

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



PROYECTO FINAL

Para optar al grado de Ingeniero Agrónomo

***EFECTOS DEL RIEGO CON EFLUENTES URBANOS TRATADOS SOBRE LAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL CULTIVO DEL AJO***

De JUAN PABLO MALPASSI

DIRECTOR: Ing. Agr. Liliana Grosso

CO-DIRECTOR: Ing. Agr. Marcos Bongiovani

**Río Cuarto, Córdoba, Argentina**

**2005**

## **Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo**

### **Introducción**

La preocupación y el interés que la utilización de aguas regeneradas ha despertado en el mundo radica, principalmente, en que la agricultura es el sector que más agua demanda y, por ello, vistas las difíciles expectativas futuras del suministro de agua, tienen que buscar nuevas fuentes de suministro de agua alternativas a las ya existentes en la actividad (López García, S. *et al.* 1999).

Por razones económicas y ecológicas el reciclaje de los subproductos de la actividad humana en todos sus aspectos, agroindustriales o biológicos, es una meta de primordial importancia en el mundo de creciente presión demográfica. (Nijensohn, L. *et al.* 1997).

En muchos países del mundo, particularmente en aquellos en vías de desarrollo como Argentina, el uso irracional de recursos no renovables, su sobreexplotación, y la destrucción del ecosistema; parece ser el denominador común. No obstante, es preciso proyectar y trabajar atendiendo el concepto de “sustentabilidad”, para usar racionalmente los recursos a fin de maximizar los beneficios agrícolas del presente, sin comprometer el bienestar de las próximas generaciones.

En este contexto, debe entenderse que el reuso de los efluentes es una alternativa válida para toda vez que se comprenda que constituyen “un recurso” y no “un desperdicio”. (Crespi, R. *et al.* 2005).

### **Importancia del cultivo en la Argentina**

La demanda brasilera fue el elemento central que dinamizó de manera explosiva la producción nacional de ajo en los últimos años. Entre las campañas 1989/90 y 1995/96 la superficie sembrada saltó de 6500 a 9800 hectáreas y la cosecha creció de 40 mil a 90 mil toneladas. (SAGPyA. 1997).

## **Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo**

Argentina es el segundo país exportador de ajo, luego de China, destinando al mercado externo entre el 70 % y el 80 % de la producción, estimada entre 80.000 y 120.000 t/año. Las provincias de Mendoza y San Juan concentran el 80 % de la producción y el 95 % de las exportaciones (Burba, 2005).

Gracias a las condiciones agroecológicas apropiadas para el cultivo que posee el país, especialmente en la provincia de Mendoza, la calidad del producto que se exporta es óptima y los crecientes pedidos de los mercados externos así lo confirman.

La provincia de Mendoza aporta el 77%, seguida de San Juan con 13%, éstas están fundamentalmente dedicadas al ajo de exportación ya sea de ajos “morados”, “blancos” o “colorados”. El sur de Buenos Aires (4%) y el norte de Córdoba (3%) son abastecedores tradicionales del mercado interno (Trapé, A y col.; 2001; Italia, R.; 2001).

La planta del ajo se adapta a una multitud de tipos de suelo; siempre y cuando estén bien drenados. Los suelos excesivamente arcillosos pueden tener ciertas limitaciones en el sentido de su facilidad para el encharcamiento. (García Alonso, C.R. 1990).

Debe tenerse en cuenta que el bulbo desarrolla bajo la superficie. Las texturas de suelo más adecuados son las francas y las franco-arenosas. Los suelos con gran porcentaje de arcilla dificultan la cosecha y pueden provocar deformación de bulbos. Los suelos arenosos, en cambio, si bien no presentan limitaciones desde el punto de vista físico, presentan niveles de materia orgánica (zona semiárida) y de nitratos normalmente bajos, como así también su retención hídrica. (Vigliola, M.I. 2003).

Numerosos ensayos locales en ajo colorado, han demostrado el efecto positivo de la fertilización nitrogenada (N) y la falta de respuesta a la fertilización fosforada en suelos con contenidos relativamente bajos para la zona (4 mg./kg.). La falta de respuesta al fósforo también fue encontrada por otros autores. Sin embargo, en Chile, obtuvieron respuesta al nitrógeno combinado con fósforo (P), alcanzando un máximo de producción comercial con una dosis de 150 kg. N/ha. Y 39 kg. de P (90 kg. de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en suelos con muy bajos niveles de este último nutriente.

## **Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo**

Por otra parte, en Bahía Blanca se obtuvieron rendimientos más elevados cuando se aplicaron 150 kg. de N/ha. con una densidad de 400 mil plantas/ha. y no encontraron respuesta al K. En Italia, en cambio, encontraron respuesta a la aplicación de N y K. La fertilización con P produjo una disminución de los rendimientos. (Lipinski, V.M. *et al.*1995).

### **Importancia de los efluentes tratados:**

La reutilización agrícola está basada en aprovechar los nutrientes contenidos en el agua para el desarrollo de los cultivos, además este riego preserva la fertilidad y la estructura de los suelos. Por otro lado, en muchos países en vías de desarrollo, es la única opción de fertilización agrícola y además permite la disminución de los organismos patógenos en las aguas excedentes de riego por el proceso de retención que se produce en el suelo, con lo cual resulta un tratamiento adicional de depuración de las aguas. (Esteller. M.V, 2001).

Las aguas residuales empleadas para riego abarcan todos los posibles grados de depuración, desde aguas no tratadas hasta las procedentes de tratamientos terciarios, y han sido utilizadas para el riego de todas las especies vegetales y con todos los sistemas de riego existentes. (Esteller. M.V, 2001).

La mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales instalados en Latinoamérica no incluyen el manejo y disposición de los lodos residuales que generan. Los métodos de disposición utilizados actualmente son, esencialmente, basureros a cielo abierto, vertidos al drenaje o a corrientes superficiales, rellenos sanitarios e incineración. Esto provoca contaminación ambiental debido a los altos contenidos de patógenos, metales pesados y tóxicos orgánicos que presentan estos lodos. Las tecnologías más utilizadas hasta el momento para evitar esta problemática comienzan a ser reemplazadas por nuevos procedimientos tales como la digestión alcalina, el composteo y la aplicación del lodo de manera directa al suelo, previa estabilización con cal o digestión aerobia o anaerobia. Estos procedimientos permiten emplear lodos en agricultura con el fin de aprovechar sus características ya que los lodos puede utilizarse como acondicionadores

## **Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo**

de suelos, fertilizantes, en la recuperación de suelos erosionados, en parques, áreas forestales y jardines, así como en viveros (Hilleboe, 1974).

En el Valle de León, donde se riega con aguas residuales con altos contenidos en cromo, también se han desarrollado algunas investigaciones como las de Castañón et al. (1995) y Chilton et al. (1996). En estos casos se presentan impactos ambientales negativos como son la contaminación de las aguas subterráneas, la de los suelos y el incremento de las enfermedades infecciosas entre la población debido a que las aguas residuales son utilizadas sin ningún tratamiento de depuración, lo que implica una alta carga contaminante en el agua residual. Como aspecto positivo hay que señalar el incremento de la producción agrícola en estas áreas y la mejora de las características de los suelos. . (Esteller. M.V, 2001).

Un efluente tratado aporta macroelementos en cantidades suficientes como para reducir o eliminar la necesidad de fertilizar, además de agregar materia orgánica como acondicionador del suelo. (Gabriel;E.L, Fasciolo; G.E. *et al*, 2000).

La creciente demanda del recurso hídrico obliga a priorizar el uso del agua de primera calidad para el abastecimiento público y aprovechar aguas de menor calidad en usos menos exigentes, como el riego agrícola. Cabe destacar que, además del potencial que ofrecen los efluentes domésticos como oferta de agua como riego, son una importante fuente de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) y de materia orgánica para los cultivos. Con respecto a la fuente de nutrientes que puede resultar de un efluente tratado, la literatura menciona que, para una aplicación de riego de 20000 m<sup>3</sup> por hectárea por año, están asociados a tasas de aplicación de 300 kg. por hectárea de nitrógeno y 60 kg. por hectárea de fósforo, lo que puede reducir o eliminar la necesidad de aplicar fertilizante, además de la materia orgánica que se agrega como acondicionador del suelo. (OMS, 1989).

En Estados Unidos ha sido donde un mayor número de proyectos de reutilización de aguas residuales se han llevado a cabo, empleándose un caudal de 2.6 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/día (riego, procesos industriales, recarga de acuíferos, acuicultura, uso recreacional), y en el caso concreto de California esta reutilización representa 0.9 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/día, con un elevado porcentaje de este

## **Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo**

caudal dedicado al riego. Un caso ejemplar, son los países localizados en el Oriente Próximo. En Egipto, por ejemplo, se ha puesto bajo riego con aguas residuales depuradas unas 33200 ha, cerca de El Cairo y en la región oeste del Delta del Nilo, cultivándose cítricos, dátiles y cacahuets, existiendo planes para otras 69000 ha. En Kuwait, 0.3 106 m<sup>3</sup>/día de aguas depuradas son empleadas para el riego de alfalfa, cereales y vegetales, y en menor medida en zonas verdes, mientras que en Libia se utilizan 0.1 106 m<sup>3</sup>/día para el riego de cereales, sorgo, patatas y diversos vegetales. En el caso de Arabia Saudita en 1991 se empleaban en riego 1.106 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales tratadas. En todos estos países se ha planificado la instalación de plantas de tratamiento con depuración a nivel terciario para que el agua una vez tratada sea reutilizada tanto en agricultura como en industria, fundamentalmente (Arar, 1991).

En México se han llevado a cabo algunos estudios para determinar la calidad del agua residual empleada para riego y el efecto que este riego produce en el ambiente. Cabe destacar los trabajos que se han llevado a cabo en el Valle del Mezquital donde se riega con aguas residuales procedentes de la Ciudad de México, como son los de Cifuentes et al. (1992), Siebe y Cifuentes (1993), Cortés (1993), Chilton et al. (1996) y Jiménez y Chavéz (1998).

