

MANEJO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

Crespi, R.; O. Plevich; A. Thuar; L. Grosso; C. Rodríguez; D. Ramos; O. Barotto
M. Sartori; M. Covinich y J. Boehler

Universidad Nacional de Río Cuarto. Agencia Postal N° 3 0358-4676503 Fax 0358-4680280
rcrespi@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

En el año 2005 se instaló en la Universidad Nacional de Río Cuarto, una Planta Experimental para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas con un enfoque interdisciplinario destinada a la protección del medio ambiente y a la generación de riquezas partiendo de residuos. Los objetivos que se plantearon, consistieron en evaluar el comportamiento de tecnologías convencionales y no convencionales en la depuración y reutilización de las aguas residuales, ajustar mecanismos de rápida transferencia a la región y al país y promover el interés en el ámbito educativo por la disminución del impacto ambiental. El tratamiento de los efluentes, consistió en el empleo de un proceso combinado de lodos activados y lagunas de estabilización con una eficiencia de depuración de la DBO₅ del 62 %, de N del 70 %, de P del 44 % y de K del 0 %; disminuyendo los gérmenes patógenos en 7 logaritmo usando luz UV como desinfectante. La concentración de macronutrientes del agua regenerada fue 32.00 mg/L, 4.50 mg/L y 16.00 mg/L de N, P y K respectivamente y se utilizó para la producción bajo riego de ajo (*Allium sativum* L.); maíz (*Zea mays* L.) y colza (*Brassica napus* L.) con rendimientos máximos promedios de 11327 kg ha⁻¹, 17804 kg ha⁻¹ y 3145 kg ha⁻¹ respectivamente. Con esta agua de calidad marginal, también se están conduciendo otras experiencias: filtros verdes con pequeños bosquetes de eucaliptos (*Eucalyptus* sp.); sistema agroforestal con álamos (*Populus* sp.) y melgas de alfalfa (*Medicago sativa*) intercalada; producción de aromáticas con coriandro (*Coriandrum sativum* L.) y producción de humus de lombriz (*Eisenia foetida*) buscando alternativas ecológicas para la generación de biofertilizantes. Este proyecto está en plena etapa de ejecución con diferentes estados de avance según las líneas de investigación experimentadas y, por lo tanto, se presentan algunos resultados definitivos y otros parciales; concluyendo que la implementación de estas tecnologías son adecuadas para la región y conceptualmente extrapolables a cualquier parte del país; recomendando trabajar en esta dirección, no solo para preservar y mejorar la calidad de vida de una población en particular, sino también de la sociedad en general.

Palabras claves:

Tratamiento, reutilización, agua residual, rendimiento, microorganismos

INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial puesto de manifiesto en todos los núcleos poblacionales del mundo, trae aparejado la generación de efluentes en forma directamente proporcional, que aunado a la incontrolada industrialización y sobre todo urbanización, determinaron la saturación de la capacidad asimiladora de la naturaleza conduciendo -en muchos casos- a perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico. Por esto, es importante tomar conciencia que la contaminación es un problema de todos los habitantes de cualquier comunidad -independientemente de su tamaño- y que es uno de los principales desafíos con que se enfrentará la humanidad en este siglo.

Argentina haciéndose eco de lo establecido en la Cumbre Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sustentable reunida en Johannesburgo en el 2002, se comprometió a reducir para el 2015 en 2/3 partes el porcentaje de personas sin acceso al agua potable y a un adecuado sistema de saneamiento respecto a indicadores del año 1991 (Jáuregui y Schifini, 2004). La puesta en marcha de nuevas instalaciones de tratamiento; depende, básicamente -más allá de la capacidad técnica, económica y operativa- de una decisión institucional que involucre políticas explícitas para una planificación integral a nivel nacional, provincial y municipal. Ahora bien, cuando se ejecutan proyectos de esta naturaleza (Asano, 1991), es preciso saber que hay que ajustarse a ciertas normas de regulación y hacer un seguimiento de estas aguas de calidad marginal (Crespi, 2005), ya que no siempre es bien conocido el impacto ambiental que pueden causar su uso continuado en el tiempo (Tanji, 1997), tratando de introducir y llevar a la práctica el concepto de “sustentabilidad del sistema” para asegurar la supervivencia del presente sin comprometer las necesidades del futuro” (Hansen, 1996).

A nivel del sur de Córdoba, con una superficie de 7000000 ha y una población de 350000 habitantes (ADESUR, 1999), la red pública de servicios cloacales solo la poseen tres municipios del área y la falta de tratamiento de los efluentes domiciliarios se ha diagnosticado como uno de los problemas más serios de la región; similares antecedentes pueden encontrarse en varias partes del país, por lo que evidentemente este es un problema real, acuciante y que requiere urgente solución, ya demostrándose algunos adelantos para pequeñas muestras de población (Crespi y otros, 2005 a).

En muchos lugares del mundo y de este país, los efluentes urbanos son vertidos directamente a un cauce natural, argumentando que los lechos de ríos constituyen un excelente dispositivo natural de filtración; sin pensar o sin querer pensar, en la contaminación que se está produciendo aguas abajo, no solo por el impacto en si misma sino también por la proliferación de todo tipo de roedores e insectos transmisores de enfermedades. En América Latina y El Caribe según Castro Dassen y otros (2003), solo se trata el 10 % de las aguas servidas por lo que el peligro de contaminación se considera grave.

En función de lo expresado, se considera que es fundamental cumplir con la etapa de tratamiento de los residuos a los fines de reducir el impacto ambiental; pero tan importante como esto, es saber qué hacer con los efluentes tratados (Avnimelech, 1993; Ramalho, 1996) pues puede generarse a partir de los residuos un producto de valor económico que coadyuve a amortizar los costos fijos y/o operativos que significa la inversión y desarrollo de este tipo de proyectos (Hernández Muñoz y otros, 1996; Seoanez Calvo, 1999).

En tal sentido, debe entenderse que la reutilización de los efluentes es una alternativa válida toda vez que se comprenda que constituyen “un recurso” y no “un desperdicio” (Fulhage, 1993); su implementación es considerada segura y aceptable produciendo importantes incrementos de rendimientos en cantidad y calidad (Grosso y otros, 2005; Crespi y otros, 2006).

Por lo explicitado, se pretende que los efluentes dejen de tener un enfoque tradicionalmente “lineal”, para pasar a ser “cíclico”; esto implica la reutilización de los aguas residuales domiciliarias (Bossolasco y Crespi, 2005; Crespi y otros, 2005 b). En este marco, optimizar el desarrollo tecnológico con metodologías simples, prácticas y de rápida transferencia al ámbito urbano y/o

rural, se considera una importante alternativa que luego de estudiarse e interpretar su funcionamiento, se transformará en un compromiso social que debe comunicarse por todos los medios a la mas amplia región posible.

Toda esta iniciativa requiere investigación básica, aplicada e innovaciones adaptadas a estas condiciones ecológicas (Crespi, 2006) tratando de imitar a los países desarrollados quienes ya hace tiempo tomaron conciencia de que el agua es un recurso limitado, que los efluentes tienen un importante valor y que es preciso reincorporarlo al ciclo productivo, por eso para interpretar el funcionamiento del ecosistema bajo en este tipo de proyecto es preciso contar con un equipo interdisciplinario en el que trabajan más de 20 investigadores de diferentes especialidades, ajustando tecnologías desde el tratamiento de aguas residuales urbanas con metodologías no convencionales de bajo costo, como lagunajes, plantas flotantes y filtros verdes, hasta la evaluación del comportamiento agronómico de diferentes cultivos como colza, maíz, centeno, avena, coriandro, alfalfa y ajo regados con agua de perforación y residual tratada, pasando por la instalación de sistemas agroforestales con la introducción de distintas especies de eucaliptos y álamos.

Los objetivos fundamentales del presente estudio consistieron en evaluar el manejo de las aguas residuales urbanas a los fines de reducir el impacto ambiental y planificar su reutilización en diferentes sistemas de producción; al mismo tiempo que valorar la importancia del establecimiento de una Planta Experimental, para no solo “informar” sobre su creación a los distintos sectores educativos de la población (secundario y universitario) sino también “formar” recursos humanos que se compenetren de esta nueva concepción e interpretación del ecosistema, a los fines de contribuir - directa o indirectamente- a la viabilidad de estos planteos y asegurar la sustentabilidad de los mismos.

MATERIAL Y METODOS

Esta nueva Planta Experimental se instaló en el año 2005 en la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) para tratar las aguas residuales de un complejo habitacional de 432 habitantes llamadas las Residencias Estudiantiles Universitarias (REU) ubicado a 33° 07' LS, 64° 14' LO y a 421 m sobre el nivel del mar.

La primera actividad consistió en la interconexión de tuberías laterales de PVC de 110 mm de diámetro y colectora principal de PVC de 160 mm de diámetro uniendo la descarga de efluentes de 52 departamentos, que previamente al ingreso a la red (Figura 1) pasan por cámaras sépticas (una por departamento), donde queda retenida la parte sólida para su posterior tratamiento y que figura dentro de los planes futuros de este emprendimiento. Con el tendido de tuberías en planta, se comenzó la ejecución del trabajo que llevó varios meses pues con la pendiente proyectada del 1.5 %



Figura 1. Trabajos previos de interconexión de la red cloacal. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

-en principio- los tubos se ubicaron a una profundidad de 0.60 m en las proximidades de los departamentos pero en la descarga se sobrepaso la altura normal de los obreros trabajando a casi 2 m de profundidad. Luego la instalación de las tuberías no es nada sencillo y a pesar de ubicar cámaras de inspección, debe respetarse exactamente la pendiente para lograr un buen escurrimiento, de ahí que fue necesario un detallado trabajo de nivelación del tendido de la red en todo su recorrido como se trata de mostrar en la figura respectiva.

