,7103$). Esto confirma el resultado de la regresión para β_2 .
- b) DP en medio. No se encontraron diferencias significativas ($Pr > F = 0,1625$)
- c) DP en Pie. No se encontraron diferencias significativas ($Pr > F = 0,088$).

Tampoco se ha encontrado diferencias estadísticamente significativas, al analizar las variaciones de salinidad, en cada sitio de extracción (cabeza, medio y pie), por estrato muestreado.

Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las medias de las fincas (bloques), por lo tanto se rechaza la hipótesis de la homogeneidad de manejo del riego en la finca que afecta la salinidad del suelo.

DISCUSIÓN

El estudio estadístico pone de manifiesto que no hay incidencia del tipo de riego (Pulsos y Tradicional) sobre la salinidad final del suelo.

La conductividad eléctrica final del suelo está relacionada con la conductividad eléctrica inicial. El 41% de la variación de la primera está explicada por los cambios de la segunda.

El estimador B1 obtenido en el análisis de regresión múltiple, indica que ambos métodos de riego inducen a una desalinización, ya que ante un incremento en una unidad de la CE Inicial, la CE Final aumenta solo 0,57.

Las líneas de tendencia muestran que la desalinización es mayor en el riego tradicional (que es menos eficiente) y que dicha desalinización es en ambos métodos de riego mayor en el estrato superior del perfil del suelo.

Esto tiene una explicación lógica ya que ambos tipos de riego son en definitiva por escurrimiento superficial y las pérdidas de aplicación del agua en el suelo, actúan en ambos tipos de riego produciendo una desalinización, aunque menor en el pulso por su mayor eficiencia. La eficiencias de aplicación medidas a campo (Romay y Morábito, 2000) en las propiedades evaluadas fueron de 19% (tradicional) y 42% (pulso) y las pérdidas por percolación profunda de 52 y 39% respectivamente.

Es lógico que la tendencia de desalinización en ambos tipos de riego sea más acentuada en el estrato superior del perfil explorado por las raíces, ya que el agua de riego al atravesar el estrato superior, se carga de sales y por lo tanto la eficiencia de lavado disminuye en el estrato inferior.

La Diferencia Porcentual entre la CE F y CE I no está asociada al tipo de riego. Esto se observa tanto en las mediciones en cabeza, como en medio y en pie.

Estos cambios en la conductividad eléctrica no presentan comportamientos homogéneos dentro de la fincas.

REFERENCIAS

Chambouleyron J., Morábito J. , Zuleta J. ,Salatino S., y Fornero L, (1985), Eficiencia de Uso del Agua en Cultivos de Mendoza. Incyth – Cra, Mendoza – Argentina.

Chambouleyron J., Rearte E., 1996, Desempeño del Riego Presurizado en la Evolución de la Salinidad y los Nemátodos del Suelo, Actas del seminario nacional de riego presurizado, Mendoza - Argentina

Castro T.,1996, Evaluación de Sistemas de Riego Localizado en Uva de Mesa, Actas del seminario nacional de riego presurizado, Mendoza – Argentina.

Mirábile C (1985), Mapa y Balance Salino del Área Regada por el Río Tunuyán Medio, Conicet - Incyth, Actas del XII Congreso Nacional del Agua. Mendoza - Argentina.

Mirábile C. (1987), Balansal. Modelo de Balance Hídrico Salino de Suelos Regados. Incyth - Cra.

Romay C, Morábito J., 1999, Evaluación Técnico Económica de Riego por Pulso. UNCuyo-Secyt., Actas del XVIII Congreso Nacional del Agua, Santiago del Estero - Argentina

Walker W., Skogerboe G., 1987, Surface Irrigation, Theory and Practice, (Utah State University), Prentice Hall INC, 386, New Jersey, USA.