

RIEGO SUBSUPERFICIAL CON AGUAS RESIDUALES TRATADAS

Raúl Crespi

Universidad Nacional de Río Cuarto, Agencia Postal No. 3, Río Cuarto, Córdoba, Argentina
rcrespi@ayv.unrc.edu.ar

Emilio Camacho, María José Polo

Universidad de Córdoba, Apartado No. 3048, Córdoba, Andalucía, España

Resumen: La reutilización de aguas residuales tratadas para riego por goteo subsuperficial (RGS) de cultivos extensivos, es una práctica reconocida mundialmente, siendo la obturación de emisores un serio problema en la operación de estos sistemas. Durante el ciclo agrícola 2002/03, se realizó un ensayo experimental usando dos tipos de agua: limpia (AL) y residual tratada (AR) en un sistema mixto combinando un reactor biológico con una laguna de maduración y tres tipos de protectores del emisor: micro dosis de trifluralina (W), manta geotextil (G) y tubería de plástico (P). Se regaron dos oleaginosas, colza (*Brassica napus* L.) y soja (*Glycine max* L.) con rendimientos promedio sin fertilización de 2937 kg ha⁻¹ y 6563 kg ha⁻¹ respectivamente, entregando una cantidad total de agua de 4807 m³ ha⁻¹ para colza y de 5828 m³ ha⁻¹ para soja. El objetivo fundamental de esta investigación, fue evaluar el comportamiento hidráulico de los emisores ante la potencial intrusión de raíces empleando diferentes barreras físicas y química. La observación directa de las raíces indicó un buen comportamiento del geotextil, no obstante se considera muy importante emplear ciertas estrategias de manejo del agua de riego para reducir el peligro potencial de obturaciones.

INTRODUCCIÓN

El hombre utiliza el agua no solo para su consumo, sino también para desarrollar múltiples actividades y como producto de cada una de ellas, se generan desechos que se conducen en cierta dirección usando el agua como vehículo, identificando a este tipo de agua -en forma general- con el nombre de aguas residuales. El riesgo de contaminación con este tipo de aguas crece exponencialmente de la mano del aumento de la población mundial aunada a la industrialización y sobre todo a la urbanización (Henry y Heinke, 1999) particularmente por el hecho de que los seres humanos tienden a concentrar sus actividades en grandes centros poblados (Vassallo *et al.*, 2009); por tal motivo, es preocupación generalizada el manejo de los efluentes urbanos debiendo dar respuesta a 3 preguntas básicas:

- ¿Dónde ubicar este exceso de oferta?
- ¿Qué metodologías de depuración se implementarán?
- ¿Cuáles son las alternativas de reutilización del agua residual regenerada?

Las aguas residuales conducidas hacia una planta depuradora, deben tratarse por medios físicos, químicos y/o biológicos para cumplir con ciertas reglamentaciones impuestas en cada comunidad (Crespi, *et al.*, 2004) y es muy importante que se las considere como un recurso y no como un desperdicio (Crites y Tchobanoglous, 2004).

Según Asano (2001) la planificación e implementación de un proyecto con efluentes es una opción atractiva que aporta nutrientes y reduce la demanda de agua de buena calidad y en la medida que aumentan los requerimientos hídricos, la reutilización de aguas servidas cobra mayor importancia en la gestión de este recurso natural.

Por otra parte, Oron *et al.*, (2001), opinan que cuando se trata de reutilizar las aguas residuales, la técnica del riego por goteo es la más efectiva y segura, más aún si se trata de RGS, consiguiendo no solo suplir la deficiencia hídrica del cultivo, sino también contribuyendo al control de la contaminación ambiental. Crespi (2005) demostró que en la zona central de Argentina es posible reutilizar los efluentes municipales tratados mediante RGS, aprovechando

Características	Ap1	Ap2	2A	3AC	4A	4BW	4BWK
Profundidad (m)	0-4	4-16	16-28	28-45	45-64	64-74	> 74
Da (gcm ⁻³)	1,36	1,36	1,45	1,40	1,47	1,02	1,07
Wc (%)	25,4	21,8	19,9	22,5	20,8	21,5	20,9
Wm (%)	7,4	7,7	7,9	7,6	7,1	7,5	7,6
Wu (%)	18,0	14,1	12,0	14,9	13,7	14,0	13,3

Da, Wc, Wm, Wu, son: densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua útil, respectivamente.

Tabla 1. Características del perfil del suelo, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

un importante recurso hídrico, reduciendo el impacto ambiental y maximizando los beneficios agrícolas de diversos cultivos. La obturación de emisores es su principal desventaja y esta relacionado directamente con la calidad del agua utilizada (Durán-Ros *et al.*, 2008), siendo las obturaciones biológicas lo más difícil de controlar (Liu y Huang, 2009); no obstante, el RGS funciona adecuadamente si se tienen en cuenta ciertas operaciones preventivas, donde la limpieza de los filtros, la inyección de ácidos y el lavado de las líneas distribuidoras (flushing), se constituyen en medidas prioritarias en un programa de mantenimiento (Enciso *et al.*, 2004).

En esta experiencia se seleccionaron para trabajar dos oleaginosas que muestran cierta seguridad en cuanto al riego con aguas residuales regeneradas, tal es el caso de colza (*Brassica napus L.*) y soja (*Glycine max, L.*), ya que son cultivos de aprovechamiento indirecto lo que significa que posterior a la cosecha sufren un proceso de industrialización (producción de aceite) y recién en esta condición llegan a ser utilizados por el hombre. El objetivo fundamental de esta investigación fue evaluar el comportamiento hidráulico del RGS ante la potencial obturación de los emisores producida por intrusión radical.