Se manejará el agua generada por una población de 208 habitantes para un caudal de 22280 L d⁻¹, el cual se concentra en una cámara receptora de cemento de 1.5 m de ancho por 2.5 m de largo por 5 m de profundidad (Figura 2) que mediante 2 electrobombas centrífugas Dreno Big, modelo DR 300/4/80 T de una potencia de 2.4 Kw a 1450 rpm, con un diámetro de impulsor de 80 mm y un pasaje de 67 mm, trabajan a 7.23 m de altura erogando 60 m³ h⁻¹.

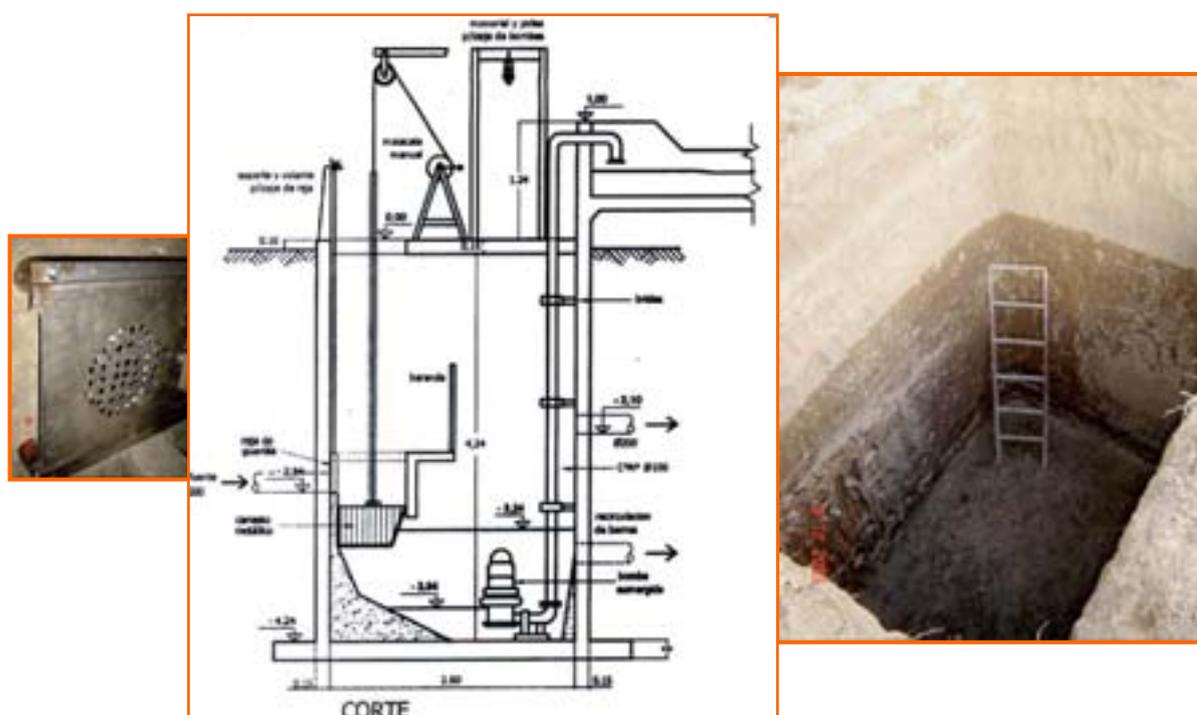


Figura 2. Cámara de bombeo del agua residual. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

El efluente proveniente de las REU se conduce a través de una tubería principal de PVC de 160 mm de diámetro que con una pendiente de 1.5 % descarga por gravedad en la cámara, en primer instancia cae a un canasto con ranuras longitudinales de acero inoxidable, el cual periódicamente como norma de mantenimiento se lo extrae con un malacate manual para su limpieza y se vuelve a poner en funcionamiento. En este intervalo se baja a modo de guillotina una reja cribada con orificios de 1 cm de diámetro que tapa el extremo de descarga y previene la entrada de material grueso. Por otra parte, las bombas operan alternativamente y en forma automática (cada 30 días se pone en funcionamiento una de ellas y la otra se detiene) cada vez que se almacena un volumen de agua de 4000 L.

Métodos convencionales y no convencionales

El agua se conduce por una tubería de PVC Clase 10 de 75 mm de diámetro externo y de 55 m de longitud, desde la cámara de bombeo hasta lo que sería la Planta Experimental (Figura 3), que comprende dos partes (Crespi, 2006): la primera que es el tratamiento propiamente dicho que consta de 4 tanques de cemento de diferentes dimensiones y funciones enmarcados en un tejido olímpico de 20 m por 38 m y la segunda indicada con leyendas de los diferentes cultivos y/o actividades que se realizan en lo que involucra a la reutilización de los efluentes.

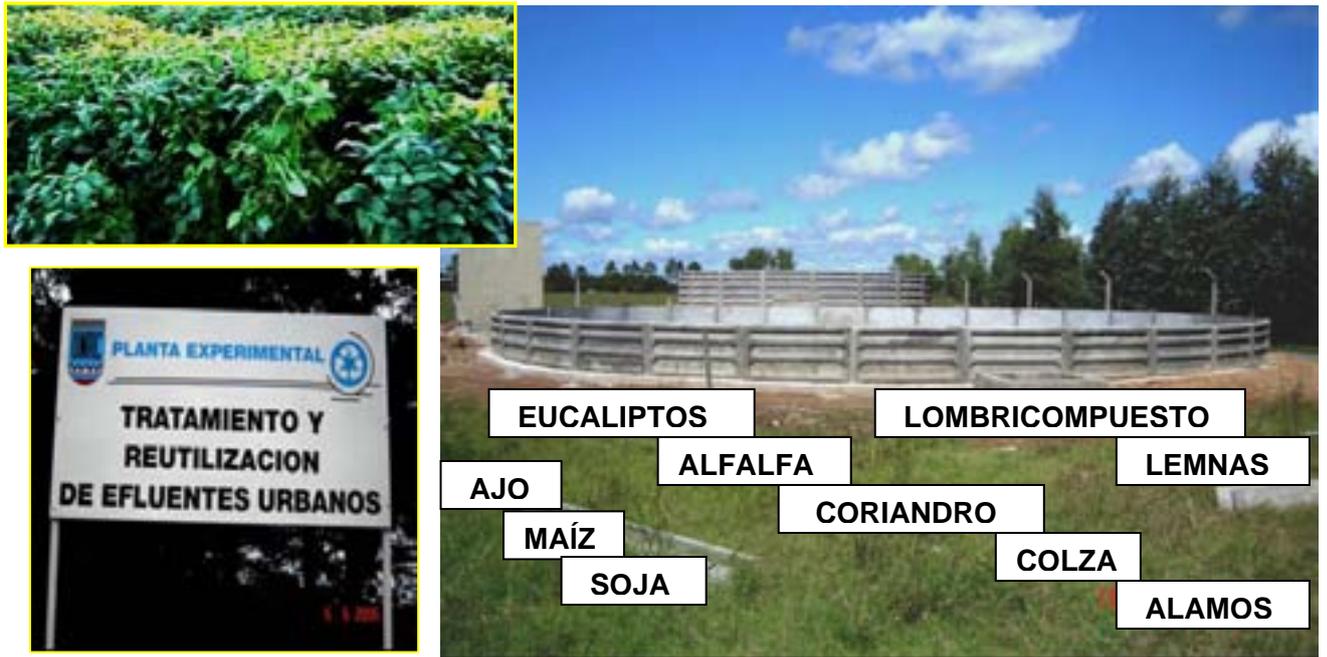


Figura 3. Planta de tratamiento y reutilización de efluentes urbanos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

El tanque receptor es un recipiente rectangular de un volumen de 12000 L de 2 m por 2 m por 3 m de altura y cuya función es concentrar el agua derivada. Desde el piso sale un tubo de 160 mm de diámetro para eliminar el lodo que se acumule en el tiempo; a 0.25 m tiene una salida lateral para el riego de los filtros verdes (*Eucalyptus sp.*), captando el agua cruda con una electrobomba centrífuga marca Ebara de 1 HP de potencia y de 2" de diámetro en la succión por 2" de diámetro en la impulsión y que maneja un caudal de 7500 L h^{-1} a una altura manométrica 10 m. Por otro lateral, hay un orificio de 90 mm de diámetro por el que descarga el agua cruda hacia el reactor biológico para su tratamiento, en el trayecto hay una derivación hacia un tanque circular de cemento de 3.5 m de diámetro y 0.50 m de profundidad para la depuración del agua usando macrófitas acuáticas (*Lemna*, *spirodella* y *wolfia*).

El reactor es un tanque circular de 9.1 m de diámetro con una capacidad de 78000 L (Figura 4) y su función es bajar la demanda biológica de oxígeno (DBO). Sobre otro lateral y a 0.90 m de profundidad se capta agua residual cruda para abastecer el sistema agroforestal de álamos y alfalfa a través de tuberías con ventanitas.