El principal peligro de la utilización de aguas residuales es la contaminación de los alimentos con microorganismos patógenos y la aparición de enfermedades transmitidas por el agua. El uso de aguas negras no tratadas o tratadas de modo inadecuado con fines de riego lleva asociado un alto riesgo de infección con helmintos y un riesgo entre medio y bajo de infección con bacterias entéricas y virus. En general, la información disponible indica que los efectos negativos sobre la salud sólo constituyen un problema cuando se utilizan para el riego aguas residuales brutas o insuficientemente tratadas (FAO, 1999).

Se considera al riego con efluentes como una fertilización nitrogenada en ajo, y nitrogenada y fosforada en cebolla, aumentando con respecto al tratamiento del agua con perforación sin agregado de fertilizantes los rendimientos medios de los mismos en un 15 y 25% respectivamente y los calibres del bulbo entre un 9 y 5% respectivamente.

La velocidad de infiltración en suelos regados con efluentes domésticos tratados durante 3 años aumentó con respecto a la de las parcelas regadas con agua de perforación.

## **Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo**

Las aguas residuales contienen cantidades apreciables de nitrógeno, que pueden suponer, por tanto, un beneficio para el agricultor. Considerando que las aguas residuales pueden tener un contenido de nitrógeno de 20-40 mg.l<sup>-1</sup>, podemos estimar que un cultivo al que se aplica en el riego un total de 5000 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> recibe por tanto una dosis de nitrógeno de 100-200 kg.ha<sup>-1</sup>. Estas cantidades pueden cubrir en muchos casos las necesidades de nitrógeno del cultivo (Bouwer y Idelovitch, 1987).

Se considera, por lo tanto, que el contenido de materia orgánica y de fósforo en el efluente tratado produce modificaciones en la estructura del suelo. (Fasciolo; G.E. 2002).

El siguiente estudio tiene como propósito probar que las aguas residuales pueden ser utilizadas para mejorar las características físico-químicas del suelo y proporcionar alguno de los elementos nutricionales que requiere el cultivo para su normal crecimiento y desarrollo.

### **Hipótesis**

El riego con efluentes urbanos tratados mejora las características físicas y químicas del suelo y genera un ambiente más favorable para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

### **Objetivos**

Evaluar el efecto que produce los riegos con aguas residuales tratadas sobre las características físicas, físico-químicas y químicas del suelo.

Evaluar el efecto de los riegos con aguas residuales tratadas sobre los rendimientos del cultivo del ajo.

### **Materiales y métodos**

## **Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo**

Implantación del ensayo: El ensayo comienza en la temporada de abril del año 2005 con la implantación del cultivo, en el campo experimental de la FAV. de la Universidad Nacional de Río Cuarto, próximo a las residencias universitarias, sobre un suelo Hapludol típico. Para ello, se utilizaron tres cultivares de tipo comercial “blanco”: Nieve INTA, Perla INTA y Unión; y un cultivar tipo “morado”: Morado INTA.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con tres repeticiones.

Los bloques fueron de 6 mts. de largo y 0,70 mts. entre surcos; por 0,08 mts. entre plantas.

Características del suelo: (0 – 20 cm.)

Materia orgánica (%): 1.74 (método Walkley-Black)

Fósforo (ppm): 50.9 (método Kurtz y Bray I)

Conductividad eléctrica (Ds/m): 0.10 (1:1)

pH: 6.60 (potenciometría 1/2,5)

N- $\text{No}_3^-$  (ppm): 13,5 (reducción por Cadmio)



## Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo

### Composición química del efluente:

Determinación analítica	Unidades	Valor
Sólidos Sedimentables (10 min)	ml/l	0,5
Sólidos Sedimentables (120 min)	ml/l	0,8
Sólidos Totales	mg/l	842
Sólidos Totales Fijos	mg/l	298
Sólidos Totales Volátiles	mg/l	544
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	590
Sólidos Disueltos Fijos	mg/l	380
Sólidos Disueltos Volátiles	mg/l	210
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	252
pH		7,82
Conductividad Eléctrica	dS/m	1,13
Turbiedad	FAU	263,5
Color Verdadero	PtCo APHA	1150
Nitrógeno Total	mg/l	108,5
Sulfatos	mg/l	14,5
Fósforo Total	mg/l	8,1
Hierro	mg/l	1,3
Litio	mg/l	No detectable
Boro	mg/l	0,14
Cromo	mg/l	0,04
Magnesio	mg/l	11,6
Manganeso	mg/l	0,08
Níquel	mg/l	No detectable
Potasio	mg/l	16
Plomo	mg/l	No detectable
Selenio	mg/l	No detectable
Sodio	mg/l	158
Aluminio	mg/l	0,99
Arsénico	mg/l	0,017
Cadmio	mg/l	0,00014
Calcio	mg/l	50
Zinc	mg/l	0,11
Cobalto	mg/l	No detectable
Cobre	mg/l	No detectable
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	113

## Efectos del riego con efluentes urbanos tratados sobre las características físicas y químicas del suelo en el cultivo de ajo

Composición química del agua limpia:

Aniones		meq/l	mg/l	Valor
Carbonatos	(CO <sub>3</sub> =)	0	0	
Bicarbonatos	(CO <sub>3</sub> H)	2,92	178,12	
Cloruros	(Cl)	0,24	8,51	
Sulfatos	(SO <sub>4</sub> =)	0,345	16,57	
Sumatoria		3,505	203,201	
<b>Cationes</b>				
Calcio	(Ca <sup>++</sup> )	2	40,08	
Magnesio	(Mg <sup>++</sup> )	0,24	2,918	
Sodio	(Na <sup>+</sup> )	0,85	19,55	
Potasio	(K <sup>+</sup> )	0,27	10,557	
Sumatoria		3,36	73,105	
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)				0,8
Conductividad Eléctrica (CE) en dS/m				0,35
pH				6,85

Los tratamientos a realizar son dos:

- 1) Cuatro cultivares de ajo regados con *agua limpia* (Testigo). El mismo recibió unos 600 mm de agua efectiva, contabilizando el aporte de las precipitaciones de 214 mm efectivos y el riego 378 mm, a través de 10 riegos por superficie.
- 2) Cuatro cultivares de ajo regados con *efluentes tratados*. Recibiendo estos el mismo aporte hídrico que el anterior

La evolución de la humedad del suelo se determinó mediante la instalación de celdas "Watermark" a 4 profundidades (0,10 m, 0,25 m, 0,60 y 0,95 m) y la oportunidad de riego se fijó al 40 % desde el punto de vista de consumo, por lo tanto, se efectuarán los riegos

necesarios durante todo el ciclo del cultivo controlando periódicamente la condición hídrica del suelo.

#### Tratamiento de los efluentes:

Para llevar a cabo este proyecto se tomo el efluente de 8 departamentos de las residencias estudiantiles universitarias. Este pasa por 4 cámaras sépticas y vierte en una tubería principal de PVC de 110 mm de diámetro externo, de 48 m de longitud, clase 4 y en su trayectoria esta provista de 3 cámaras de inspección. Con una pendiente del 1,5 % se conduce el efluente por gravedad hasta un pozo absorbente con paredes de cemento y piso de tierra de 1 m de diámetro y 4 m de profundidad. En el fondo se ha instalado una electro bomba centrífuga portátil de  $\frac{3}{4}$  HP, con un flotante automático que periódicamente es activado para conducir a través de 42 metros de tubería de PVC de 110 mm de diámetro, el efluente hacia un reactor biológico de una capacidad de 24000 litros.

El tratamiento de aguas residuales se realizará mediante la aplicación de tecnologías no convencionales disponiendo 3 lagunas en serie. La primera tiene por objetivo producir la digestión de la materia orgánica, bajando en 10 veces la demanda biológica de oxígeno y las otras 2 lagunas tienen por objetivo eliminar a través de luz ultravioleta la población de gérmenes patógenos hasta el nivel permisible para riego.

El tiempo que lleva desde que llega el agua sin tratar hasta que la misma es utilizada como agua de riego es de 6 horas en la primera laguna y de 1,5 días a 3 días en las otras 2 lagunas dependiendo de la época del año. En verano 1,5 días y en invierno 3 días.

[Grafico de diseño del equipo de riego en las residencias universitarias](#)



Se tomarán muestras de suelo a los 120 días después de la siembra (0,10 y 0,30 mts. de profundidad).

Determinaciones a realizar:

De suelo: - Regado con agua limpia:

- PH
- Conductividad eléctrica (salinidad)
- % de materia orgánica
- % Porosidad
- Infiltración
- N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg./kg.)
- P disponible (mg./kg.)

- Regado con efluentes tratados:

- PH
- Conductividad eléctrica (salinidad)
- % de materia orgánica
- % Porosidad
- Infiltración
- N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg./kg.)
- P disponible (mg./kg.)

Del cultivo: - Regado con agua limpia:

- Evaluación de rendimientos

- Regado con efluentes tratados:

- Evaluación de rendimientos

Todos los resultados serán analizados mediante el programa SPSS, se efectuará un Análisis General Factorial de Varianza Univariado y los promedios se compararán según el test de Duncan ( $\alpha=0,05$ ).

## **Bibliografía**

**Arar, A.** (1991). Wastewater reuse for irrigation in the Near East Region. Water Sci. and Tech 23: 2127-2134.

**Bouwer, H. y E. Idelovitch.** 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. J. Irrig. & Drainage Eng. 113: 516-535.

**Burba, J. L.** 2005. INFORAJO 2. Ediciones, INTA. - EEA. La Consulta. Mendoza.

**Chilton, P.J.; Morris, B.L. y Foster, S.** (1996) “Los recursos hídricos subterráneos y la disposición de aguas residuales urbanas, interacciones positivas y negativas”. VII Curso Internacional OMS-PNUMA-GEMS/OPS-CEPIS/ODA-BGS. 42 pp.

**Cifuentes, E.; Blumenthal, M.J., Ruiz Palacios, G. y Beneth, S.** (1992). “Health impact evaluation of wastewater in Mexico”. Public. Health Revue 19:243-250.