MATERIAL Y MÉTODOS

La experiencia se desarrolló entre 2001 - 2003, en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto -Córdoba- Argentina, próximo a un complejo habitacional de 432 habitantes conocido como las Residencias Estudiantiles Universitarias (REU), ubicado a 33° 07' LS, 64° 14' LO y a 421 m sobre el nivel del mar. Para este trabajo se utilizó una muestra de 32 estudiantes que viven en 8 departamentos en las REU.

En la Tabla 1 se muestran datos de suelo para diferentes profundidades.

Para determinar la calidad química del agua limpia, se tomo una muestra de una perforación

ubicada adyacente al ensayo y que capta agua de un acuífero ubicado a 22 m de profundidad. Para conocer la calidad del efluente, se procedió a realizar el muestreo del agua residual por medio de la metodología de muestras compuestas (Siñeriz *et al.*, 1999).

El tratamiento del agua residual se realizó mediante una serie de tres lagunas, de las cuales, la primera es un fango activado y cuyo objetivo fue bajar la demanda biológica de oxígeno (DBO)₅, basado en el principio de Bernoulli por el cual, se obliga a pasar en un circuito cerrado un gran caudal por dos dispositivos que poseen en su extremo un pequeño orificio de 0.015 m de diámetro. Luego de 16 h de funcionamiento, se envió el agua a las otras dos lagunas -que son de maduración- donde permanecieron 2 - 4 días -según época del año- para la remoción de los coliformes totales con radiación ultravioleta (UV) procedente del sol.

Riego

Tanto el AL como el AR usada para riego pasan por un centro de control, donde -además de contener los accesorios normales como llaves, filtros, manómetros, válvulas etc.- lo distintivo es que el AR se sometió a un doble filtrado con filtros de anilla de 130 micrones para asegurarse la entrada sin impureza a las líneas de riego.

Todas las tuberías de riego se ubicaron a una profundidad de 0.15 m (Carlile y Sanjines, 1995). Para proceder a su instalación, se trazaron con una sembradora semilister surcos separados 0.70 m (Crespi, 2003) y en el fondo de los mismos se depositaron los laterales de goteo; en sentido transversal, se depositaron en superficie las tuberías secundarias y terciarias (Figura 1) para luego ser enterradas en forma manual. En definitiva, el diseño del sistema RGS (Geoflow, 1999) es el mismo que un sistema superficial excepto que las tuberías van enterradas a profundidades variables en función -entre otras cosas- de la textura de suelo (Ayars *et al.*, 1999).



Figura 1. Instalación de un sistema RGS, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Los laterales son de PEBD (polietileno de baja densidad) de 16 mm de diámetro y llevan goteros tipo laberinto "in line" de régimen turbulento, a 0.70 m entre líneas y a 0.6 m en la línea, con descargas nominales de 2 Lh^{-1} a una presión de operación de 1 kgf cm^{-2} .

Diseño experimental

El diseño estadístico fue un factorial con bloques completamente aleatorizados con 8 tratamientos y 7 repeticiones. El tratamiento principal fue tipos de agua: AL y AR; los factores involucrados que hacen a los tratamientos fueron diferentes maneras de protección a las obstrucciones de emisores. El primer factor, fue la protección química del gotero (W) basada en la emisión de micro dosis de Trifluralina; el segundo factor, fue una protección mecánica (P), recubriendo los emisores con unos cilindros de PVC (cloruro de polivinilo); el tercer factor fue la protección con una tela de fibra no tejida (geotextil), conocida comercialmente como manta elástica (G) con la cual se envolvió el emisor sujetándola con un precinto y el cuarto factor, fue el tratamiento testigo en que los emisores no presentan ningún tipo de protección. Los ocho tratamientos se identificaron de la siguiente manera: Agua Limpia Plástico (ALP), Agua Limpia Geotextil (ALG), Agua Limpia Wasteflow (ALW), Agua Limpia Testigo (ALT), Agua Residual Plástico (ARP), Agua Residual Geotextil (ARG), Agua Residual Wasteflow (ARW) y

Agua Residual Testigo (ART).

Las dimensiones de las unidades experimentales fueron de 2.80 m de ancho por 3 m de largo, para un total de 56 parcelas; 28 regadas con AL y 28 regadas con AR.

Cultivos ensayados

En el ciclo invernal se sembró una asociación varietal de colza (*Brassica napus*) conocida comercialmente como Mistral (Nidera Semillas, 2001) a 0.20 m entre hileras, a una densidad de $2666666 \text{ semillas ha}^{-1}$. La recolección de semillas para evaluar rendimientos, se realizó cosechando 1 m^2 en el centro de la parcela y la trilla fue manual.

En primavera-verano se sembró la variedad A 4201 RG de soja (*Glicine max L.*) del mismo semillero a 0.35 m entre hileras, a una densidad de $597977 \text{ semillas ha}^{-1}$. Se cosecharon manualmente los dos surcos centrales de 1.43 m de largo y la trilla fue mecanizada.

Estudio de raíces

En la segunda etapa de la experiencia, durante el ciclo de soja se realizaron muestreos gravimétricos en distintos estados fenológicos a fin de conocer el contenido hídrico del suelo en los ocho tratamientos (Figura 2). En cada punto se tomaron muestras a tres profundidades (0.07 m, 0.14 m y 0.21 m) y en 4 estados fisiológicos del cultivo (V2, R1, R5 y R8).