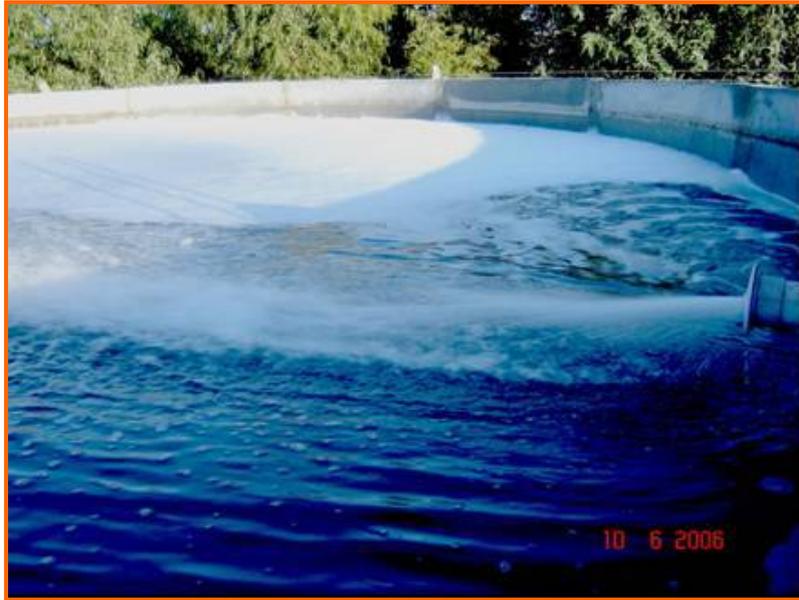


Figura 4. Tratamiento el agua residual en un reactor biológico. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

La depuración del efluente se produjo en un tiempo relativamente breve, y sin la generación de mal olor, lo cual merecía en este caso, una atención prioritaria dado que al frente hay dos centros poblados (las REU y el Barrio Universidad de 4000 habitantes). Este objetivo se consiguió utilizando el principio de Bernoullí, empleando una bomba centrífuga de 1 HP y haciendo recircular el agua en un circuito cerrado. De esta manera, se generó una población bacteriana que fue la encargada de la estabilización de la materia orgánica en condiciones aerobias, siendo básicamente el O₂C el gas producido en la reacción química.

Lagunas de maduración

El tanque de mayor volumen (D) es circular, de cemento, de 15.75 m de diámetro y con una capacidad de 136310 L (Figura 5) actúa a modo de laguna de maduración para eliminar gérmenes patógenos a límites permisibles haciendo uso de la luz ultravioleta generada naturalmente por el sol (EPA, 2000).



Figura 5. Laguna de maduración. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

A 0.10 m desde el fondo de este tanque y luego de cumplirse el tiempo de residencia hidráulico, se capta el agua y se bombea para el riego de diferentes cultivos (ajo, maíz etc).

Caracterización edáfica del lugar

La aptitud de uso de estas tierras es agrícola y teniendo en cuenta la precipitación media anual, los factores del paisaje, el suelo, los procesos de degradación y la influencia potencial salinidad-sodicidad, poseen en una escala de 1-1000, un valor indicativo de la aptitud relativa de 871.8 (Cantero y otros, 1986).

El suelo es un Hapludol típico (Tabla 1), de propiedades físicas y comportamiento diferente según los horizontes que se trate (Etchevehere, 1976).

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

Características	Horizontes						
	Ap1	Ap2	2.A	3 AC	4.A	4 BW	4 BWK
Profundidad (cm)	0 - 4	4 - 16	16 - 28	28 - 45	45 - 64	64 - 74	> 74
Da (g cm ⁻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

Donde:

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

La Da se determinó utilizando el método de Uhland mediante cilindros de acero inoxidable de 50 mm de altura por 47 mm de diámetro interno, para posteriormente establecer la humedad volumétrica de los diferentes horizontes del perfil del suelo. Las constantes hídricas se determinaron en laboratorio mediante el empleo de ollas de presión a -30 kPa y a -1500 kPa de potencial para capacidad de campo y punto de marchitez permanente, respectivamente, siguiendo la metodología de Black (1965) y se expresan en forma gravimétrica al igual que el agua útil.

Caracterización del agua de riego

- **Agua de perforación**

La Tabla 2, muestra los resultados del análisis químico, con una CE de 0.45 dS/m, un pH de 7.40 y un RAS de 1.21

Tabla 2. Análisis químico del agua limpia para riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

		mg L ⁻¹	meq L ⁻¹
Carbonatos	(CO ₃ ⁻)	0.00	0.00
Bicarbonatos	(CO ₃ H ⁻)	207.4	3.40
Cloruros	(Cl ⁻)	14.18	0.40
Sulfatos	(SO ₄ ⁻)	20.70	0.43
Sumatoria de aniones		242.28	3.83
Calcio	(Ca ⁺⁺)	28.41	1.42
Magnesio	(Mg ⁺⁺)	9.10	0.75
Sodio	(Na ⁺)	29.00	1.26
Potasio	(K ⁺)	4.35	0.11
Sumatoria de cationes		70.86	3.54

Agua residual

El análisis químico del agua residual se observa en la Tabla 3.

Tabla 3: Determinaciones Químicas analíticas del agua residual. UNRC. Río Cuarto. Córdoba

Determinación analítica	Unidad	Valor
Sólidos Sedimentables (10 min)	ml/L	0.50
Sólidos Sedimentables (120 min)	ml/L	0.80
Sólidos Totales	ml/L	842.00
Sólidos Totales Fijos	ml/L	298.00
Sólidos Totales Volátiles	ml/L	544.00
Sólidos Disueltos Totales	ml/L	590.00
Sólidos Disueltos Fijos	ml/L	380.00
Sólidos Disueltos Volátiles	ml/L	210.00
Sólidos Suspendidos Totales	ml/L	252.00
pH		7.82
Conductividad Eléctrica	dS/m	1.13
Turbiedad	FAU	263.50
Color Verdadero	PtCo APHA	1150.00
Nitrógeno total	ml/L	108.5
Cloruros	ml/L	138.00
Sulfatos	ml/L	14.50
Alcalinidad total	ml/L	350.00
Alcalinidad carbonatos	ml/L	< 1
Fósforo Total	ml/L	8.1
Hierro	ml/L	1.30
Litio	ml/L	No detectable
Boro	ml/L	0.14
Cromo	ml/L	0.04
Magnesio	ml/L	11.60
Manganeso	ml/L	0.08
Níquel	ml/L	No detectable
Potasio	ml/L	16.00
Plomo	ml/L	No detectable
Selenio	ml/L	No detectable
Sodio	ml/L	158.00
Aluminio	ml/L	0.99
Arsénico	ml/L	0.017
Cadmio	ml/L	0.00014
Calcio	ml/L	50.00
Zinc	ml/L	0.11
Cobalto	ml/L	No detectable
Cobre	ml/L	No detectable
Demanda Química de Oxígeno	ml/L	265.00
Demanda Biológica de Oxígeno	ml/L	112.57

Para determinar la calidad física y química del afluente, se procedió a realizar el muestreo por medio de la metodología de muestras compuestas (Siñeriz y otros, 1999).

Las determinaciones físico-químicas fueron realizadas por el Departamento de Tecnología Química de la Facultad de Ingeniería de la UNRC y por el INA (Mendoza) y el Departamento de Microbiología de Ciencias Exactas de la UNRC, fue el responsable de realizar un conteo promedio de coliformes totales del efluente crudo.

Caracterización y conducción de los cultivos

➤ Colza

El 5/6/4 se sembró bajo sistema de labranza convencional dos cultivares de colza (*Brassica napus sp oleifera*). En pre-siembra se efectuó una aplicación de trifluralina, con mochila, a una dosis equivalente a los 2 L ha⁻¹ y se incorporó por medio de rastra de discos doble acción a una profundidad de labor de 10 cm..

Se empleó el híbrido simple SW-Eclipse, de tipo primaveral y ciclo intermedio (167 días) y la variedad Master, también de tipo primaveral y ciclo intermedio (170 días). La densidad de siembra fue de 6,2 kg ha⁻¹ a 0.20 m entre hileras con el objetivo de alcanzar el rango de 80 a 100 plantas por m² a cosecha (Sursem, 2004).

El diseño experimental fue en bloques con parcelas divididas (split plot), con un arreglo factorial 3 x 2, es decir que consiste en asignar un tipo de tratamiento a las parcelas mayores (para este caso la condición hídrica: riego con agua limpia, riego con agua residual y secano) y asignar otro tipo de tratamiento a las subdivisiones de las parcelas mayores que se denominan sub-parcelas (para este caso cultivares SW-Eclipse – Máster).

La superficie del ensayo fue de 340,20 m², compuesta por un total de 9 parcelas de una superficie neta unitaria de 11,2 m² (3,5m x 3,2m), dejando caminos de 2,1m de ancho que actúan como bordes. Para seguir la evolución de humedad del suelo se colocaron sensores que detectan el potencial de succión del agua en el suelo en centibares a través de un lector digital de resistencia eléctrica a tres profundidades (0.08m, 0.23 m y 0.43 m).

La programación del riego se definió para un punto de marchitez incipiente (Wi) se fijó para un consumo de agua útil del 12 %, sabiendo que esto correspondería a una succión de agua del suelo registrada por los sensores equivalente a 40 centibares.

Se hizo una aplicación de Glifosato (sal isopropilamina, 48 g, concentrado soluble) a una dosis de 6 L ha⁻¹ y un volumen de agua de 100 L en preemergencia y una aplicación posemergente de 180 cm³ ha⁻¹ de Lontrel para malezas de hoja ancha.