**Cortés, M.J.E.** (1993). “Metales pesados en agricultores expuestos a aguas residuales en el Distrito 03 - Tula”. Tesis de Maestría en Ciencias en Salud Ambiental. Instituto nacional de salud Pública. México.

**Crespi, R; C. Rodríguez; O. Plevich; L. Grosso; M. Bossolasco; C. Frigerio; S. Bettera; A. Thuar; J. Bohler; J. Puiatti; O. Barotto; M. Demaestri; A. Ricotto; D. Ramos; D. Picca.** Tratamiento y reutilización de aguas residuales domiciliarias. CONAGUA 2005. XX Congreso Nacional del agua. III simposio de recursos hídricos del cono sur. Río Cuarto, Argentina.

**Esteller. M.V.** Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura. I Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación. Toluca, México. 20-22 de Junio de 2001.

**Fasciolo; G.E.** Impactos agroeconómicos del riego de cultivos con aguas residuales urbanas. Junio, 2002. Argentina.

**Gabriel; E.L., Fasciolo; G.E., Morábito; J., Tosí; F. y Meca; M.I.** 2000. Potencial fertilizante de efluentes tratados en cultivo de cebolla (*Allium cepa*, L.). Junín, Mendoza. Argentina.

**García Alonso, C.R.** 1990. EL AJO: Cultivo y aprovechamiento. Ediciones Mundi-prensa, Madrid.

**Hilleboe, H. E.** (1974). Manual de tratamiento de aguas negras. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. Limusa. México. pp.

**Jiménez, B. y Chávez A.,** (1998) “Posibilidades de reuso en el Distrito Federal y el Valle de Mezquital”. 1er Simposio Latinoamericano de Tratamiento y Reuso del Agua y Residuos Industriales. Memorias Tomo II: 58.1-58.13.

**Lipinski, V.M. y S.Gaviola De Heras.** Efecto de diferentes dosis de NPK sobre el rendimiento de “Ajo Blanco”. IV Curso/Taller sobre producción, comercialización, e industrialización de ajo. 1995. Argentina.

**López García, S; A. Moya Mondéjar; M.A. Rodríguez Granados y M. Somosierra López.** (1999). Reutilización de aguas regeneradas en el riego. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes.

**Nijensohn L. y S. Gaviola** (1997). Barro cloacal digerido de la ciudad de Mendoza como fertilizante fosfórico. Horticultura Argentina: 16 (40-41).

**OMS, Organización Mundial de la Salud** (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Informe. Ginebra, OMS.(Informes técnicos, 778).

**Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación** (1997). LA SIEMBRA Y LA COSECHA. El crecimiento del sector agropecuario y pesquero argentino. Anuario Estadístico. Buenos Aires.

**Siebe, C. y Cifuentes, E.** (1993). “Environmental impact of wastewater irrigation in Central Mexico, an overview”. Inter. J. of Environmental Health Research, 3(4):28 pp.



**Trapé, A.; Pereyra, M.; Perez, C.; Lopez, B.; Burzichelli, S.** 2001. Serie de Informes de Coyuntura. Situación actual de ajo. Fundación IDR. Mendoza.

**Vigliola, M.I.** (2003). Manual de Horticultura. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Editorial Hemisferio Sur S.A.

**FAO:AG21:Revista:Enfoques:Agriculturaurbana.1999.**

[www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp2.html](http://www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp2.html).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROVACIÓN

Título del Trabajo Final

EFFECTOS DEL RIEGO CON EFLUENTES URBANOS TRATADOS  
SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL  
SUELO EN EL CULTIVO DEL AJO

Autor: MALPASSI, Juan Pablo

D.N.I: 28.082.091

Director: Ing. GROSSO, Liliana Elida

Co-Director: Ing. BONGIOVANI, Marcos

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fecha de presentación: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_.

Aprobado por secretaría académica: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Secretario Académico

# INDICE

	Página
Certificado de aprobación	I
Indice	II
Indice de tablas y figuras	III
Resumen	IV
Summary	V
I. Introducción	1
I.1 Importancia del cultivo en la Argentina	1
I.2 Importancia de los efluentes tratados	3
I.3 Hipótesis	6
I.4 Objetivos	6
II. Materiales y método	7
II.1 Actividades	15
III. Resultados y discusión	17
III.1 pH	17
III.2 Conductividad Eléctrica	17
III.3 Materia Orgánica	18
III.4 Porosidad	18
III.5 Infiltración	19
III.6 N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23
III.7 Fósforo	24
III.8 Rendimientos	26
IV. Conclusiones	28
V. Bibliografía	29

# INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Determinaciones químicas analíticas del agua residual. UNRC. Río Cuarto. Córdoba .....	8
<b>Tabla 2:</b> Análisis químico del agua limpia para riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. ....	9
<b>Tabla 3:</b> Láminas almacenadas (mm) durante el ciclo de cultivo de ajo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba .....	11
<b>Tabla 4:</b> Contenido hídrico del suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba .....	11
<b>Tabla 5:</b> Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable pH .....	17
<b>Tabla 6:</b> Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable C.E. ....	18
<b>Tabla 7:</b> Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable M.O .....	18
<b>Tabla 8:</b> Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable porosidad .....	19
<b>Tabla 9:</b> Necesidades de nitrógeno del ajo por tn. producida (Compo, 2006) .....	23
<b>Tabla 10:</b> Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable $N-NO_3^-$ .....	24
<b>Tabla 11:</b> Necesidades de fósforo del ajo por tn. producida (Compo, 2006) .....	25
<b>Tabla 12:</b> Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable P .....	25

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Acceso al sistema de tratamiento y reutilización de efluentes urbanos .....	7
<b>Figura 2:</b> Evolución de las precipitaciones correspondientes al año 2005 .....	10
<b>Figura 3:</b> Fecha de muestreos de humedad con sus correspondientes láminas almacenadas. UNRC. Río Cuarto. Córdoba .....	12
<b>Figura 4:</b> Lagunas de maduración para el tratamiento de las aguas residuales. UNRC, Río Cuarto. Córdoba. Argentina .....	13
<b>Figura 5:</b> Esquema de la distribución espacial de las instalaciones de riego en el predio experimental. UNRC, Río Cuarto. Córdoba .....	14
<b>Figura 6:</b> Calidad del agua para riego. Unex, 2004. ....	20
<b>Figura 7:</b> Curva de infiltración del agua con efluentes tratados .....	22
<b>Figura 8:</b> Curva de infiltración del agua limpia. ....	22
<b>Figura 9:</b> Rendimiento de bulbos ( $kg\ ha^{-1}$ ) de cuatro cultivares diferentes de ajo, regados con agua limpia (AL) y con efluentes tratados (EF) .....	26

## RESUMEN

Un grupo interdisciplinario de investigación de la UNRC ha desarrollado tecnologías para el tratado de efluentes urbanos que posiblemente podrían tener un uso de tipo agronómico. El estudio tuvo el propósito de probar que las aguas residuales tratadas pueden ser reutilizadas con un doble propósito: incrementar los niveles productivos de los cultivos, y mejorar la condición físico-química del suelo.

Para ello se realizó un ensayo en el campo experimental de la UNRC sobre un suelo Hapludol típico y se plantaron diferentes cultivares de ajo como indicadores de productividad. Los tratamientos a realizar fueron 2: (AL) cuatro cultivares de ajo regados con agua limpia; (EF) cuatro cultivares de ajo regados con efluentes tratados. El diseño experimental fue en franjas con tres repeticiones. Los bloques fueron de 6 m de largo y 0,70 m entre surcos por 0,08 m entre plantas .

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de DUNCAN ( $p < 0,05$ ). El riego con efluentes aumentó la proporción de P (ppm) en el suelo. La porosidad y la infiltración se incrementaron, los niveles de M.O. y  $N-NO^3$  no se modificaron; lo mismo que para pH y C.E.

Los rendimientos en todos tratamientos resultaron levemente inferiores al riego con efluentes urbanos aunque no hubo diferencias significativas.

**Palabras claves:** Ajo, riego, efluentes urbanos, características físicas, características químicas.

## SUMMARY

The UNRC professorship of agricultural hydrology has developed technologies for the treatment of urban effluents that could have a possible use in agronomy. The study had the purpose to prove that treated residual water can be reused with a double purpose: to increase the productive levels of the crops and to improve the physic-chemic condition of the soil.

For this reason a trial was conducted on the UNRC experimental field on a typical Hapludol soil and different garlic crops were planted as indicators of productivity. The treatments to be made were 2: (AL) four garlic crops irrigated with clean water; (EF) four garlic crops irrigated with treated effluents. The experimental design was done in strips with three repetitions. The blocks were 6 meters long and 0,70 meters in between furrows and 0,08 meters in between plants.

The data was examined through analysis of variation and comparisons of the averages with the DUNCAN test ( $p < 0,05$ ). The irrigation with effluents increased the proportion of P (ppm) in the soil. The porousness and infiltration were increased; the levels of M.O. and N-NO<sub>3</sub> were not modified; moreover the same happened with pH y C.E. levels.

The yield in all the treatments resulted barely inferior to those irrigated with urban effluents; however, there were no significant differences.

**Key words:** garlic, irrigation, urban effluents, physic characteristics, chemic characteristics.



## **Introducción**

La preocupación y el interés que la utilización de aguas regeneradas ha despertado en el mundo radica, principalmente, en que la agricultura es el sector que más agua demanda y, por ello, vistas las difíciles expectativas futuras del suministro de agua, tienen que buscar nuevas fuentes de suministro de agua alternativas a las ya existentes en la actividad (López Gracia, *et al.*, 1999).

Por razones económicas y ecológicas el reciclaje de los subproductos de la actividad humana en todos sus aspectos, agroindustriales o biológicos, es una meta de primordial importancia en el mundo de creciente presión demográfica. (Nijensohn, *et al.*, 1997).

En muchos países del mundo, particularmente en aquellos en vías de desarrollo como Argentina, el uso irracional de recursos no renovables, su sobreexplotación y la destrucción del ecosistema parece ser el denominador común. No obstante, es preciso proyectar y trabajar atendiendo el concepto de “sustentabilidad”, para usar racionalmente los recursos a fin de maximizar los beneficios agrícolas del presente, sin comprometer el bienestar de las próximas generaciones.