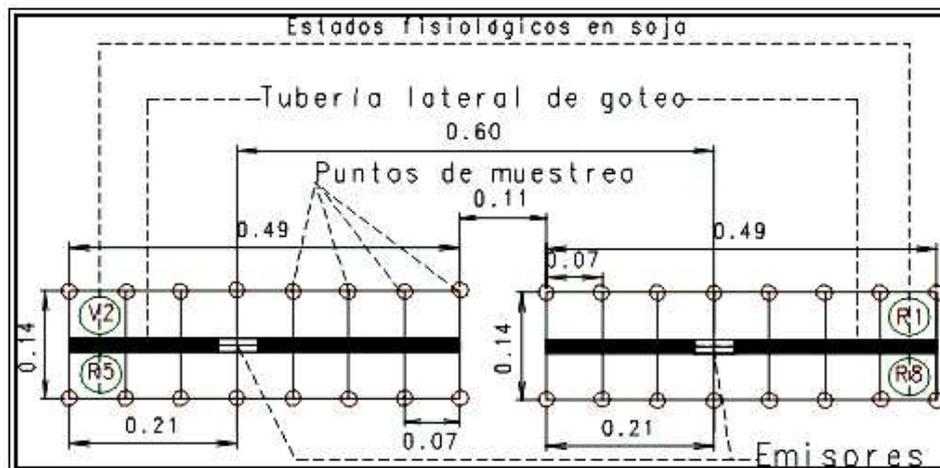


Figura 2. Muestras de suelo. Vista en planta, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Para la observación directa de raíces, se consideró una línea de goteo de 1 m sobre el cual crecían las plantas, se ataron las mismas a un soporte -respetando su distribución- y se introdujeron en un recipiente rectangular de 1 m x 0.25 m, en su interior se agregó 20 L de una solución dispersante (Twin 20) a una concentración de 0.5 por mil dejándola actuar durante 0.5 h para permitir el buen desprendimiento de la tierra adherida a las raíces; luego se lavaron las mismas en cinco oportunidades hasta que quedaban perfectamente limpias y en condiciones de ser filmadas, verificando en el campo la dirección de crecimiento y su trayectoria real para ese estado fenológico del cultivo; posteriormente -mediante un software específico- se observaron en laboratorio y se capturaban las imágenes para registrar el camino exacto que seguían las raíces.

Por otra parte, el consumo hídrico de los dos cultivos se evaluó semanalmente usando sensores de resistividad eléctrica Watermark (Taber *et al.*, 2002) colocados a cuatro profundidades: 0.10 m, 0.20 m, 0.55 m y 0.90 m midiendo directamente el potencial con que esta retenida el agua en el suelo y fijando un umbral de reposición (W_i) del 12% desde el punto de vista de consumo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del agua usada

El AL empleada en este proyecto se califica como buena para riego (Hershey, 1993), no manifestando problemas en su evolución en el suelo aún concentrándose diez veces en la misma.

Respecto al agua residual cruda (ARC) no muestra niveles de salinidad preocupantes (1.13

dSm^{-1}) para los cultivos ensayados y es baja su peligrosidad sódica con una relación de sodio ajustada (RNA_{aj}) de 6.58. La DBO_5 de 113 mgL^{-1} y no se presentan problemas de fitotoxicidad, ni de metales pesados. Ahora bien, es importante advertir que si se maneja mal el riego con AR y se permite que se concentre cuatro veces en la solución del suelo, se pasa de una condición originalmente normal a un suelo salino-sódico con una conductividad eléctrica (CE) de 3 dSm^{-1} y un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 37.

La eliminación de nutrientes y nivel de contaminantes, se observan en la Figura 3, las columnas negras indican los valores de entrada del afluente (ARC) al tratamiento y las columnas blancas, los valores del AR o sea del agua ya tratada que entra a las parcelas de riego.

Analizando los resultados de la DBO_5 , la remoción fue del 60% que es aceptado por algunos autores (Oron *et al.*, 1991) fundamentalmente cuando se trabaja con RGS. Es más, Oron *et al.*, (1999), consideran que empleando esta metodología de riego, podría obviarse totalmente la etapa de desinfección, atendiendo al proceso de edafodepuración; coincidiendo con apreciaciones de Contreras *et al.*, (2002). La concentración de potasio permaneció inalterado después del tratamiento y la eliminación de nitrógeno y fósforo fue del 70% y 44% respectivamente; coincidiendo con Asano (1998) en que los macronutrientes del AR constituyen un excelente recurso como fertilizantes en el agua de riego ya que en el caso de soja los aportes de nitrógeno, fósforo y potasio fueron de 81.28 $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$, 11.43 $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ y 40.64 $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ respectivamente.