La recolección de semillas para evaluar rendimientos, se realizó cosechando 1 m² en el centro de la parcela dejando el resto como bordes. Posteriormente, se separó en forma manual los tallos de las semillas procediendo al pesado de las muestras trilladas de cada parcela.

El sistema de riego usado fue subterráneo (Gushiken, 1995; Geoflow Wasteflow, 1999) sin automatización, el cual contó con un centro de control (Figura 6) para tratar los diferentes tipos de agua. El sistema de distribución está compuesto por 150,8 m de tubería de PVC de 40 mm de diámetro externo Clase 6 y 95.5 m de tuberías de goteo Naan Tif 16/1 conectadas en un circuito cerrado a la red principal (red mallada) con una descarga unitaria de 1,75 L h⁻¹ por punto de emisión a 1,5 bar de presión. Todo el sistema se ubicó, manualmente, a una profundidad de 0,3 m por debajo de la superficie del suelo (Carlile y Sanjines, 1995) incorporando un sistema de protección a la intrusión radical con una manta de geotextil (Crespi, 2003) haciendo su instalación en forma manual.



Figura 6. Sistema de riego subterráneo y su protección. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

➤ **Ajo**

La plantación de ajo se realizó el 21/04/05 y la cosecha del cultivar Morado INTA se realizó el 21/11/05 y los cultivares “blancos” el 29/11/05.

Se utilizaron tres cultivares de ajo (*Allium sativum L.*) tipo comercial “blanco” Nieve INTA, Perla INTA y Unión y un cultivar tipo “morado” Morado INTA y fueron regados con agua limpia y agua residual tratada. Se realizó un diseño en franjas, de 16 m de largo (Figura 7), cada bloque o repetición, fue de 6 m de largo, con un marco plantación de 0.7 m entre surco por 0.08 m entre plantas de ajo (178570 plantas ha⁻¹).

Los tratamientos de riego sobre los cultivares de ajo fueron: 1 - testigo (riego con agua de perforación) (AL); 2 - riego con agua de perforación más fertilizante (100 kg de N. ha⁻¹) (AL 100); 3 - riego con agua de perforación mas fertilizante (150 kg de N. ha⁻¹) (AL 150) y 4 - riego con efluente urbano tratado (ART).

El sistema de riego fue por superficie en surcos a nivel y el abastecimiento se realiza desde la cabecera mediante tuberías de PVC de 160 mm de diámetro provista de ventanitas cada 0.70 m de distancia (Figura 7) y las parcelas se regarán a un punto de marchitez incipiente de 0,5 desde el punto de vista de consumo y el control de malezas métodos combinados químicos y mecánicos.

Se evaluará tamaño de las plantas a inicio de bulbificación (momento en que la relación diámetro de cuello/diámetro de bulbo alcanza el valor 0,5), rendimiento comercial de bulbos (peso seco) y composición diametral; proporción de bulbos bien formados, bulbos chicos y malformaciones en postcosecha (presencia de ajos “rebrotado”, “macho”, “martillo” “diente extra”).

El tamaño de las plantas se expresará como seco a estufa de la parte aérea. El tamaño del bulbo se indicará como peso medio del bulbo.

Se realizará el análisis de la varianza de los datos y la comparación múltiple de las medias según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$).



Figura 7. Sistema de riego en ajo por surcos a nivel. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Los análisis microbiológicos para determinar la presencia o ausencia de microorganismos dañinos para la salud se realizarán mediante el recuento de coliformes totales, búsqueda de *Escherichia coli* a través de las pruebas metabólicas: producción de Indol, Rojo de Metilo, Voges Proskauer y Crecimiento en agar citrato y la detección de *Salmonella* a través de las anteriores pruebas metabólicas más TSI, Fenil Alanina, Urea, Agar LIA (Lab. de Alimentos Cs. Exactas. UNRC, 2005).

➤ **Maíz**

El 20/10/5 se sembró en forma manual -con bastón- el material genético seleccionado para todos los tratamientos un híbrido simple de maíz NK 880 TD MAX de Syngenta. La densidad de siembra fue de 78000 semillas por hectárea a una distancia entre hileras de 0.7 m valor que es el recomendado para la zona en estudio. Como consecuencia de entrar los animales en V₅ y comer la mitad del ensayo fue necesario resembrar el 1/12/5.

El diseño experimental utilizado fue el de parcelas en franjas con un arreglo factorial 3 x 5 donde el tratamiento principal consistió en niveles hídricos dejando 4 surcos en condiciones de secano, 8 surcos regados con agua de perforación y 8 surcos regados con agua residual tratada. Las parcelas con riego artificial de distinto tipo (limpia y residual), fueron divididas en 4 surcos en que la reposición se fijó al 30 % y al 50 % desde el punto de vista de consumo. El tratamiento secundario fueron tres dosis de fertilizante nitrogenado, aplicando en V₆; 0, 60 y 120 Kg ha⁻¹. El fertilizante se incorporó entre 5 y 10 cm de profundidad de manera manual (Figura 8).

La aplicación de aguas residuales se realizó captando desde una laguna de maduración y derivada mediante una electrobomba de 3.5 HP de un caudal de 11000 L h⁻¹ y una altura manométrica de 20 m hacia las parcelas de maíz ubicadas a 15 m. La aplicación de agua limpia se hizo mediante una perforación de 4" de diámetro y a 25 m de profundidad donde se instaló una electrobomba de eje vertical de una potencia de 3 HP marca Motorarg, modelo 414/3 con una presión máxima de 4 kg cm⁻² y parámetros de operación de 20 m y un caudal de 7200 L h⁻¹.

Se empleó un sistema de riego por surcos con salida de agua al pie y una pendiente longitudinal del 0.3 %. La cabecera de riego será abastecida por tuberías con ventanita que erogan un caudal unitario de 1800 L h⁻¹ y se puede observar en la Figura 9 el comportamiento general de este cultivo en V₁₁, destacando las diferencias fenológicas entre secano y riego.

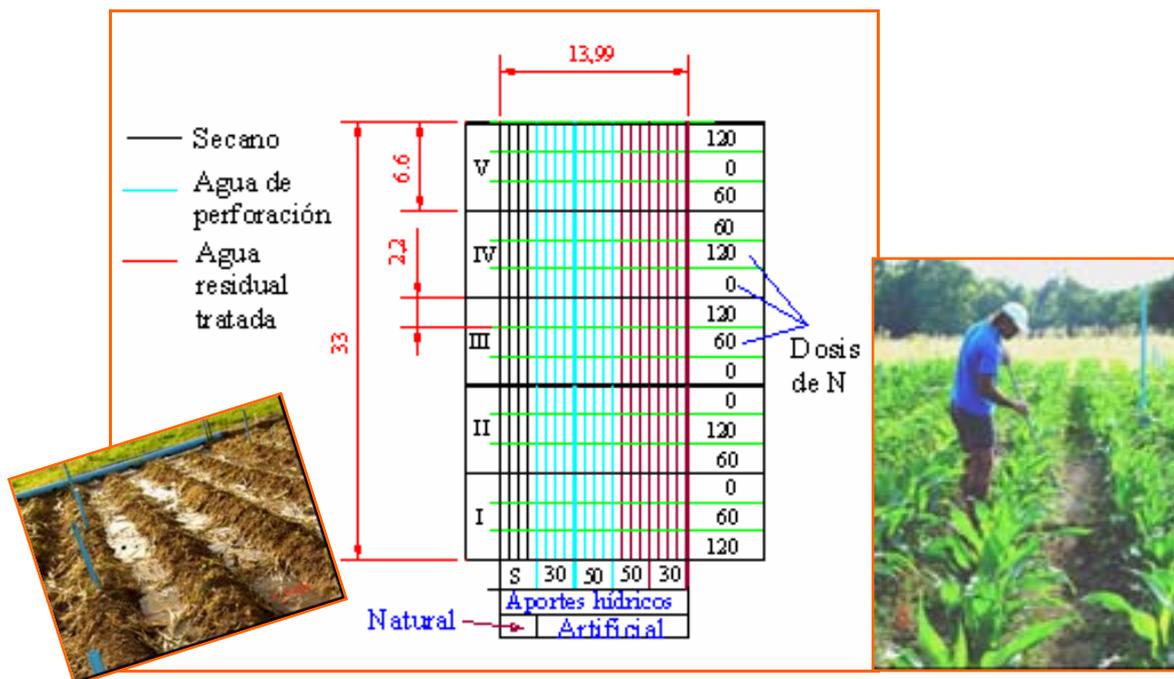


Figura 8. Diseño experimental para el cultivo de maíz. Ciclo 2005/06. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Las parcelas experimentales fueron de 2.2 metros de largo por 2.8 metros de ancho con 4 hileras separadas a 0.70 m entre si; sumando un total de 15 parcelas por bloque con 5 repeticiones aleatorizadas. Los análisis estadísticos se realizaron usando el programa SPSS 10 (Pérez, 2001).

El seguimiento del agua del suelo será a través del método gravimétrico, para lo cual se tomarán muestras a diferentes profundidades del perfil de suelo (10, 20, 55, y 90 cm de profundidad) en forma semanal.

Las variables climáticas necesarias como temperaturas (C°) y precipitaciones (mm) serán suministrados por la Estación Agrometeorológica de la U.N.R.C. ubicado en cercanías del Campus Experimental.