En este contexto, debe entenderse que el reuso de los efluentes es una alternativa válida para toda vez que se comprenda que constituyen “un recurso” y no “un desperdicio”. (Fulhage, 1993).

## **Importancia del cultivo en la Argentina**

La demanda brasilera fue el elemento central que dinamizó de manera explosiva la producción nacional de ajo en los últimos años. Entre las campañas 1989/90 y 1995/96 la superficie sembrada saltó de 6500 a 9800 hectáreas y la cosecha creció de 40 mil a 90 mil toneladas. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 1997).

Argentina es el segundo país exportador de ajo, luego de China, destinando al mercado externo entre el 70 % y el 80 % de la producción, estimada entre 80000 y 120000 t año<sup>-1</sup>. Las provincias de Mendoza y San Juan concentran el 80 % de la producción y el 95 % de las exportaciones (Burba, 2005).

Gracias a las condiciones agroecológicas apropiadas para el cultivo que posee el país, especialmente en la provincia de Mendoza, la calidad del producto que se exporta es óptima y los crecientes pedidos de los mercados externos así lo confirman.



La provincia de Mendoza aporta el 77%, seguida de San Juan con 13%, ambas están fundamentalmente dedicadas al ajo de exportación ya sea de ajos “morados”, “blancos”o “colorados”. El sur de Buenos Aires (4%) y el norte de Córdoba (3%) son abastecedores tradicionales del mercado interno (Gonzalez, O. 2003).

La planta del ajo se adapta a una multitud de tipos de suelo; siempre y cuando estén bien drenados. Los suelos excesivamente arcillosos pueden tener ciertas limitaciones en el sentido de su facilidad para el encharcamiento. (Garcia Alonso, C.R, 1990).

Debe tenerse en cuenta que el bulbo se desarrolla bajo la superficie. Las texturas de suelo más adecuados son las francas y las franco-arenosas. Los suelos con gran porcentaje de arcilla dificultan la cosecha y pueden provocar deformación de bulbos. Los suelos arenosos, en cambio, si bien no presentan limitaciones desde el punto de vista físico, presentan niveles de materia orgánica (zona semiárida) y de nitratos normalmente bajos, como así también su retención hídrica. (Vigliola, M.I, 2003).

La densidad de plantación es de 0,06 m a 0,08 m entre dientes de 6 a 8 g y a una profundidad de 0,04 m a 0,05 m, es decir, 250000 plantas por hectárea con 1500 kg de bulbillos (INTA, 2007).

Numerosos ensayos realizados en la EEA La Consulta, en la ciudad de Mendoza con ajo colorado, han demostrado el efecto positivo de la fertilización nitrogenada (N) y la falta de respuesta a la fertilización fosforada en suelos con contenidos relativamente bajos para la zona ( $4 \text{ mg kg}^{-1}$ ). La falta de respuesta al fósforo también fue encontrada por otros autores. Sin embargo, en Chile, obtuvieron respuesta al nitrógeno combinado con fósforo (P), alcanzando un máximo de producción comercial con una dosis de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N y  $39 \text{ kg ha}^{-1}$  de P ( $90 \text{ kg. de P}_2\text{O}_5$ ) en suelos con muy bajos niveles de este último nutriente. Por otra parte, en Bahía Blanca se obtuvieron rendimientos más elevados cuando se aplicaron  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N con una densidad de 400000 plantas.ha<sup>-1</sup> y no encontraron respuesta al K. En Italia, en cambio, encontraron respuesta a la aplicación de N y K. La fertilización con P produjo una disminución de los rendimientos (Lipinski, *et al.*,1995).

### **Importancia de los efluentes tratados:**

La reutilización agrícola está basada en aprovechar los nutrientes contenidos en el agua para el desarrollo de los cultivos. Además, este riego preserva la fertilidad y la

estructura de los suelos. Por otro lado, en muchos países en vías de desarrollo, es la única opción de fertilización agrícola y además permite la disminución de los organismos patógenos en las aguas excedentes de riego por el proceso de retención que se produce en el suelo, con lo cual resulta un tratamiento adicional de depuración de las aguas. (Esteller. M.V, 2001).

Las aguas residuales empleadas para riego abarcan todos los posibles grados de depuración, desde aguas no tratadas hasta las procedentes de tratamientos terciarios, y han sido utilizadas para el riego de todas las especies vegetales y con todos los sistemas de riego existentes. (Esteller. M.V, 2001).

En el Valle de León, se riega con aguas residuales con altos contenidos en cromo debido a que las aguas residuales industriales que proceden principalmente de las fabricas de cuero le dan al agua altos contenidos en cromo y cloruros. Allí, también se han desarrollado algunas investigaciones como las de Castañón *et al.* (1995) y Chilton *et al.* (1996). En estos casos se presentan impactos ambientales negativos como son la contaminación de las aguas subterráneas, la de los suelos y el incremento de las enfermedades infecciosas entre la población debido a que las aguas residuales son utilizadas sin ningún tratamiento de depuración, lo que implica una alta carga contaminante en el agua residual. Como aspecto positivo hay que señalar el incremento de la producción agrícola en estas áreas y la mejora de las características de los suelos. . (Esteller. M.V, 2001).

La materia orgánica disminuye la densidad aparente del suelo (por tener una menor densidad que la materia mineral), contribuye a la estabilidad de los agregados, mejora la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua. Tiene un papel importante en la mejora de la disponibilidad de micronutrientes (principalmente hierro, manganeso, zinc y cobre) para las plantas así como en la reducción de los efectos tóxicos de los cationes libres. La materia orgánica mejora la nutrición en fósforo, es posible que a través de favorecer el desarrollo de microorganismos que actúan sobre los fosfatos. Es posible que la formación de complejos arcillo-húmicos o la quelatación contribuyan a solubilizar los fosfatos inorgánicos insolubles. Además suele acidificar el medio, favoreciendo así indirectamente la absorción de nutrientes por las plantas, sirve de fuente de energía para los microorganismos del suelo y favorece la presencia de lombrices que contribuyen a estructurar el suelo (Terralia, 2008).

Un efluente tratado aporta macroelementos en cantidades suficientes como para reducir o eliminar la necesidad de fertilizar, además de agregar materia orgánica como acondicionador del suelo. (Gabriel, *et al*, 2000).

La creciente demanda del recurso hídrico obliga a priorizar el uso del agua de primera calidad para el abastecimiento público y aprovechar aguas de menor calidad en usos menos exigentes, como el riego agrícola. Cabe destacar que, además del potencial que ofrecen los efluentes domésticos como oferta de agua como riego, son una importante fuente de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) y de materia orgánica para los cultivos. Con respecto a la fuente de nutrientes que puede resultar de un efluente tratado, la literatura menciona que, para una aplicación de riego de  $20000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , están asociados a tasas de aplicación de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de N y  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de fósforo, lo que puede reducir o eliminar la necesidad de aplicar fertilizante, además de la materia orgánica que se agrega como acondicionador del suelo. (OMS, 1989).

En Estados Unidos ha sido donde un mayor número de proyectos de reutilización de aguas residuales se han llevado a cabo, empleándose un caudal de  $2.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  (riego, procesos industriales, recarga de acuíferos, acuicultura, uso recreacional), y en el caso concreto de California esta reutilización representa  $0.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ , con un elevado porcentaje de este caudal dedicado al riego. Un caso ejemplar, son los países localizados en el Oriente Próximo. En Egipto, por ejemplo, se ha puesto bajo riego con aguas residuales depuradas unas 33200 ha, cerca de El Cairo y en la región oeste del Delta del Nilo, cultivándose cítricos, dátiles y cacahuets, existiendo planes para otras 69000 ha. En Kuwait,  $0.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  de aguas depuradas son empleadas para el riego de alfalfa, cereales y vegetales, y en menor medida en zonas verdes, mientras que en Libia se utilizan  $0.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  para el riego de cereales, sorgo, patatas y diversos vegetales. En el caso de Arabia Saudita en 1991 se empleaban en riego  $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  de aguas residuales tratadas. En todos estos países se ha planificado la instalación de plantas de tratamiento con depuración a nivel terciario para que el agua una vez tratada sea reutilizada tanto en agricultura como en industria, fundamentalmente (Arar, 1991).

En México se han llevado a cabo algunos estudios para determinar la calidad del agua residual empleada para riego y el efecto que este riego produce en el ambiente. Cabe destacar los trabajos que se han llevado a cabo en el Valle del Mezquital donde se riega con aguas residuales procedentes de la Ciudad de México, como son los de Cifuentes *et al.* (1992), Siebe y Cifuentes (1993), Cortés (1993), Chilton *et al.* (1996) y Jiménez y Chavéz (1998).

El principal peligro de la utilización de aguas residuales es la contaminación de los alimentos con microorganismos patógenos y la aparición de enfermedades transmitidas por el agua. El uso de aguas negras no tratadas o tratadas de modo inadecuado con fines de riego lleva asociado un alto riesgo de infección con helmintos y un riesgo entre medio y bajo de infección con bacterias entéricas y virus. En general, la información disponible indica que los efectos negativos sobre la salud sólo constituyen un problema cuando se utilizan para el riego aguas residuales brutas o insuficientemente tratadas (FAO, 1999).

Se considera al riego con efluentes como una fertilización nitrogenada en ajo y nitrogenada y fosforada en cebolla, aumentando con respecto al tratamiento del agua de perforación sin agregado de fertilizantes los rendimientos medios de los mismos en un 15 y 25% respectivamente y los calibres del bulbo entre un 9 y 5% respectivamente. Se considera, por lo tanto, que el contenido de materia orgánica y de fósforo en el efluente tratado produce modificaciones en la estructura del suelo. (Fasciolo, 2002).