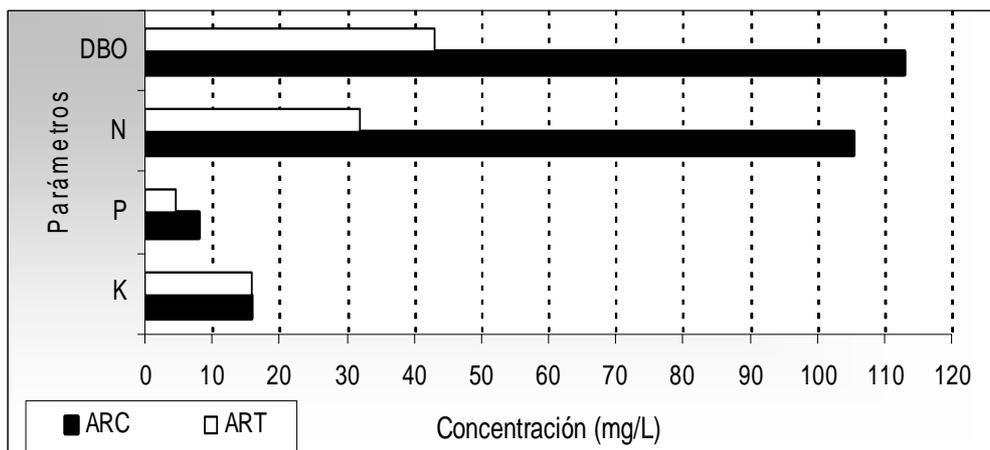


Figura 3. Remoción de nutrientes y materia orgánica, UNRC, Córdoba, Argentina

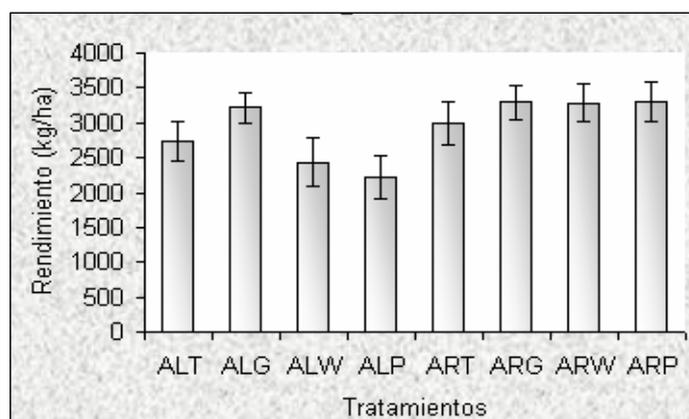


Figura 4. Producción de colza, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Por otra parte, la remoción de coliformes totales fue significativa pasando de $1,0 \times 10^{12}$ NMP/100 mL del afluente -cuando entró al reactor biológico- a $4,3 \times 10^5$ NMP/100 mL del efluente -al salir desde la laguna de maduración hacia el riego.

El cultivo

El rendimiento promedio de colza (Figura 4) regada con AL fue de $2651.9 \text{ kg ha}^{-1}$, inferior en un 22% al rendimiento promedio de los tratamientos regados con AR.

El análisis estadístico y la administración de datos en un entorno gráfico, se realizó mediante el empleo del software SPSS Base 9.0 para Windows donde se verificó la homogeneidad de la varianza y los criterios de normalidad de errores que permitieron hacer la prueba de F de Snedecor; identificando la conformación de tres grupos

homogéneos y encontrando diferencias significativas entre medias al nivel del 5% en dos tratamientos mediante la aplicación de LSD (menor diferencia significativa).

El comportamiento de este cultivo durante varios años en esta región del país, permite decir que se trata de una alternativa interesante al monocultivo del trigo permitiendo un mejor control de malezas y aumento del retorno neto; más aún, cuando se considera que colza puede tener un buen rendimiento con un aporte de solo 200 mm de agua en su ciclo (Ortegón, 2003) y cuando se entiende que esta diversificación lleva asociado un gran potencial, entre otras cosas, por la producción de biodiesel (Crespi e Introna, 2008).

En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos en producción de grano de soja, que son valores relativamente altos para Argentina y para muchas partes del mundo.

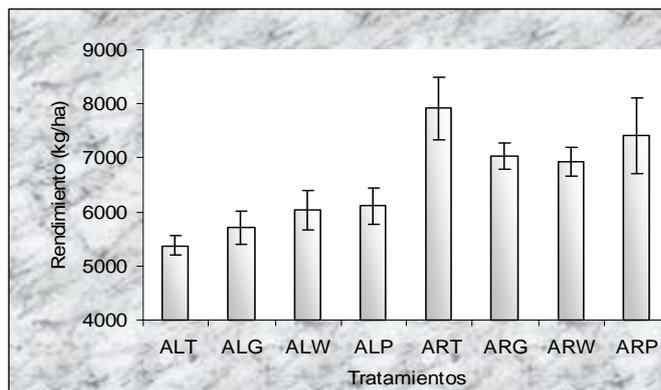


Figura 5. Producción de soja, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

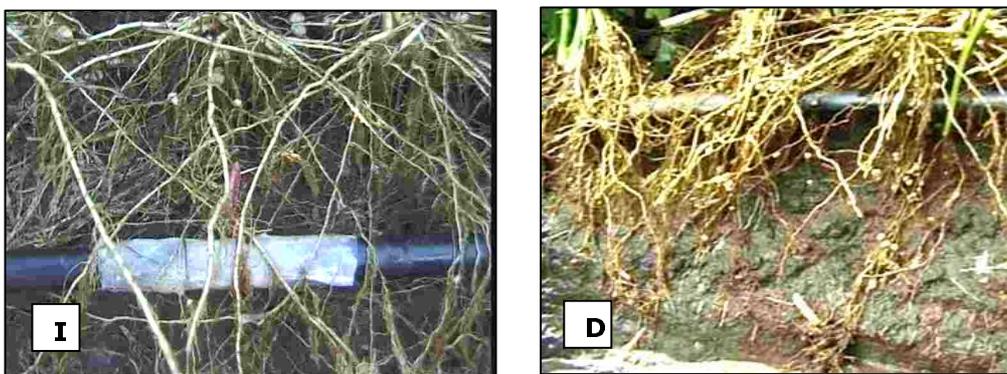


Figura 6. Raíces en soja R4 con protección geotextil, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Puede notarse que la producción de grano del tratamiento testigo, sin ningún tipo de protección en los emisores y sin realizar inoculación pero regado con AR, registró un rendimiento promedio de $7911.4 \text{ kg ha}^{-1}$, superior en $2528.5 \text{ kg ha}^{-1}$ al tratamiento ALT, demostrando la alta eficiencia que tiene este cultivo en el aprovechamiento de los nutrientes que aporta el AR cuando se maneja con RGS. Si se traduce en la práctica, este 47 % de incremento en la producción, es casi un rendimiento normal del cultivo de soja en gran parte de Argentina bajo condiciones de secano.