Figura 9. Apreciación visual del maíz en secano y bajo riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

► Otras alternativas de reutilización

Como este es un proyecto muy dinámico, constantemente se están incorporando nuevas líneas de investigación con la correspondiente formación de recursos humanos no solo a nivel de grado sino también de postgrado. En tal sentido, solo se muestran algunos avances en lo que es la conducción de los nuevos sistemas:

- **Sistemas agroforestales y filtros verdes**

Son regados con agua limpia y residual, el ensayo agroforestal consiste en parcelas de alfalfa (*Medicago sativa*) junto a 60 álamos (*Pópulus sp.*). Las dimensiones del ensayo son 32 m de frente por 35 m de largo (Figura 10) y se pretende medir el consumo vegetal y modelar el crecimiento de los cultivos. Detrás de la cabecera distribuidora del agua con tuberías de PVC con ventanitas se observa la Planta de Tratamiento y mas atrás los filtros verdes con 120 eucaliptos (*Eucalyptus sp.*) que son regados con agua residual cruda para estudiar la dinámica de la población microbiana en el proceso conocido como edafodepuración, a la vez que determinar el crecimiento y desarrollo de la masa forestal según cuatro especies mostrados en la parte superior de la figura: glóbulus, sideroxilon, viminalis y teretiscornis.



Figura 10. Sistema agroforestal y filtros verdes. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

- **Lombricompuesto**

Para este fin se han instalado 4 cunas de cedro de 1.2 m x 3.0 m x 0.3 m (Figura 11) y serán regadas con agua limpia y residual tratada mediante difusores de 3 m de radio para un consumo de 500 L h⁻¹ a una presión de operación de 1.5 kg cm⁻², previendo comenzar el ensayo en Abril de 2007.



Figura 11. Instalación del sistema para producción de lombricompuesto. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Ya se han empezado a agregar el material seleccionado en forma periódica estimando terminar el relleno en Enero del 2006 para dar comienzo a la etapa de compostaje y luego de 60 días introducir las lombrices californianas (*Eisenia foetida*) para la producción de humus.

- **Coriandro**

El 20/5/6 se realizaron las labores culturales pertinentes para la siembra de coriandro (*Coriandrum sativum*) tipo marroquí, actividad que fue realizada el 11 de Junio de 2006. La densidad fue de 20 kg ha⁻¹ que se corresponde con unas 300- 500 plantas por metro cuadrado. (Figura 12).



Figura 12. Coriandro bajo riego en diferentes estados fenológicos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Las dimensiones del ensayo fueron 7 m por 34 m, se sembró a 0.70 m y se regó por superficie con tuberías con ventanitas y dos tipos de agua, limpia y residual tratada. Los resultados estadísticos se analizarán con el SPSS 11.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad e interpretación del agua de riego

- **Estática**

En la Tabla 4, se muestra los resultados producto de la interpretación desde un punto de vista estático del análisis químico del agua de perforación (limpia).

Tabla 4. Interpretación del análisis del agua de perforación. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Determinaciones químicas	Valor
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)	1.21
Conductividad Eléctrica (CE) (dS/m)	0.45
Carbonato Sódico Residual (CSR) (meq/L)	1.23
pH	7.40
Relación de Adsorción de Sodio Ajustada (RASaj)	2.18
Grado de dureza (° Hidrom. franceses)	10.87
Porcentaje relativo de sodio (%)	35.59
Contenido de sales totales (mg /L)	313.09
Presión osmótica (bares)	0.16
Abonado extra por potasio (kg/ha año)	9.35
Efecto del ion cloro (meq/L)	10.44
Índice de magnesio (meq/L)	34.56

En función de estos datos se puede hacer una breve interpretación, si se toma en forma aislada la CE esta es un agua buena para riego, su valor de pH como índice de acidificación, si bien

no es el principal responsable de la calidad de agua para riego, aquí se encuentra dentro de los límites normales. Ahora, cuando se hacen interactuar los iones presentes en esta muestra surgen algunas conclusiones interesantes:

El valor del CSR es bajo y determina que sea recomendable el uso de esta agua y que no causaría acción degradante cuando se aplique al suelo.

El valor del índice de magnesio, no refleja toxicidad al aplicarse este tipo de agua, no tampoco deficiencia de calcio en los cultivos.

Con este índice de cloro no habría problemas de toxicidades específicos y según Follet y Soltanpour, (1989), el valor de cloro de la muestra, denota que generalmente es seguro para cualquier cultivo. Más aún considerando que en estos trabajos solo se usa riego por aspersión en casos excepcionales, pero no es la norma como metodología de riego.

En definitiva, se puede considerar que para los cultivos bajo esta experiencia y de acuerdo tanto al nivel de salinidad, sodicidad y toxicidad; no se presenta ningún problema al destinar esta agua para riego, clasificándola en forma general, como de buena calidad (Hershey, 1993), con un grado de restricción en su uso de ligero a moderado (Montgomery, 1985).

Respecto al agua residual y observando solo la salinidad, su calidad es regular para riego. Por otro lado, analizando el agente dispersante, se considera un agua de baja peligrosidad sódica ya que el RAS, es de 5.22, la RASaj, es de 11.47. En conclusión, atendiendo el comportamiento interactivo del sodio y de las sales; se deduce que la calidad del agua tratada para riego, se encuadra dentro de la categoría de uso restrictivo débil a moderado (Tchobanoglous y Burton, 1991).

- **Dinámica del agua en el suelo**

Si bien es muy importante la comprensión e interpretación de las variables involucradas en el tratamiento anterior; tanto o más lo es el hecho de predecir que ocurrirá cuando esta agua de riego se incorpora al suelo, ya que el dato que los laboratorios informan sobre la CE del agua de riego, lo cual no es información suficiente para valorar la posible futura afectación a los cultivos, pues los verdaderos problemas aparecen cuando se concentra la solución del suelo y se alcanzan los límites de solubilidad de algunas sales, que al precipitar, retiran ciertos iones de la solución, modificándose las proporciones relativas que se presentaban en su origen.

Es posible seguir la evolución que sufrirá el agua de riego limpia cuando se aplique a este suelo, haciendo variar sus concentraciones. De esta manera y aún haciendo un muy mal manejo, permitiendo concentrar 10 veces la solución del suelo, se alcanzarían valores de $CE = 1.55 \text{ dS/m}$ y un RAS de 3.82, indicadores que no serían preocupantes.

Por último, independientemente del tipo de agua de riego que se trate, debe advertirse a la comunidad científica en general, sobre la necesidad de observar detenidamente las apreciaciones vertidas sobre el tema de calidad de agua por el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (U.S Salinity Laboratory, 1954), fundamentalmente en el uso de ciertos gráficos de difusión mundial, porque parte de su información adolece de varios errores en cuanto a salinidad y sodicidad y conducen a una interpretación del agua de riego que tiene serias falencias conceptuales.

Planta de tratamiento

- **Interpretación del análisis microbiológico**

En relación a la presencia de microorganismos patógenos, algunos autores (Oron y otros, 1999), consideran que cuando se aplica riego subterráneo, podría obviarse totalmente la etapa de desinfección, atendiendo al proceso de edafodepuración; esto coincide con apreciaciones de Contreras y otros (2002), que si bien el principal inconveniente del uso de aguas tratadas, es la presencia de gérmenes patógenos; el sistema de riego subterráneo, reduce la presencia de los mismos en los horizontes superficiales de suelo. A pesar de esta cierta seguridad de uso del agua tratada con riego subterráneo y teniendo en cuenta que también se condujeron en este trabajo otras líneas de investigación usando riego por superficie, fue necesario determinar la carga microbiana del agua residual, lo cual se realizó en el Laboratorio de Microbiología de la UNRC para cuantificar los valores con que se contaba en el agua residual cruda (ARC) y como evolucionaban los mismos a

través de las etapas de tratamiento. Los muestreos correspondientes de coliformes totales en tres lugares diferentes, o sea a la entrada al reactor biológico; a la salida del reactor biológico (SRB) y por último a la salida de la laguna de maduración (SLM). Como se observa en la Figura 13, hubo una reducción de coliformes en 7 logaritmo por efecto del tratamiento combinado de lodos activados con laguna de maduración; en definitiva, la concentración promedio de coliformes a la entrada de las parcelas de riego, fue de 3.3×10^5 NMP/100 mL de agua residual

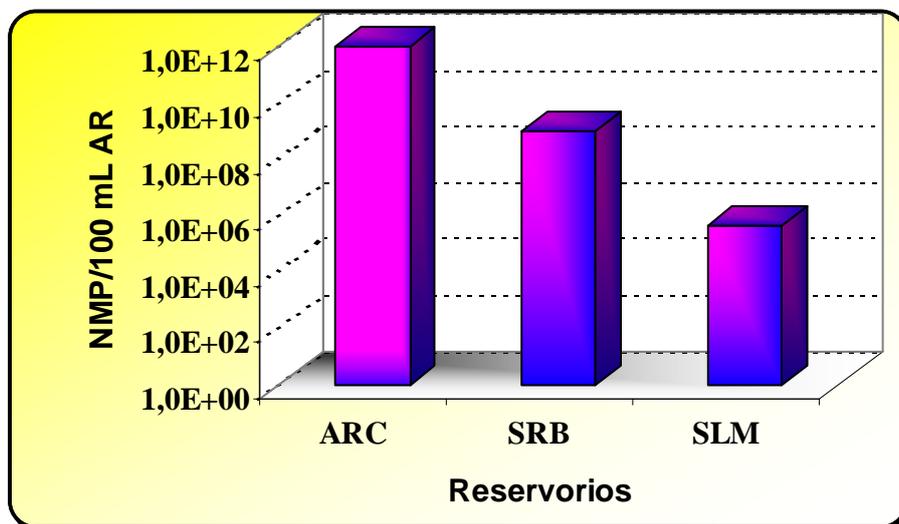


Figura 13. Eliminación de gérmenes patógenos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Respecto de los resultados del agua residual analizada en el Laboratorio de Efluentes de la Fac. de Ingeniería de la UNCuyo (Mendoza), los porcentajes de remoción de nutrientes y nivel de contaminantes, se encuentran dentro de los límites normales para lo que significa un tratamiento secundario con intensiva tasa de procesamiento, como son lodos activados o combinación de estas tecnologías convencionales con no convencionales (Wilson y otros, 1988); para el caso de los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio, después que el agua residual fue tratada en el lodo activado y permanecer durante el tiempo de residencia correspondiente en la laguna de maduración, se produjo una remoción del 70%, 44 % y 0 % respectivamente (Figura 14); mientras que los resultados de la demanda biológica de oxígeno (DBO_5), teniendo en cuenta la relación entre la carga de contaminantes a la entrada de las parcelas de riego y la carga de contaminantes del agua residual cruda, indican un porcentaje de remoción del 60 %.