Las aguas residuales contienen cantidades apreciables de nitrógeno, que pueden suponer, por tanto, un beneficio para el agricultor. Considerando que las aguas residuales pueden tener un contenido de nitrógeno de 20-40 mg l<sup>-1</sup>, podemos estimar que un cultivo al que se aplica en el riego un total de 5000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> recibe por tanto una dosis de nitrógeno de 100-200 kg ha<sup>-1</sup>. Estas cantidades pueden cubrir en muchos casos las necesidades de nitrógeno del cultivo (Bouwer y Idelovitch, 1987).

El siguiente estudio tuvo como propósito probar que las aguas residuales pueden ser utilizadas para mejorar las características físico-químicas del suelo y proporcionar alguno de los elementos nutricionales que requiere el cultivo para su normal crecimiento y desarrollo.

### **Hipótesis**

El riego con efluentes urbanos tratados mejora las características físicas y químicas del suelo y genera un ambiente más favorable para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

### **Objetivos generales**

- Evaluar el efecto que producen los riegos con aguas residuales tratadas sobre las características físicas, físico-químicas y químicas del suelo.

### **Objetivos específicos**

- Determinar si se producen modificaciones en la porosidad e infiltración luego de realizar los riegos con efluentes tratados.
- Evaluar las variaciones producidas en el pH y la salinidad del suelo.
- Determinar si se producen aumentos en el contenido de materia orgánica, fósforo disponible y  $\text{N-NO}_3^-$  luego de efectuar los riegos.
- Evaluar el efecto de los riegos con aguas residuales tratadas sobre los rendimientos del cultivo del ajo.

## **Materiales y métodos**

Implantación del ensayo: El ensayo comenzó en la temporada de abril del año 2005 con la implantación del cultivo, en el campo experimental de la FAV. de la Universidad Nacional de Río Cuarto, próximo a las residencias universitarias, sobre un suelo Hapludol típico.



*Figura 1: Acceso al sistema de tratamiento y reutilización de efluentes urbanos.*

Para ello, se utilizaron tres cultivares de tipo comercial “blanco”: Nieve INTA, Perla INTA y Unión; y un cultivar tipo “morado”: Morado INTA.

El diseño experimental fue en franjas con tres repeticiones.

Los bloques fueron de 6 m de largo y 0,70 m entre surcos; por 0,08 m entre plantas.

### Características del suelo: (0 – 0,20 m)

Materia orgánica (%): 1.74 (método Walkley-Black)

Fósforo (ppm): 50.9 (método Kurtz y Bray I)

Conductividad eléctrica (dS/m): 0.10 (1:1)

pH: 6.60 (potenciometría 1/2,5)

N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ppm):13,5 (reducción por Cadmio)

### Composición química del efluente:

Las determinaciones físico-químicas fueron realizadas por el Departamento de Tecnología Química de la Facultad de Ingeniería de la UNRC y por CEPROCOR (Córdoba) a través de Espectrofotometría de Absorción atómica con Atomización en llama (FAAS) y Electrotérmica (ETAAS).

Tabla 1. Determinaciones químicas analíticas del agua residual. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Determinación analítica	Unidades	Valor
Sólidos Sedimentables (10 min)	ml L <sup>-1</sup>	0,5
Sólidos Sedimentables (120 min)	ml L <sup>-1</sup>	0,8
Sólidos Totales	mg L <sup>-1</sup>	842
Sólidos Totales Fijos	mg L <sup>-1</sup>	298
Sólidos Totales Volátiles	mg L <sup>-1</sup>	544
Sólidos Disueltos Totales	mg L <sup>-1</sup>	590
Sólidos Disueltos Fijos	mg L <sup>-1</sup>	380
Sólidos Disueltos Volátiles	mg L <sup>-1</sup>	210
Sólidos Suspendidos Totales	mg L <sup>-1</sup>	252
pH		7,82
Conductividad Eléctrica	dS/m	1,13
Turbiedad	FAU	263,5
Color Verdadero	PtCo APHA	1150
Nitrógeno Total	mg L <sup>-1</sup>	108,5
Sulfatos	mg L <sup>-1</sup>	14,5
Fósforo Total	mg L <sup>-1</sup>	8,1
Hierro	mg L <sup>-1</sup>	1,3
Litio	mg L <sup>-1</sup>	No detectable
Boro	mg L <sup>-1</sup>	0,14
Cromo	mg L <sup>-1</sup>	0,04
Magnesio	mg L <sup>-1</sup>	11,6
Manganeso	mg L <sup>-1</sup>	0,08
Níquel	mg L <sup>-1</sup>	No detectable
Potasio	mg L <sup>-1</sup>	16
Plomo	mg L <sup>-1</sup>	No detectable
Selenio	mg L <sup>-1</sup>	No detectable
Sodio	mg L <sup>-1</sup>	158
Aluminio	mg L <sup>-1</sup>	0,99
Arsénico	mg L <sup>-1</sup>	0,017
Cadmio	mg L <sup>-1</sup>	0,00014
Calcio	mg L <sup>-1</sup>	50
Zinc	mg L <sup>-1</sup>	0,11
Cobalto	mg L <sup>-1</sup>	No detectable
Cobre	mg L <sup>-1</sup>	No detectable
Demanda Biológica de Oxígeno	mg L <sup>-1</sup>	113

El Departamento de Microbiología de Ciencias Exactas de la UNRC, fue el responsable en un principio de realizar un conteo promedio del efluente cloacal crudo, estableciendo un valor de coliformes totales de  $9.0 \times 10^{12}$  NMP/100 ml de agua residual.

## Composición química del agua limpia:

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

Aniones		meq/l	mg/l	Valor
Carbonatos	(CO <sub>3</sub> =)	0	0	
Bicarbonatos	(CO <sub>3</sub> H)	2,92	178,12	
Cloruros	(Cl)	0,24	8,51	
Sulfatos	(SO <sub>4</sub> =)	0,345	16,57	
Sumatoria		3,505	203,201	
<b>Cationes</b>				
Calcio	(Ca <sup>++</sup> )	2	40,08	
Magnesio	(Mg <sup>++</sup> )	0,24	2,918	
Sodio	(Na <sup>+</sup> )	0,85	19,55	
Potasio	(K <sup>+</sup> )	0,27	10,557	
Sumatoria		3,36	73,105	
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)				0,8
Conductividad Eléctrica (CE) en dS/m				0,35
pH				6,85

Los tratamientos a realizar son dos:

- Cuatro cultivares de ajo regados con *agua limpia* (Testigo). El mismo recibió 600 mm de agua efectiva, contabilizando el aporte de las precipitaciones de 214 mm efectivos y el riego 378 mm, a través de 10 riegos por superficie.
- Cuatro cultivares de ajo regados con *efluentes tratados*. Recibiendo estos el mismo aporte hídrico que el anterior.



A continuación se presenta un gráfico indicador del aporte que recibió el cultivo por parte de las precipitaciones:

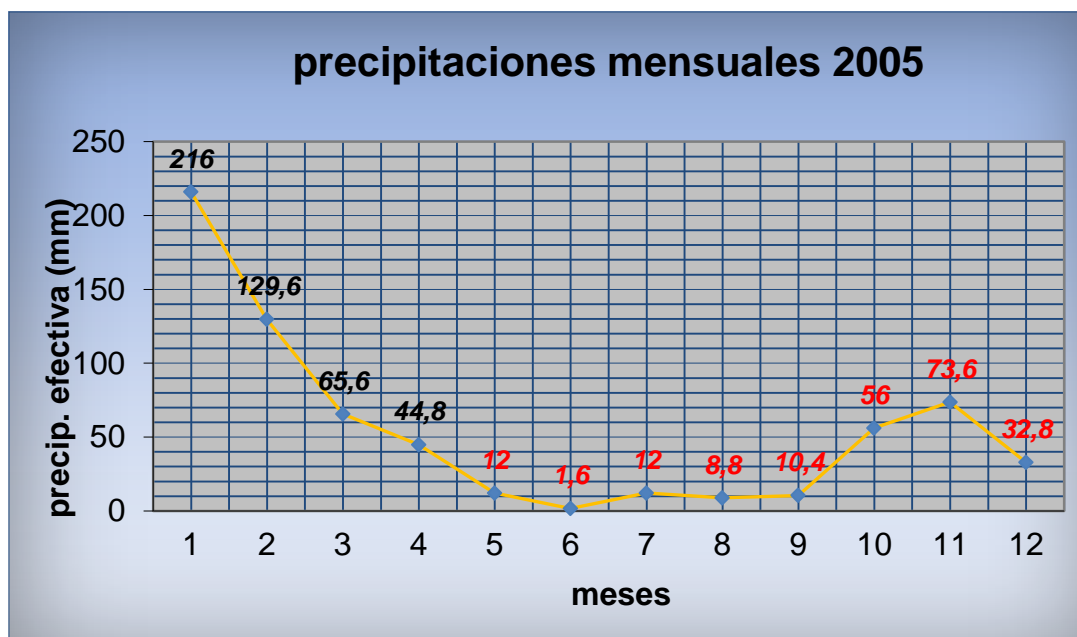


Figura 2: Evolución de las precipitaciones correspondientes al año 2005

Para determinar la ejecución del riego se tomaron muestras de suelos a distintas profundidades (0-15, 15-30, 30-45 y 45-60 cm.) por medio de barreno sacabocado. Se determinó el peso húmedo de cada muestra utilizando una balanza Acculab-v-600 y luego se lo llevó a estufa a 105 °C hasta alcanzar peso constante, posteriormente se pesaron las muestras y en base a la diferencia entre muestras secas y húmedas se logró conocer la humedad del perfil.