Este cultivo se caracteriza por ser gran consumidor de nitrógeno y que si bien desarrolla nódulos para la fijación biológica, le resultó más fácil o "conveniente" obtener la mayor parte de nutrientes del AR, concretamente en este estudio absorbió el equivalente a casi 170 kg ha^{-1} de urea -por citar el fertilizante más usado como fuente nitrogenada en este país-. El hecho de disponer de este aporte de nitrógeno, sin necesidad de consumir energía para realizar el proceso de fijación simbiótica, le significó en promedio

lograr una producción de todos los tratamientos regados con AR superior en 26 % al promedio regado con AL.

Realizando el análisis estadístico, se observa la conformación de dos grupos homogéneos, los regados con AL y los regados con AR y aplicando la prueba de Tuckey, se registran diferencias significativas entre el tratamiento ART y los tratamientos regados con AL, a excepción del que lleva protección de plástico. Además, se registraron diferencias significativas entre el tratamiento ALT y todos los tratamientos regados con AR.

Evaluación de obturaciones

El estudio realizado en esta investigación sobre el comportamiento de raíces y su interacción con el sistema de riego, se basó en el lavado de las mismas y en la observación directa de su trayectoria mediante fotografías, filmaciones e imágenes digitales.

En la Figura 6, se muestra el sistema radicular de un cultivo de soja en el estado reproductivo R4 que creció regada con AL a la izquierda (I)

y con AR a la derecha (D). En ambos casos la protección de emisores a las obturaciones por intrusión radical, se hizo en base a una manta de geotextil.

En el cultivo regado con AL se nota menor número de nódulos, pero en ambos casos el camino de las raíces es errático y siempre lejos de la fuente de emisión; en este caso, el agua no sale desde una fuente puntual como sería un riego por goteo tradicional, sino desde una fuente areal. Se observa la tubería de goteo con el sistema protector y una gran densidad de raíces a su alrededor, pero la novedad es que ninguna se adhiere a la manta de geotextil y pasan a milímetros de distancia del dispositivo de protección. El mecanismo puede explicarse de la siguiente manera: cuando comienza un riego cualquiera, en un primer momento, se satura completamente este paño de geotextil, acto seguido, el agua brota desde el paño embebido hacia el exterior y esto continúa hasta que se cumpla el tiempo de riego y en consecuencia la reposición de la lámina neta calculada. Obviamente en el próximo riego, se repite este proceso; pero en el intervalo entre riegos, las raíces "no se enteran" desde donde exactamente proviene el suministro hídri-

co; por lo tanto, al no conocer este camino, las posibilidades de obturación del orificio de salida del emisor por la raíces es prácticamente nulo.

En la Figura 7, se observa el crecimiento de raíces en los tratamientos ALP (I) y ARP (D) en el estado reproductivo de soja R8.

En este caso se trata de una protección mediante un tubo plástico, observando que las raíces tienden a seguir el espacio dejado por el anular entre ambos tubos, el de PVC y el lateral de PE, por lo cual, el peligro potencial de obturaciones debe tenerse muy en cuenta en caso de usar este tipo de protector como barrera física a la intrusión radical, más aún si no se tiene un estricto control y manejo del agua de riego.

En la Figura 8, se presenta el tratamiento con protección química (W), las raíces presentan pocos nódulos pero de gran tamaño y se desarrollan a cierta distancia del emisor mostrando la reconocida efectividad en el mercado internacional de este sistema protector a la intrusión radical, donde la diferencia marcada está en el diámetro de las raíces cuando se riega con distintos tipos de agua. Esto quedó plasmado en los rendimientos, superando en 15% la producción de soja ARW al tratamiento ALW.



Figura 7. Raíces en soja R8 con protección plástica, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina



Figura 8. Raíces en soja R4 con protección química, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

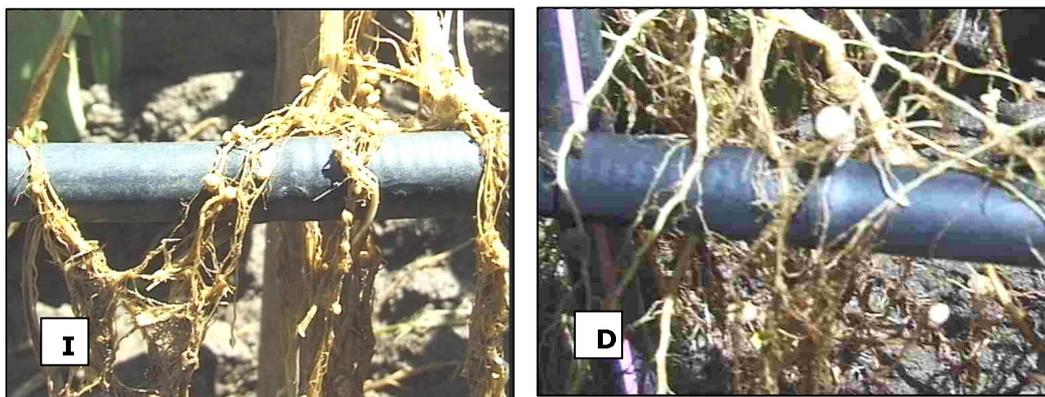


Figura 9. Raíces en soja R4 para el tratamiento testigo, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Por último, en la Figura 9 se puede observar cual ha sido el comportamiento de las raíces en el caso de soja testigo, o sea el crecimiento y desarrollo del cultivo sin ningún mecanismo de protección a la intrusión radical, se presenta escasa densidad de raíces y pocos nódulos en ALT reflejado en el menor rendimiento y no muchas raíces pero nódulos de gran tamaño a la derecha en ART.