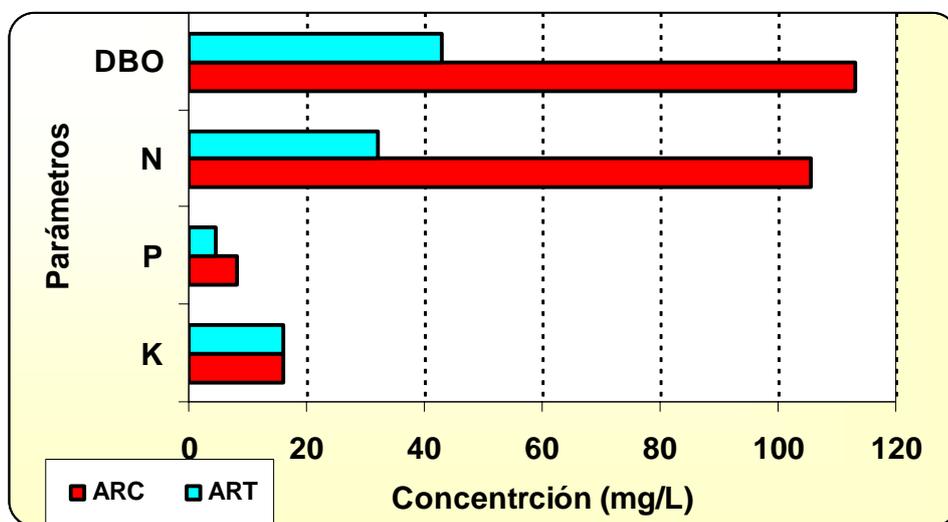


Figura 14. Remoción de contaminantes y nutrientes. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Planta de Reutilización

- Colza

Durante el ciclo del cultivo al aporte agua mediante riego subterráneo (Trooien y otros, 2000) -considerando una eficiencia de aplicación del 90 %- fue de 241.6 mm y se distribuyó en 29 riegos con esta metodología (Figura 15) más dos riegos por aspersión realizados en el estado fisiológico B₁ para prevenir el efecto perjudicial de las heladas.

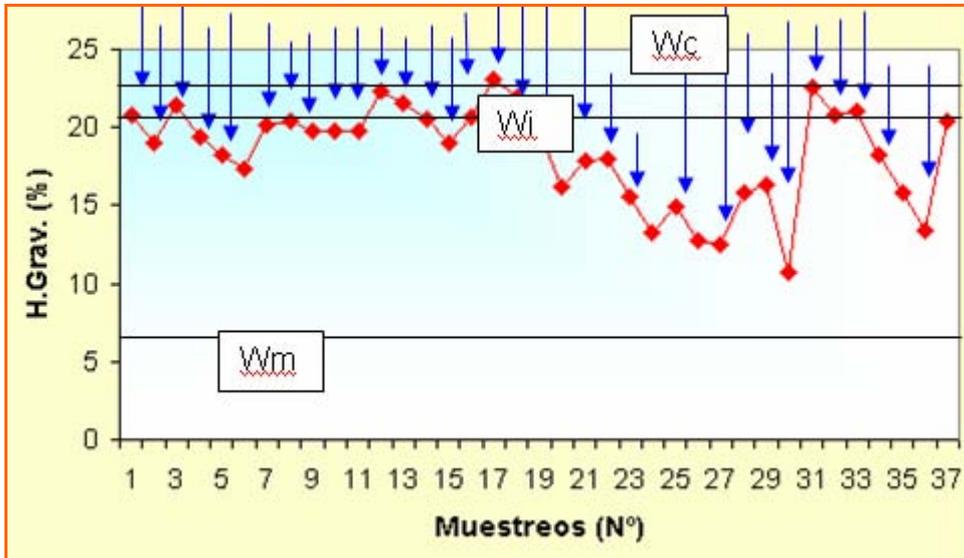


Figura 15. Humedad de suelo y momentos de riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Además se pudo observar la evolución hídrica del perfil del suelo con los valores de humedad respectivos, habiendo establecido las constantes hídricas del suelo, capacidad de campo (Wc) y punto de marchitez permanente (Wm), fijando el punto de marchitez incipiente (Wi). Con flechas se dejó indicado la oportunidad de riego.

Los resultados obtenidos como producción de semillas para cada condición hídrica y para los dos cultivares se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Evaluación de rendimientos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Parcela	Condición Hídrica	Rendimiento (kg/ha)	
		Eclipse	Master
1	Agua Limpia	2858	1971
2	Agua Residual	2734	2690
3	Secano	920	1012
4	Agua Limpia	2448	2095
5	Agua Residual	2597	2257
6	Secano	960	609
7	Agua Limpia	3145	1036
8	Agua Residual	1894	1710
9	Secano	1600	1121

Independientemente del cultivar, la producción promedio con agua limpia, agua residual tratada y secano fue de 2258 kg ha⁻¹, 2313 kg ha⁻¹ y 937 kg ha⁻¹ respectivamente y si además se independiza el tipo de agua, los cultivos bajo riego superan en aproximadamente 2.5 veces el rendimiento del cultivo en condiciones de secano marcando grupos homogéneos y diferencias altamente significativas para análisis de comparación de medias según LSD (menor diferencia significativa).

Ahora si se consideran los cultivares independientemente de la condición hídrica el rendimiento promedio de Eclipse superó en 246 kg ha⁻¹ a la variedad Master; no obstante, esta diferencia no llegó a ser estadísticamente significativa (Picca y otros, 2006).

Respecto a la densidad de siembra sería importante realizar mas experiencias en este sentido pues Harker y otros, (2003), recomiendan para sus condiciones de suelo en Canadá una densidad de siembra mayor o igual a 150 semillas/m² y que esto aunado al uso de híbridos y una remoción temprana de malezas en estado B2, produjo un aumento relativo de rendimiento del 41 %.

Con la aparición de los cultivares transgénicos, se amplió el espectro del control de malezas y los cultivares de colza resistente a Glifosato y esta tecnología fue adoptada rápidamente por los agricultores canadienses, logrando rendimientos superiores a los 4500 kg ha⁻¹, no registrándose daños significativos en las plantas cultivadas por efecto del herbicida (Harker y otros, 2000). A pesar de esta comodidad y mayor flexibilidad en el manejo del cultivo para el productor; Zand y Beckie (2002) opinan que el incremento del costo de los herbicidas, hacen necesario optimizar las alternativas de producción y manejo de otros cultivares aprovechando su vigor híbrido y mejorando la competencia con malezas debido a su heterosis, como así también, seleccionar variedades y/o híbridos de rápida emergencia y expansión del área foliar.

Por otra parte y buscando combustibles alternativos, colza esta de moda en Argentina, es uno de los principales cultivos que aportan la materia prima para la producción de biodiesel con rendimientos que duplican al de la soja, 37 kg de aceite/100 kg de semilla, con múltiples ventajas respecto al petrodiesel, entre ellas: recurso renovable, ecológico, de mínimo impacto ambiental y asegurando larga vida útil de los motores basado en su mayor poder de lubricidad. Un solo ejemplo es suficiente para valorar la importancia de este cultivo y sus perspectivas futuras; un agricultor de 100 ha –sin considerar los subproductos generados- se autoabastece de biodiesel con 6.5 ha de colza considerando un rendimiento promedio de 2000 kg ha⁻¹ de semilla (Crespi, 2005).

- **Ajo**

Se aplicó durante el ciclo del cultivo una lámina de agua de 378 mm a través de 10 riegos, suspendiendo los mismos 30 días antes de la cosecha, el total de agua recibida por el cultivo fue 478.8 mm de agua, lo cual se considera inferior a los requerimientos hídricos para el desarrollo del cultivo del ajo, que debe ser 600 mm a 1000mm durante el ciclo (Burba, 1993) y para obtener altos rendimientos (Gabriel y otros; 1999).

No se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos: AL, AL100, AL150 y ART de un mismo cultivar, pero si entre cultivares. La mayor producción -independientemente de los tratamientos-, fue de Nieve INTA (10535 kg ha⁻¹) quien no se diferenció estadísticamente de Unión y Morado INTA, pero si de Perla INTA, superado el rendimiento promedio en 22 %. En la parte central Figura 16 se observan los bulbos normales para diferentes tratamientos del cultivar Unión y se muestran distintas tipos de anormalidades observadas en los cultivares experimentados.