En total se obtuvieron 13 muestras para determinar la humedad a lo largo del ciclo. Para agua con efluentes tratados (CE) y agua sin efluentes (SE), los resultados de la lámina almacenada expresada en milímetros de agua se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Láminas almacenadas (mm) durante el ciclo de cultivo de ajo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

FECHA	Agua Con Efluentes	Agua Sin Efluentes
30/05/05	147	150
06/06/05	142	139
26/07/05	133	126
16/08/05	114	127
30/08/05	156	152
06/09/05	100	113
13/09/05	104	132
20/09/05	135	140
27/09/05	161	150
03/10/05	133	135
11/10/05	112	117
18/10/05	130	131
01/11/05	168	154

Tabla 4. Contenido hídrico del suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

		Lamina almacenada
<b>Wc</b> promedio en base a peso	21.36 %	167 mm
<b>Wm</b> promedio en base a peso	7.43 %	58 mm
<b>Wu</b> en base a peso	13.93 %	108,6 mm
<b>Wi</b> en base a peso	19 %	148 mm
<b>Dap</b>	1.30 g cm <sup>-3</sup>	

Donde:

- Wc: capacidad de campo
- Wm: punto de marchitez permanente
- Wu: agua útil
- Wi: punto de marchitez incipiente
- Dap: densidad aparente

Del total de las muestras realizadas, en 10 ocasiones llevó a cabo la tarea de riego, en este caso fue cuando el perfil se encontraba por debajo del Wi (punto de marchitez incipiente) el cual tiene un valor de 148 mm de agua en el perfil, considerando para su cálculo un Wi promedio de 19%, Dap (densidad aparente) 1,3 gcm<sup>-3</sup> y una profundidad efectiva de 600 milímetros. Mientras que, cuando la lámina almacenada se encontraba por encima de Wi o bien próxima a Wc (capacidad de campo) que tiene un valor de 167 mm, con un Wc promedio de 21,36%, no se realizó riego; se consideró un Wm (punto de marchitez permanente) de 58 mm., esta información se encuentra graficada en la figura 3.

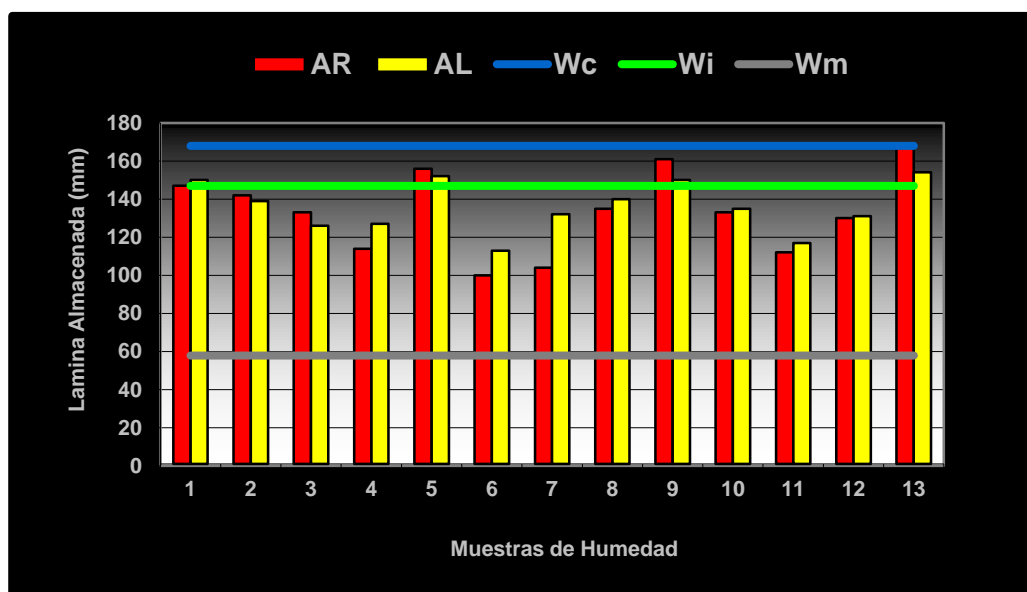


Figura 3: Fecha de muestreos de humedad con sus correspondientes láminas almacenadas. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

#### Tratamiento de los efluentes:

Para llevar a cabo este proyecto se tomó el efluente de 8 departamentos de las residencias estudiantiles universitarias. Este pasa por 4 cámaras sépticas y vierte en una tubería principal de PVC de 110 mm de diámetro externo, de 48 m de longitud, clase 4 y en su trayectoria está provista de 3 cámaras de inspección. Con una pendiente del 1,5 % se conduce el efluente por gravedad hasta un pozo absorbente con paredes de cemento y piso de tierra de 1 m de diámetro y 4 m de profundidad. En el fondo se ha instalado una electro bomba centrífuga portátil de  $\frac{3}{4}$  HP, con un flotante automático que periódicamente es activado para conducir a través de 42 metros de tubería de PVC de 110 mm de diámetro, el efluente hacia un reactor biológico de una capacidad de 24000 litros. (Crespi *et al.*, 2003).

El tratamiento de aguas residuales se realizará mediante la aplicación de tecnologías no convencionales disponiendo 3 lagunas en serie. La primera tiene por objetivo producir la digestión de la materia orgánica, bajando en 10 veces la demanda biológica de oxígeno y las otras 2 lagunas tienen por objetivo eliminar a través de luz ultravioleta la población de gérmenes patógenos hasta el nivel permisible para riego. (Crespi *et al.*, 2003).



*Figura 4: Lagunas de maduración para el tratamiento de las aguas residuales. UNRC, Río Cuarto. Córdoba. Argentina.*

El tiempo que lleva desde que llega el agua sin tratar hasta que la misma es utilizada como agua de riego es de 6 horas en la primera laguna y de 1,5 días a 3 días en las otras 2 lagunas dependiendo de la época del año (en verano 1,5 días y en invierno 3 días).

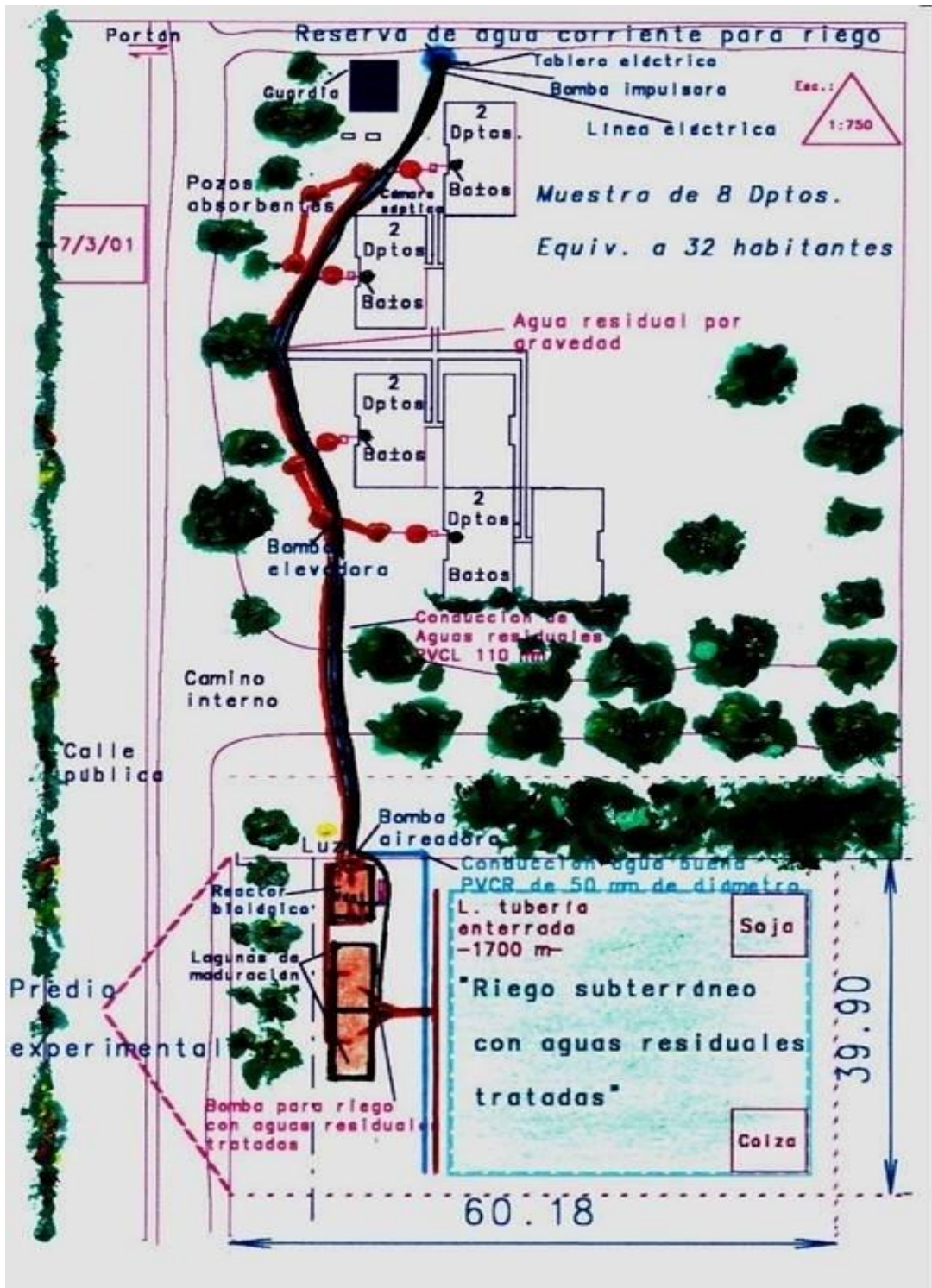


Figura 5. Esquema de la distribución espacial de las instalaciones de riego en el predio experimental. UNRC, Río Cuarto, Córdoba.

## Actividades

Se tomaron muestras de suelo a los 120 días después de la siembra (0,10 m y 0,30 m de profundidad).

### Determinaciones a realizar:

#### De suelo: - Regado con agua limpia:

- pH (potenciometría 1/2,5)
- Conductividad eléctrica (1:1)
- % de materia orgánica (método Walkley - Black)
- % Porosidad
- Infiltración
- N-NO<sub>3</sub><sup>=</sup> en mg kg<sup>-1</sup> (reducción por cadmio)
- P disponible en mg kg<sup>-1</sup> (método Kurtz y Bray 1)

#### - Regado con efluentes tratados:

- pH (potenciometría 1/2,5)
- Conductividad eléctrica (1:1)
- % de materia orgánica (método Walkley - Black)
- % Porosidad
- Infiltración
- N-NO<sub>3</sub><sup>=</sup> en mg kg<sup>-1</sup> (reducción por cadmio)
- P disponible en mg kg<sup>-1</sup> (método Kurtz y Bray 1)

#### Del cultivo: - Regado con agua limpia:

- Evaluación de rendimientos

#### - Regado con efluentes tratados:

- Evaluación de rendimientos

Para determinar la velocidad de infiltración se utilizo un infiltrómetro de doble anillo. (Walker and Skogerboe, 1987).