En principio y en función de lo observado en esta experiencia, en sistemas de riego por goteo sin protección física o química no habría problemas de obturación de emisores por intrusión radical si se mantiene un buen contenido de humedad en el suelo durante todo el año; o dicho de otra manera, parece existir una relación directa entre el contenido de agua en el suelo y la posibilidad de obturaciones, así un bajo porcentaje de humedad en la rizósfera estimularía el crecimiento de raíces en dirección a la descarga del agua, donde está el mayor potencial hídrico presentándose un posible problema de obturaciones, por lo que en trabajos de esta naturaleza, manejando el agua mediante RGS fijando un elevado umbral de reposición, garantizaría la no penetración de raíces en el orificio del gotero. No obstante, el productor debe saber que si ha instalado un sistema de RGS sin ningún mecanismo de protección a la intrusión radical, toda la responsabilidad recae sobre la operación del riego y se considera estar presente -en estas circunstancias- ante un peligro potencial de obturaciones que podría traerle serios inconvenientes técnicos e implicancias económicas.

También producto de los muestreos de suelo durante todo el ciclo del cultivo, se pudo demostrar como se distribuía el agua en un perfil de 0.21 m de profundidad con progresivas cada 0.07 m, tal cual quedo ejemplificado al presentar

la Figura 2. Se realizaron múltiples observaciones para los distintos estados fenológicos y diferentes tipos de agua de riego; no obstante, por razones de espacio en esta publicación, solo se hará referencia a dos ejemplos, uno para AL y otro para AR.

En la Figura 10 se presenta el comportamiento para el tratamiento ARG y el estado R5 del cultivo de soja, observando en la parte superior, en cada intercepción de profundidad y distancia desde el emisor, la lámina de agua faltante para llegar a W_c según los datos de suelo para los respectivos horizontes, trazando en la parte media de dicha figura las correspondientes curvas de nivel y presentando en la parte inferior una vista en perspectiva del perfil analizado. Los resultados de láminas parciales se tomaron para cada progresiva y a profundidades cada 0.07 m y como cabe esperar la mayor lámina perdida, ocurre en los primeros centímetros de suelo; a modo de ejemplo puede observarse que en la progresiva 0.28 m, la lámina de agua faltante para llegar a capacidad de campo en los primeros 0.07 m (0 m - 0.07 m), es de 5.05 mm producto de la mayor intensidad del proceso evapotranspiratorio y es significativamente menor -para igual momento y progresiva- en la medida que se avanza en profundidad, así es de 0.67 mm y 1.32 mm, para los intervalos 0.07 m -0.14 m y 0.14 m- 0.21 m respectivamente.

En la Figura 11 se puede observar el comportamiento del testigo cuando fue regado con AL en el comienzo del periodo reproductivo de la soja. Realizado el análisis para igual progresiva del ejemplo anterior (0.28 m), el déficit de la lámina superficial es de 4.76 mm y de 0.76 mm y 1.22 mm para los intervalos 0.07 m -0.14m y 0.14 m- 0.21m respectivamente.

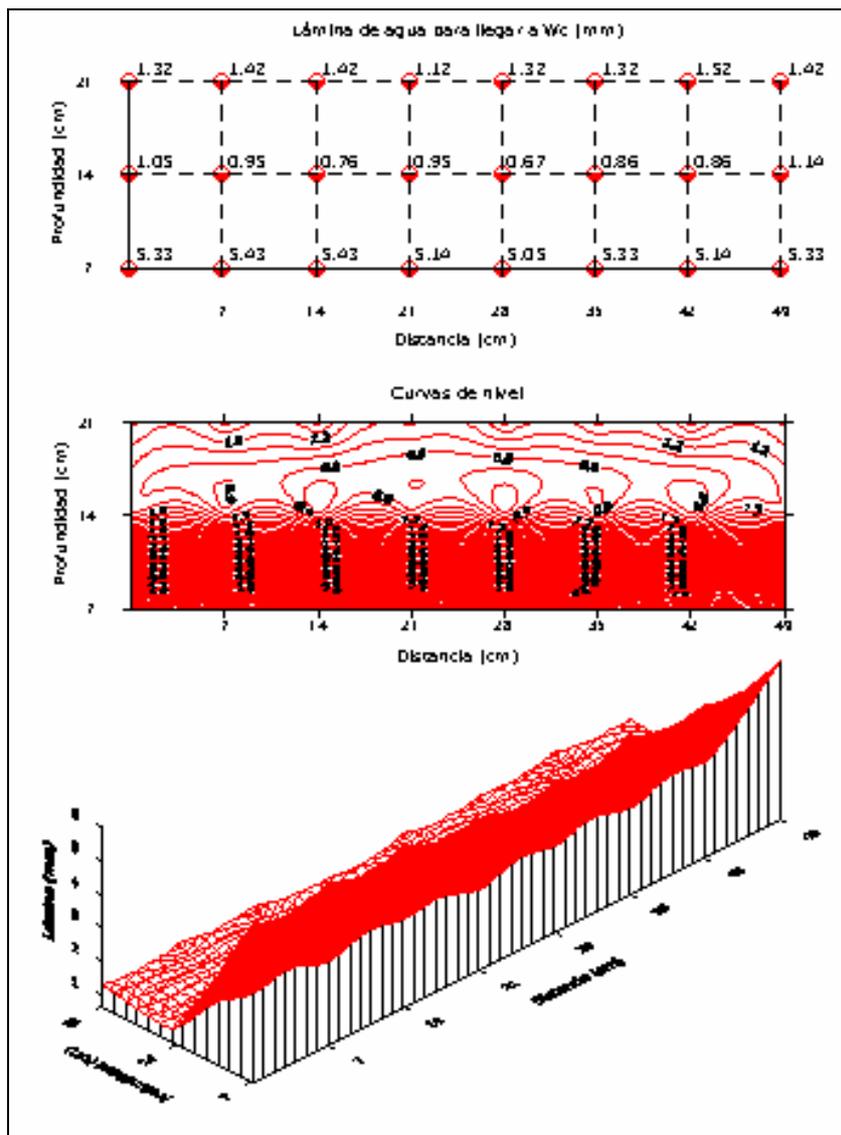


Figura 10. Láminas a Wc en soja R5, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