Figura 16. Normalidad y anormalidad en la bulbificación. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Con respecto a la proporción de bulbos normales, con anomalías en la bulbificación y su correspondiente peso, se obtuvieron los siguientes resultados: considerando los bulbos normales e independientemente de los tratamientos, no existen diferencias significativas entre Unión y Morado INTA con 73.8 % y 78.3 % respectivamente, pero si estos dos cultivares tuvieron diferencias con Nieve INTA y Perla INTA con 60 % y 54 % de bulbos bien formados.

Atendiendo a todos los cultivares y todos los tratamientos, no hubo diferencias significativas en el calibre de los ajos normales y chicos registrando valores promedios de 55 mm y 30 mm respectivamente; por otra parte, la producción de los cuatro cultivares se observa en la Figura 17.

Ninguna de las colonias desarrolladas presentó pruebas metabólicas correspondientes a *E. coli* ni a *Salmonella*.

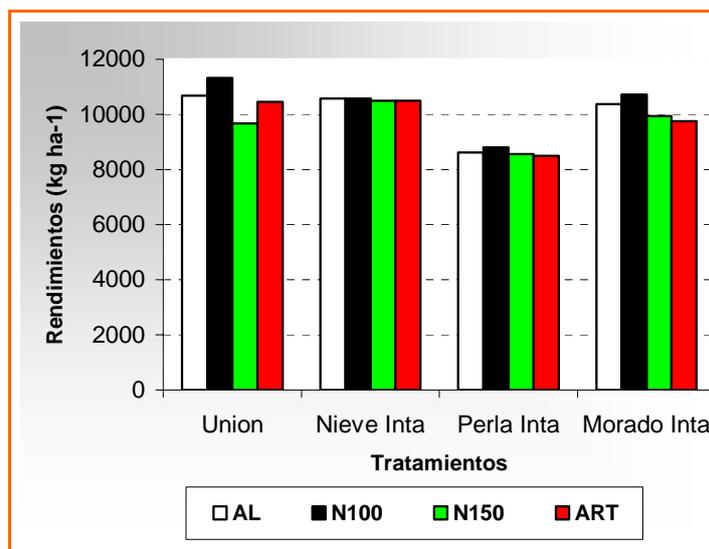


Figura 17. Producción de cultivares de ajo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

- **Maíz**

Analizando la producción del cultivo para los distintos tratamientos, independientemente de la dosis de N aplicada (Figura 18), las parcelas regadas con agua residual supera en 7 % a las regadas con agua limpia y en 41 % al cultivo de secano, siendo esta diferencia estadísticamente significativa. Ahora si se consideran las diferentes dosis de N e independientemente de la condición hídrica, el mejor comportamiento del cultivo se manifestó aplicando una dosis de N de 60 kg ha⁻¹ con un máximo absoluto de 13522 kg ha⁻¹, pero no siendo significativas las diferencias promedios respecto a la no aplicación de N o fertilizar con 120 kg ha⁻¹.

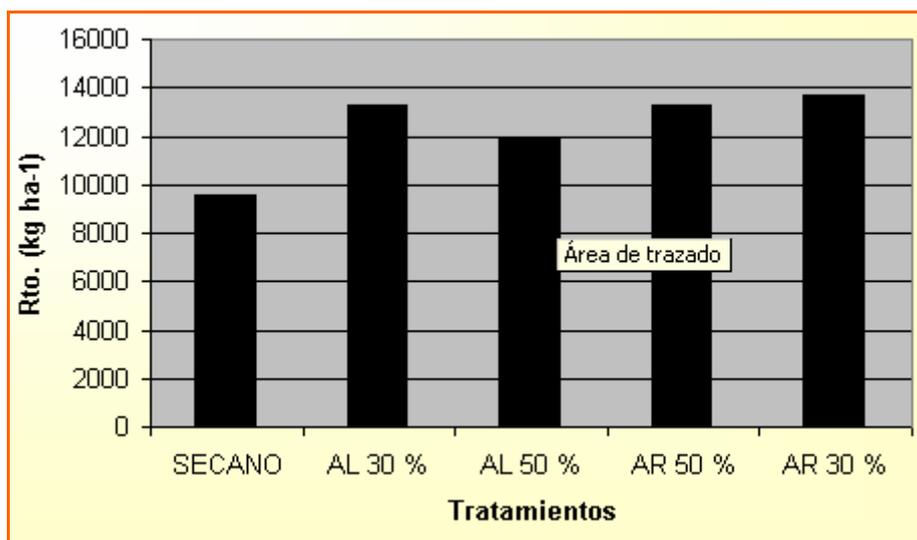


Figura 18. Producción del cultivo de maíz. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Cuando no se aplicó fertilizante nitrogenado, el mayor rendimiento promedio fue de 14296 kg ha⁻¹, con un máximo absoluto de 17804 kg ha⁻¹ y se logró cuando se regó con ART al 50 % desde el punto de vista de consumo.

Ahora si se analizan las variaciones de producción para las diferentes dosis de N y solo para los tratamientos regados, el mayor rendimiento promedio se obtuvo con ART independientemente del umbral de riego y en esta consideración superó en un 20 % al maíz regado con agua de perforación.

En condiciones de secano el mayor rendimiento promedio se obtuvo cuando se aplicó una dosis de 120 kg ha⁻¹ de N siendo estadísticamente significativo respecto al cultivo en iguales condiciones que recibió dosis menores de N (0 y 60 kg ha⁻¹).

CONCLUSIONES

- Definitivamente se ha comprobado la eficiencia del tratamiento de aguas residuales urbanas en medio de centros poblados, tratando -siempre que técnicamente se permita- manejar los efluentes bajo la concepción de tecnologías no convencionales de bajo costo; evitando la contaminación del recurso hídrico, reutilizando el efluente y reincorporándolo al ciclo productivo.

- La única forma de interpretar el ecosistema e introducir innovaciones tecnológicas en este sentido, es la conformación de un equipo interdisciplinario que permite optimizar el accionar, reafirmar el desempeño de ciertas tecnologías o líneas de investigación y aportar su formación específica para solucionar temas complejos.

- El mayor rendimiento con agua residual tratada en los cultivos ensayados, se debe al aporte conjunto de macronutrientes (N, P, K), nutrientes secundarios (Ca, Mg, S) y micronutrientes, logrando una “fertilización” balanceada.

- En relación a la producción de ajo, se puede concluir que al no haber diferencias en los rendimientos entre los distintos tratamientos ni anormalidades en la bulbificación; es aconsejable redireccionar el destino del agua, usando para este cultivo solo agua residual tratada, pues aporta los nutrientes esenciales, sin afectar la cantidad y la calidad sanitaria del producto cosechado y el agua de perforación destinarla a consumo humano.

- A pesar de ser un solo año de ensayo, se ha comprobado en maíz la eficiencia en el uso del agua residual y la no necesidad de aplicar fertilizantes nitrogenados para obtener elevados rendimientos; no obstante será necesario seguir investigando con este cultivo como tantos otros en esta Planta Experimental a los fines de tomar decisiones definitivas y comprobadas estadísticamente sobre el uso de agua y fertilizantes.

- Varios años de investigación con el cultivo de colza en estas condiciones ecológicas lo sitúan como una interesante alternativa invernal al trigo, pero definitivamente se ha demostrado que la colza tiene altos requerimientos de nutrientes y agua, por lo cual solo se aconseja para el sur de la provincia de Córdoba, su cultivo bajo condiciones de riego.

- Emprendimientos de esta naturaleza, requieren además de la capacidad técnica, un decidido apoyo institucional -como el aquí realizado por la UNRC-; de tal manera, que además de comprender y compartir esta filosofía de trabajo, brinde apoyo económico concreto, pues solo producto de la acción conjunta se pueden conducir proyectos de esta relevancia, con desarrollos tecnológicos fácilmente transferibles al sector demandante. Por otra parte, la formación de recursos humanos y las solicitudes manifestadas por numerosos municipios e instituciones comprometidas con la protección del medio ambiente y la salud de sus habitantes; son fuertes incentivos que generan compromiso y responsabilidad para el mantenimiento de una labor eficiente y racional; que responda a los requerimientos de la sociedad, pensando en su bienestar y en el de las generaciones por-venir.