El método se basa en la medida del agua superficial que se infiltra a través de los poros y huecos del suelo. Para ello, se usa un infiltrómetro de doble anillo. Este aparato, esta compuesto por dos anillos concéntricos de acero que se clavan en el suelo hasta una profundidad de 10 cm.

El anillo interior se rellena de agua que se va infiltrando en el suelo. Si medimos el tiempo que tarda en infiltrarse, se puede calcular la constante de infiltración de un suelo. Este experimento se realiza con suelo saturado en agua, usando el segundo anillo para evitar los movimientos transversales del agua. (UCM, 2004)

#### PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar la prueba se debe comprobar que el suelo está saturado de humedad, por lo que se riega la parcela previamente.

Una vez realizada la selección de parcela se realizan los siguientes pasos:

- 1.- Se clavan los dos anillos del simulador, utilizando la maza.
- 2.- Se rellena el anillo interior de agua y se espera a que infiltre.
- 3.- Se vuelve a rellenar y se sitúa la boyita, a partir de ese momento se toman medidas del descenso de la misma cada 10 o 30 segundos, en función del tipo de suelo.
- 4.- Se tabulan los resultados y se calcula la velocidad de infiltración de los suelos que es constante para cada tipo de suelo en condiciones de saturación (Ley de Darcy).

La evaluación de rendimientos se determino mediante el peso, calibre, y número de bulbillos en los bulbos, para cada tratamiento.

Todos los resultados fueron analizados mediante el programa SPSS, se efectuará un Análisis General Factorial de Varianza Univariado y los promedios se compararán según el test de Duncan ( $\alpha=0,05$ ).

## Resultados y discusión

### pH:

El pH tiene importancia debido a que un efecto en el decremento puede resultar benéfico si la concentración de metales en el lodo no es alta, porque pone a disposición de las plantas los micronutrientes; si la concentración de metales es alta ayudaría a mayor disposición en el suelo lo que implicaría su absorción por las plantas, y de esta forma el impacto en la cadena alimenticia (Cardozo *et. al.*, 1991).

El pH ideal para el cultivo de ajo es ligeramente ácido, entorno a 6,5-7. Valores de pH más elevados pueden causar carencias de microelementos, con la consecuencia disminución de la cosecha (Compo, 2006).

Tanto el tratamiento de riego con efluentes tratados como el riego de agua limpia no se observaron diferencias significativas (Duncan) que indiquen cambios de pH en el suelo; esto se debe a que el pH del suelo es de 6,6; por lo tanto no se manifestó el efecto neutralizador del suelo.

Tabla 5: Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable pH

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	6	0,39	0,00	1,53

Test: Duncan Alfa: = 0,05

Error: 0,0104 gl: 2

Tratamiento	medias	n	
SE <sup>1</sup>	6,62	3	A
CE <sup>2</sup>	6,70	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

### Conductividad Eléctrica. Salinidad.

El agua de riego aporta continuamente sales al suelo. Los problemas surgen cuando la cantidad de sales acumuladas alcanza un nivel perjudicial para las plantas, tanto de cultivo como de jardinería. La velocidad de acumulación depende de la cantidad de sales aportada por el agua de riego y de la cantidad de sales eliminada por el lavado del suelo. A largo plazo, el aporte de sales ha de igualar a la cantidad de sales eliminadas. Afortunadamente, la mayoría de las sales son solubles, siendo fácilmente arrastradas por el agua de riego (López Gracia, *et. al.* 1999).

En nuestro caso, a pesar de que las determinaciones químicas analíticas del agua residual tratada arrojan valores de 1,13 dS.m<sup>-1</sup> tampoco se hallaron diferencias significativas (Duncan:  $\alpha=0,05$ ) entre tratamientos ya que ambos presentaron una C.E.

<sup>1</sup> Riego Sin Efluentes tratados

<sup>2</sup> Riego Con Efluentes tratados



de 0,10 por lo que pueden considerarse como aptos para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Tabla 6: Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable C.E.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C.E.(ds/m)	6	sd	sd	0,00

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,000	3	0,00	sd	sd
tratamiento	0,000	1	0,00	sd	sd
bloques	0,000	2	0,00	sd	sd
Error	0,000	2	0,00		
Total	0,000	5			

### Materia orgánica (%):

El ajo se puede cultivar tanto en suelos livianos como en arcillosos, siempre que posean suficiente materia orgánica. Los suelos demasiado húmedos aumentan los riesgos de podredumbre y los limosos con fuertes proporciones de elementos finos se compactan y pueden provocar asfixia radicular (Crespi, *et. al.*, 2003).

Fasciolo, *et. al.* encontraron que la materia orgánica contenida en suelos de textura franco limosa regados durante 4 años con efluentes domésticos tratados aumentó en un 11% con respecto al de los cultivos regados con agua de perforación sin agregado de fertilizante.

En nuestra situación particular los resultados obtenidos de la materia orgánica no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos. Es probable que se necesiten varios años de aportes para modificar los niveles de M.O. del suelo evaluado.

Tabla 7: Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable M.O.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
M.O. (0-20 cm)	6	0,57	0,00	12,42

Test: Duncan Alfa: = 0,05

Error: 0,0531 gl: 2

Tratamiento	medias	n	
CE	1,78	3	A
SE	1,93	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

### Porosidad:

La materia orgánica ayuda a mantener la porosidad del suelo lo que permite el paso del agua y aire a través del suelo. Esta porosidad puede perderse a través del uso excesivo

del suelo y es muy importante para mantener un suelo rico en oxígeno para las raíces de la planta. (Slopublichealth, 2000).

Debido a su acelerada descomposición el efluente brinda rápidamente nutrientes disponibles. Los ácidos húmicos presentes en este material contribuyen a mejorar la estructura del suelo y su porosidad aumentando al mismo tiempo la capacidad de intercambio. La cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles incrementando al mismo tiempo en forma significativa la actividad biológica del suelo (Costa, *et. al.* 2007).

En el presente trabajo, según indica el análisis de la varianza, se encontraron respuestas en las parcelas regadas con efluentes tratados. El porcentaje de porosidad del suelo fue un 4,65% superior con respecto a las parcelas que fueron regadas con agua limpia. Esto podría deberse en gran parte al aporte de la materia orgánica durante varios años de riegos.

Tabla 8: Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable porosidad

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% Porosidad	6	0,94	0,86	2,31

Test: Duncan Alfa: = 0,05

Error: 1,3173 gl: 2

Tratamiento	medias	n	
SE	47,32	3	B
CE	51,97	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

### Infiltración:

La **infiltración** es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el subsuelo. La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se le denomina **capacidad de infiltración** y es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y, después, cualquier exceso pasa a formar parte del agua subterránea (Siapa, 2008).

Además de los efectos producidos en la planta, las sales de sodio presentes en el agua de riego pueden afectar a la estructura del suelo, reduciendo la velocidad de infiltración del agua en el terreno, y disminuir la capacidad de aireación de éste. Los problemas de permeabilidad se presentan normalmente en los primeros centímetros de la superficie del suelo y son debidos, principalmente, a un contenido relativamente alto de iones sodio o a uno relativamente bajo de iones calcio, tanto en esta zona del suelo como en el agua de riego. Para conservar una buena estructura del suelo es necesario mantener unos niveles adecuados de calcio, en el suelo, o bien en el agua de riego.

El contenido de calcio en el suelo puede llegar a reducirse excesivamente tanto por la utilización de un agua de riego de muy baja salinidad, que disuelve y arrastra el calcio, como por un agua de riego de alto contenido en sodio, que desequilibra la proporción relativa de sodio y calcio (López Gracia, *et. al.* 1999).

La actividad más influyente en la salinización inducida del suelo es el riego con aguas de baja calidad.

La calidad del agua de riego se mide por la combinación de dos parámetros diferentes, la salinidad y el contenido en sodio. Para la evaluación de la salinidad se utiliza la conductividad eléctrica medida a 25° C. Para el contenido en sodio se usa una relación entre éste y los restantes cationes que se conoce como "relación de adsorción de sodio" y que es más conocida por sus siglas RAS en español o SAR, más utilizada, en inglés.

El siguiente gráfico representa la calidad del agua de riego y sus posibles usos:

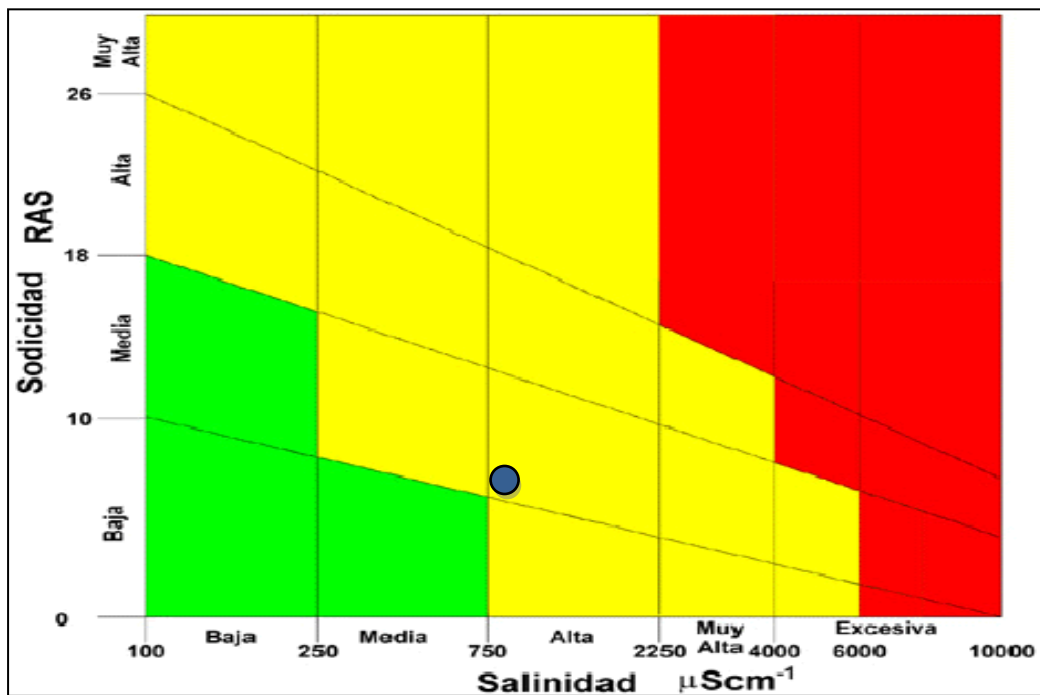


Figura 6: Calidad del agua para riego. Unex, 2004.