En la Figura 11 se puede observar el comportamiento del testigo cuando fue regado con AL en el comienzo del periodo reproductivo de la soja. Realizado el análisis para igual progresiva del ejemplo anterior (0.28 m), el déficit de la lámina superficial es de 4.76 mm y de 0.76 mm y 1.22 mm para los intervalos 0.07 m - 0.14m y 0.14 m - 0.21m respectivamente.

Lo que importa resaltar en ambos casos y que ha sido el denominador común de todos los analizados, es que -como se puede observar- cuando se considera la misma profundidad de suelo, la lámina de agua faltante, no tiene diferencias significativas en la medida que se avanza lateralmente hacia uno u otro lado del punto de emisión. En consecuencia, esto indicaría que no ha habido obstrucciones ni impedimentos para la libre circulación del agua en el perfil.

CONCLUSIONES

1. Dado el excelente resultado de la manta geotextil como protector físico, se sugiere su aplicación a gran escala, para lo cual se requiere el diseño de un modelo industrial que permita el desarrollo tecnológico de una herramienta para “envolver” y “atar” el paño de geotextil a espaciamentos discretos sobre la tubería de goteo, protegiendo al emisor. Esta resultaría ser una clara innovación tecnológica incremental, usando un material efectivo, inocuo, barato y accesible, constituyendo una nueva alternativa que permite el empleo del RGS salvando su principal desventaja.

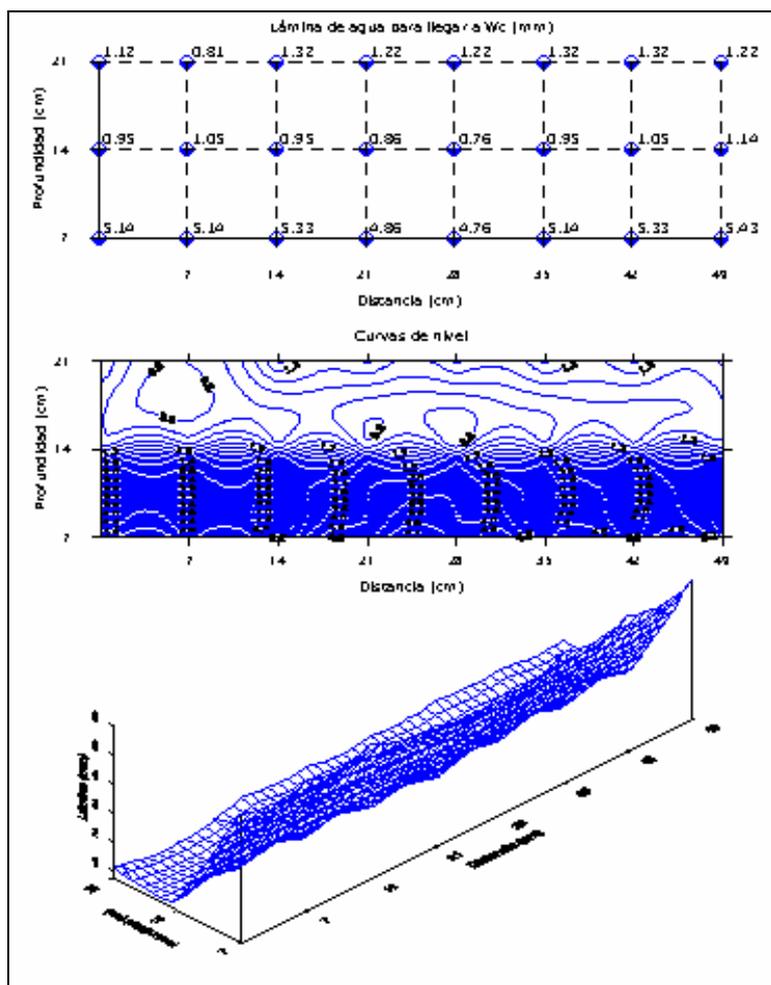


Figura 11. Láminas a W_c en soja R1, UNRC, Río Cuarto, Córdoba, Argentina

2. Los resultados logrados en soja regada con aguas residuales, indican que en este cultivo, pierde importancia relativa la técnica de inoculación, es más, es aconsejable que bajo estas condiciones, no se realice esta práctica cultural, con lo cual se simplifica la tecnología del cultivo, se emplea menos mano de obra y se ahorra el costo del inoculante.
3. Respecto al comportamiento de raíces y la potencial obturación de emisores en sistemas de RGS, no ha habido evidencias de afectación a los cultivos, independientemente si se regó con agua limpia o residual y si se usó o no protectores a la intrusión radical. Esto se fundamentó en el manejo particular de este sistema de riego trabajando con un potencial del agua en el suelo entre 40-60 centibares durante todo el año y realizando en dos oportunidades del ciclo de cada cultivo (cuatro

veces en el año), lavados energéticos (flushing) de las líneas portaemisores con una presión de trabajo que duplicó la nominal del sistema.