PERSPECTIVAS FUTURAS

1. Ampliación de la Reutilización del agua residual generada con la conexión de 52 nuevos departamentos que significan el agregado de los efluentes generados por 208 habitantes.
2. Aplicación de tecnologías no convencionales de Filtros Verdes con una plantación de 120 eucaliptos (*Eucalyptus sp.*)
3. Ensayo para determinar el potencial de rendimiento de un híbrido de maíz (*Zea mays L.*) de última generación interactuando con *Azospirillum* y fertilización nitrogenada.
4. Experiencia agroforestal con 110 álamos (*Pópulus sp.*) y alfalfa para semilla y/o forraje.
5. Evaluación de cultivos no convencionales (*Coriandro sp*)
6. Instalación y evaluación de de la línea de compostaje y humificación
7. Diseño, instalación y evaluación de biodigestores para el aprovechamiento de la línea de sólidos y destinarla a la producción de Biogas y/o electricidad.
8. Evaluación del trabajo conjunto de *Lemna sp.* en la depuración y su empleo en piscicultura.
9. Evaluación del comportamiento de maíz para choclo (hortícola) interactuando fertilizantes, agua de perforación y agua residual tratada.
10. Instalación de un canal de escorrentía con plantas emergentes para bajar la DBO del agua residual, su posterior tratamiento en lagunas de maduración y su reutilización en cultivos bajo riego.
11. Evaluación económica-financiera del proyecto de inversión
12. Establecer convenios y respectivos protocolos de trabajo con otros centros de investigación o empresas privadas nacionales e internacionales, para optimizar el manejo de efluentes urbanos mediante tecnologías no convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

- ADESUR.** (1999). "Asociación interinstitucional para el sur de Córdoba. Plan Director". Secretaría Técnica de Adesur. Universidad Nacional de Río Cuarto. 99 pag. Córdoba. Argentina.
- Asano, T.** (1991). "Planning and implementation of water reuse projects". Wat. Sci. Tech. 24(9), pp. 1-10.
- Avnimelech, Y.** (1993). "Irrigation with sewage effluents: The Israeli experience". Environ. Sci. Technol. American Chemical Society. Vol. 27(7).
- Black, C.A.** (1965). Methods of soil. Análisis Part 1. Physical and Mineralogical Properties Phis. Cond. of Wat. in soil. Pag. 9: 28-152.
- Bossolasco M. y R. Crespi.** (2005). "Protection of the Environment and Reuse of Water Resource". Proceedings. Session 5. The Problems of sustaining Freshwater Supplies. Pag. 100. International Geographical Union. Buenos Aires. Argentina
- Burba, J. L.** (1993). Producción de "semilla" de ajo. Manual de Producción de Semillas Hortícolas. Ed. Por J. Crnko. Fascículo 5. INTA. E. E. A. p. 163 La Consulta. Mendoza. Argentina
- Cantero Gutierrez, A., E.M. Bricchi, V.H. Becerra, J.M. Cisneros y H.A. Gil.** (1986). Zonificación y Descripción de las Tierras del Departamento de Río Cuarto (Córdoba). 78 pág. Córdoba. Argentina.
- Carlile, B.L. y A. Sanjines.** (1995). "Subsurface trickle irrigation system for on-site Wastewater disposal and reuse". Pág. 1-11.
- Castro Dassen, H.; L. Monelos; P. Peri y C. Albrieu.** (2003). "Reuso de Aguas Servidas Tratadas para Riego con Goteo Subterráneo de una forestación en Santa Cruz". Informe técnico. Univ. Nac. de la Patagonia Austral. 14 pág
- Contreras París, J.L.: J. Martínez López; M. Alcalde Muñoz; J. Pérez Parra y J. Roldán Cañas.** (2002). "Influencia del sistema de riego localizado enterrado en la utilización del agua residual depurada para riego de hortalizas". XX Congreso Nacional de Riegos. Pág. 75-77.
- Crespi, R.** (2003). Riego Subterráneo con Aguas Residuales Tratadas. Tesis doctoral. Departamento de Hidráulica. Córdoba. España.
- Crespi, R.** (2005 a). "Reutilización de Aguas Residuales en la Producción Agrícola". Rev. HYDRIA. Programa de Participación Social en la Gestión del Agua. Año I. N° 3. Pag. 10. Argentina
- Crespi, R.** (2005). El Biodiesel. Combustible del futuro. Reunión técnica. Eª. La Amalia. Grupo productores CREA. Washington-Mackena. Córdoba. Argentina
- Crespi, R.** (2006). "Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas". I Cong. Internacional de Gestión y tratamiento del agua. PRODTI-UNC. Córdoba. Argentina.
- Crespi, R.** (2006). "Tratamiento y Reutilización de Efluentes Urbanos". 2º Concurso Nacional de Innovaciones. Buenos Aires. Argentina
- Crespi, R., L. Grosso, O. Plevich, A. Thuar, C. Frigerio, C. Rodríguez, S. Bettera, A. Ricagni, M. Bossolasco y J. Boehler.** (2006). "Tratamiento y reutilización de aguas residuales urbanas". 15 Congreso Arg. De Saneamiento y Medio Ambiente. AIDIS Argentina. Buenos Aires. Argentina
- Crespi, R.; C. Rodríguez; O. Plevich; L. Grosso; M. Bossolasco; C. Frigerio; A. Thuar; J. Boehler; J. Puiatti; O. Barotto; M. Deamestri; A. Ricotto; D. Ramos y D. Picca.** (2005). "Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales Domiciliarias". XX Congreso Nacional del Agua. 14 pág. Mendoza. Argentina
- Crespi, R.; M. Bossolasco, A. Thuar y J. Puiatti.** (2005). "Producción de un cultivo de soja regado con aguas residuales e inoculado con *Bradirrizobium sp.* y *Azospirillum sp.*". XX Congreso Nacional del Agua. Libro de resúmenes. Riego y Drenaje. 10 pág. Mendoza. Argentina
- EPA.** (2000). "Municipal Technologies". Off. of Wast. Man.. 18 pág.
- Etchevehere, P.H.** (1976). Normas de reconocimiento de suelos. 2º Ed. INTA. Dpto. de suelos. Castelar.
- Follett, R.H. y P.N. Soltanpour.** (1989). "Irrigation water quality criteria". Colorado St. Univ. Coop. Ext.
- Fulhage, C.D.** (1993). Lagoon Pumping and Irrigation Equipment. Department of Agricultural Engineering. University of Missouri. Columbia.
- Gabriel, E. L.; G. Fasciolo y V. M. Lipinski.** (1999). "Evaluación del uso de efluentes domésticos tratados para riego de cultivos de ajo". VI Curso Taller Sobre Prod., Comerc. e Industrialización de Ajo. Mendoza. Argentina
- Geoflow Wasteflow.** (1999). Design and Installation manual. 27 pág.
- Grosso, L.; D. Ramos; V. Brizuela; y R. Crespi.** (2005). "Cultivares de ajo (*Allium sativum L.*) regados con efluentes urbanos tratados". Libro de resúmenes. HR3. Pág. 272. Gral. Roca. Río Negro. Argentina
- Gushiken, E.** (1995). "Water Reuse Throught Subsurface Drip Irrigation Systems". Irrig.Wat. Reuse. 3 pag.
- Hansen, J.W.** (1996). "Is Agricultural sustainability a useful concept". Agricultural System 50, pp. 117-143.

- Harker, K.N.; G.W. Clayton; R.E. Blackshaw, J.T.O'Donovan y FC. Stevenson.** (2003). "Seedling rate, herbicide timing and competitive hybrids contribute to integrated weed management in canola (*Brassica napus*)". *Can. J. Plant Sci.* 83:433-440.
- Harker, K.N.; R.E. Blackshaw; K.J. Kirkland; D.A. Derksen y D. Wall.** (2000). "Herbicide-tolerant canola: weed control and yield comparisons in western Canadá". *Can. J. Plant Sci.* 80:647-654.
- Hernández Muñoz, A., A. Hernández Muñoz y P. Galán Martínez.** (1996). Manual de depuración. Uralita Prod. Y Serv. SA. Obra civil. 419 pag.
- Hershey, D.R.** (1993). "Evaluation of irrigation water quality". *The Am. Biol. Teach.* 55(4). 6 pág.
- Jáuregui, L.U. y J.P. Schifini.** (2004). "Gestión y financiamiento en agua potable y saneamiento ante los desafíos del milenio". *ISA N° 77. AIDIS ARGENTINA.* Pág. 16-19.
- Montgomery, J.** (1985). Water treatment. Principles y Design. 696 pág.
- Oron, G.; C. Campos; L. Guillerman and M. Salgot.** (1999). "Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities". *Agr. wat. Man.* Vol. 38(3), pp. 223-234.
- Perez, C.** (2001). Técnicas estadísticas con SPSS. Prentice Hall. Universidad complutense de Madrid.
- Picca, D., R. Crespi, D. Introna, P. Cáceres y J. Puiatti.** (2006). "Producción de colza (*Brassica napus* L.) en secano y bajo riego con aguas residuales urbanas". Tesis de grado. 38 pág. Fac. de Agr. y Vet. Univ. Nac. de Río Cuarto. Córdoba. Argentina
- Ramallo, R.S.** (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. Ed. Reverté. España.
- Seoanez Calvo, M.** (1999). Aguas Residuales Urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. 2º Ed. Mundi Prensa. España.
- Siñeriz, F.; C. Bologna y N. Reartes.** (1999). "Tratamiento de Efluentes y Protección del Medio Ambiente". Fac. Cs. Exactas. UNRC. 135 pág.
- Sursem. Siembras Inteligentes.** (2004). Folleto técnico colza 2004. 12 pág. Pergamino. Buenos Aires.
- Tanji, K.K.** (1997). "Irrigation with marginal quality waters: Issues". *Journal of Irrig. and Drain. Eng.* Vol 123(3), pp. 165-169.
- Tchobanoglous, G. y F.L. Burton.** (1991). "Wastewater Engineering Treatment, Disposal y Reuse". 3º ed. 1334 pág.
- Trooien, T.P.; D.J. Hills y F.R. Lamm.** (2002). "Drip irrigation with biological effluent". In Proc. Irrig. Assn. Int'l Irrig. Tech. Conference. New Orleans.
- U.S. Salinity Laboratory Staff.** (1954). Saline y alkali soils. USDA. Agric. Hyb. 60. US Gov.
- Wilson, P.N.; T.J. Goldammer y J.C. Wade.** (1988). "Bioeconomic consideration for wastewater reuse in Agricultural Production". *Wat. Res. Bull.. Am. Wat. Res. Ass.* 24 (1):1-9.
- Zand, E. y H.J. Beckie.** (2001). "Competitive ability of hybrid and open-pollinated canola (*Brassica napus*) with wild oat (*Avena fatua*). *Can. J. Plant Sci.* 82:473-480