LISTA DE SÍMBOLOS

(DBO)₅: Demanda biológica de oxígeno
 AL: Agua limpia
 ALG: Agua Limpia Geotextil
 ALP: Agua Limpia Plástico
 ALT: Agua Limpia Testigo
 ALW: Agua Limpia Wasteflow
 AR: Agua Residual
 ARC: Agua Residual Cruda
 ARG: Agua Residual Geotextil
 ARP: Agua Residual Plástico
 ART: Agua Residual Testigo
 ARW: Agua Residual Wasteflow
 AT: Agua tratada
 CE: Conductividad eléctrica
 D: Derecha

Da: Densidad aparente
 G: Protección geotextil
 I: Izquierda
 LSD: Menor diferencia significativa
 NMP: Número más probable
 P: Protección plástico
 PE: Polietileno
 PEBD: Polietileno de Baja Densidad
 PSI: Porcentaje de sodio intercambiable
 PVC: Cloruro de Polivinilo
 R1: Comienzo de floración
 R5: Inicio de formación de semillas
 R8: Madurez completa
 REU: Residencias Estudiantiles Universitarias
 RG: Resistente a Glifosato
 RGS: Riego por goteo subsuperficial
 RNAaj.: Relación de sodio ajustado
 UV: Radiación ultravioleta
 V2: Primera hoja trifoliada completamente des-
 arrollada
 W: Protección química
 Wc: Capacidad de campo
 Wi: Punto de marchitez incipiente
 Wm: Punto de marchitez permanente
 Wu: Agua útil

REFERENCIAS

- Asano, T., (1998). Wastewater reclamation and reuse. *Wat. Qual. Man.* 10, 1528 pp.
- Asano, T., (2001). Reutilización de aguas residuales para aplicaciones no potables: Una introducción. Dpto. Ing. Civil y Ambiental, en *Rev. Int. de Agua y Riego*, 21(3), 7 pp.
- Ayars, J.E., C.J. Phene, R.B. Hutmacher, K.R. Davis, R.A. Schoneman, S.S. Vail y R.M. Mead, (1999). Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agric. Wat. Man.*, 42(1-27).
- Carlile, B.L. y A. Sanjines, (1995). Subsurface trickle irrigation system for on-site Wastewater disposal and reuse. 1-11 pp.
- Crespi, R.J., (2003). Riego subterráneo con aguas residuales tratadas. Tesis doctoral, 175 pp., España.
- Crespi, R.J., (2005). Reutilización de aguas residuales en la producción agrícola. *Rev. Hydria*, Año I. N° 3, pp. 10, Buenos Aires.
- Crespi, R.J. y D. Introna, (2008). Respuesta del cultivo de colza (*Brassica napus*) a la fertilización y al riego subterráneo con Aguas Residuales. II Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento del Agua, ProDti (España)-UNC (Argentina).
- Crespi, R.J., C. Rodríguez, O. Plevich, L. Grosso, M. Bossolasco, C. Frigerio, S. Bettera, A. Thuar, J. Boehler, J. Puiatti, O. Barotto, M. Demaestri, A. Ricotto, D. Ramos, D. Picca, (2004). Tratamiento y reutilización de aguas residuales domiciliarias. XX Congreso Nacional del Agua, Libro de resúmenes, pp. 76, Mendoza.
- Crites and Tchobanoglous, (2004). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Ed. McGraw-Hill, 776 pp., Colombia.
- Durán-Ros, M., J. Puis Bargués, G. Arbat, J. Barragán y F. Ramírez de Cartagena, (2008). Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluent. *Univ. de Girona, Agric. Wat. Man.*, 29 pp.
- Enciso, J., D. Porter, J. Bordovsky y G. Fipps, (2004). Dandole mantenimiento a los sistemas de riego por goteo subsuperficiales. Cooper, Texas de Extensión, L-5406S, 10-01, 6 pp.
- Geoflow Wasteflow, (1999). Design and Installation manual. USA, 27 pp.
- Henry J. y G. Heinke, (1999). Ingeniería Ambiental. Pearson educ., 2a Ed., México, 779 pp.
- Hershey, D.R., (1993). Evaluation of irrigation water quality. *The Am. Biol. Teach.*, 55(4), 6 pp.
- Liu, H. y G. Huang, (2009). Laboratory experimento n drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agric. Wat. Man.*, Beijing, 96(745-756).
- Nidera Semillas, (2001). Cultivares de Soja y Colza. *Genética de Avanzada*. Camp. 2001, 23 pp.
- Oron, G., C. Campos, L. Guillerman y M. Salgot, (1999). Wastewater treatment, renovation y reuse for agricultural irrigation in small communities. *Agr. Wat. Manag.*, 38(3), 223-234.
- Oron, G., L. Guillerman, Y. Manor, T. Halmut y R. Armon, (2001). El riego por goteo subterráneo como medio de recuperación de aguas residuales. *Rev. Int. de Agua y Riego*, 24(4), 32-34.
- Oron, G., J. DeMalach, Z. Hoffman y R. Cibatou, (1991). Subsurface microirrigation

- with effluent. *Jour. of Irrig. and Drain. Eng.*, 117(1), 25–36.
- Ortegón, A.S., (2003). Guía para la producción de canola en el norte de Tamaulipas, Campo Experimental Río Bravo. INIFAP, Folleto N° 14., 15 pp.
- Siñeriz, F., C. Bologna y N. Reartes, (1999). Tratamiento de efluentes y protección del medio ambiente. *Fac. Ciencias Exactas, UNRC*, 135 pp.
- Taber, H.G., V. Lawson, B. Smith y D. Shogren, (2002). Programar el microriego. ¿con tensiómetros o sensores de resistencia?. *Univ. de Iowa, Rev. Int. de Agua y Riego*, 22(1), 4.
- Vassallo, P., C. Paoli y M. Fabiano, (2009). Energy required for the complete treatment of municipal wastewater. *Ecological Eng. Univ. of Génova*, 35(685–694).