El RAS se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Cada uno de los cationes viene expresado en cmol(c)/kg.

Las aguas cuya salinidad está por debajo de 0.75 dS/m ( $750 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) no ofrecen ningún riesgo de salinización y pueden utilizarse en toda clase de suelos sin precauciones especiales. Cuando la conductividad supera el valor anterior es necesario tomar precauciones, que varían según el tipo de suelo y los riesgos de salinización que comporta. No deberían utilizarse en suelos de elevada salinidad y con una permeabilidad reducida. Por el contrario pueden utilizarse sin graves riesgos en suelos permeables, teniendo en cuenta que habrá que aplicar una dosis de agua complementaria en función de la pluviometría de la zona, para facilitar el lavado del exceso de sales. Por encima de 6 dS/m no deben utilizarse en ningún caso. En lo referente a la sodicidad, los valores de RAS inferiores a 18 no comportan ningún tipo de problemas para cualquier clase de suelo. Por encima de estos valores se deben tomar precauciones en función del estado del complejo de cambio del suelo. Los suelos calcáreos toleran mejor el sodio que los suelos de baja saturación; los más problemáticos son aquellos cuyo extracto de saturación presenta un RAS elevado. La conjunción de ambos parámetros aparece representada en la figura. Las aguas incluidas en la zona verde se consideran excelentes para el riego. En la zona amarilla están las que pudiendo utilizarse es necesario adoptar alguna medida precautoria, según su composición. Las de la zona roja no deberían utilizarse en ningún caso (Unex, 2004).

Como se desprende de la figura, a medida que aumenta la salinidad disminuye la tolerancia al RAS, así para un RAS de 10, el agua solo es excelente hasta una salinidad de 0,25 dS/m, por encima de ese valor es necesario tomar precauciones, volviéndose no apta para el riego cuando la conductividad supera los 4 dS/m. (Unex, 2004).

El valor del RAS correspondiente al efluente tratado es de 5,22 y el de salinidad es de  $1130 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . El siguiente círculo azul  presente en la figura 5 nos indica el lugar en el que se encuentra el agua residual tratada correspondiente a las residencias universitarias.

Como se puede observar, el círculo está ubicado en la zona amarilla, lo cual nos indica que debemos tener ciertos recaudos al momento de tomar la decisión de riego.

A continuación se presentan los gráficos correspondientes a la velocidad de infiltración para los dos tratamientos: Riego con efluentes tratados (EF) y Riego con agua limpia (AL).

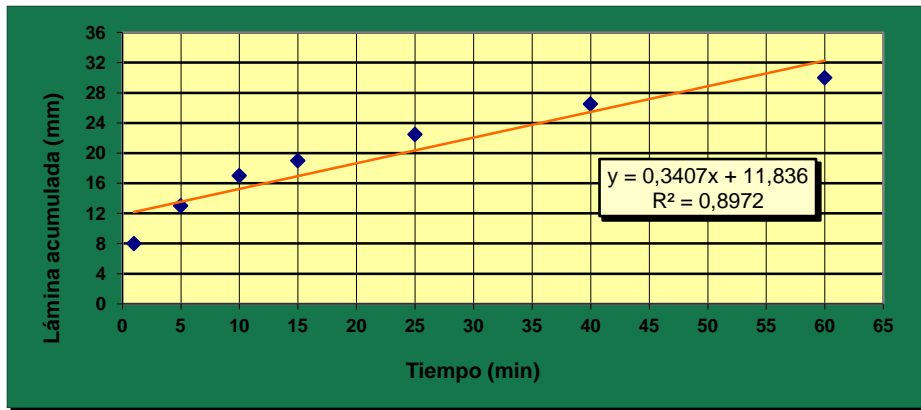


Figura 7: Curva de infiltración del agua con efluentes tratados.

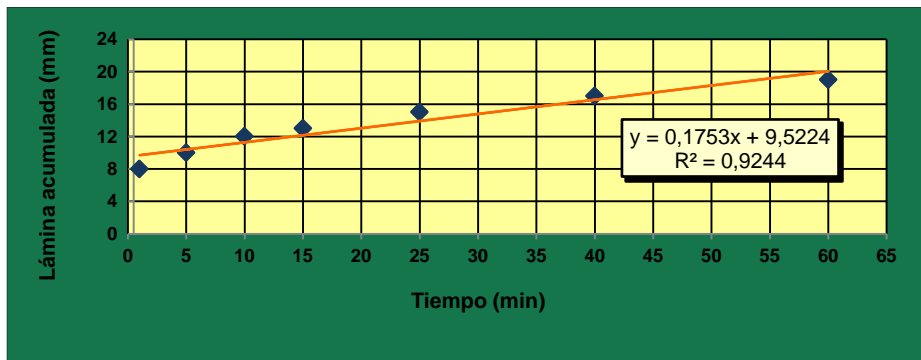


Figura 8: Curva de infiltración del agua limpia.

La velocidad de infiltración se midió con el infiltrómetro de doble anillo. (Walker, W. R. *et al*, 1987).

Los resultados de nuestro trabajo indican que la velocidad de infiltración en suelos regados con efluente doméstico tratado durante 3 años aumentó 1,58 veces (30 mm./h. vs. 19 mm./h.) con respecto a la de las parcelas regadas con agua de perforación. Estos resultados coinciden con Fasciolo, *et. al.* donde la velocidad de infiltración del agua de riego aumentó, casi al doble, en las parcelas de suelo regados con efluentes domésticos tratados durante tres años.

Se considera que, entre las causas que contribuirían a las diferencias entre las medias de las velocidades de infiltración de los tratamientos está en el mayor contenido de sodio en el agua de perforación y el contenido de materia orgánica en el efluente (Fasciolo, *et. al*; 2005).

Sin embargo, en el presente trabajo el contenido de sodio en el agua de perforación (agua limpia) presenta valores muy bajos, inclusive, es 8 veces inferior al valor que arroja el sodio de los efluentes tratados. Además, no hubo incremento en los niveles de M.O. del suelo con el aporte del riego con efluentes tratados, por lo que nos hace pensar que sería necesario realizar un análisis de los iones de intercambio del suelo para poder determinar si el incremento de la velocidad de infiltración es debido a la composición

química particular del suelo y si varía con el tiempo al aplicar los sucesivos riegos. De este modo, podremos inferir si hay interacción entre el riego con efluentes tratados y la composición del suelo en la parcela experimental.

#### **N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> :**

El nitrógeno es el nutriente básico para el crecimiento de la planta. Está presente en el suelo en diferentes formas. En los biosólidos está presente en forma de amonio, nitratos, y nitrógeno orgánico. El nitrógeno del amonio y nitratos están listos para ser usado por la planta. El nitrógeno orgánico es liberado lentamente durante muchos meses, proveyendo continuamente nitrógeno a los cultivos y minimizando el movimiento potencial de nitrógeno a las aguas del subsuelo. (Slopublichealth, 2000).

El efluente de una planta de tratamiento secundario contiene muy poco nitrato, a menos que la planta disponga de un proceso de nitrificación. El contenido de N total puede ser 10 o más veces superior al contenido de nitrato. El contenido total de nitrógeno de un agua residual, después de un tratamiento secundario oscila entre 20 y 60 mg/l N.

El nitrógeno contenido en el agua residual regenerada que llega hasta el campo de cultivo a través del agua de riego es esencialmente idéntico al nitrógeno contenido en los fertilizantes agrícolas, aunque es más difícil de controlar. Durante cada sesión de riego, el agua aporta nitrógeno al suelo, fertilizando así el cultivo (López Gracia, *et. al.* 1999).

Aunque este proceso es beneficioso en los primeros estadios vegetativos de la planta, deja progresivamente de serlo a medida que la planta inicia la maduración. En algunos casos, el aporte de nitrógeno es excesivo, lo que estimula el crecimiento vegetativo, pudiendo llegar a retrasar la maduración de la planta o reducir la calidad de la cosecha. En otros casos, puede darse un déficit de nitrógeno, lo que obliga a un aporte complementario mediante fertilizante agrícola a fin de satisfacer las necesidades propias del cultivo (López Gracia, *et. al.* 1999).

El agua residual de las residencias universitarias contiene 108.5 mg L<sup>-1</sup> de N total lo que podemos estimar un aporte al suelo de 410,13 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno total.

*Tabla 9: Necesidades de nitrógeno del ajo por tn. producida (Compo, 2006).*

Cultivo	Producción (t/ha)	N (kg)
AJO	1	6-8
Ejemplo	14	84-112

El rendimiento promedio del tratamiento (EF) fue de 9.800 kg.ha<sup>-1</sup>. Para un rendimiento de esta magnitud se requieren entre 58 y 78 kg. de N. por lo cual las necesidades de N

serían más que suficientes como para suplir la demanda total del cultivo. A pesar de ello no hubo diferencias estadísticas en el análisis que avalen los resultados obtenidos.

Tabla 10: Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm) (0-30 cm)	6	0,70	0,24	10,47

Test: Duncan Alfa: = 0,05

Error: 1,2717 gl: 2

Tratamiento	medias	n	
CE	10,43	3	A
SE	11,10	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

### Fósforo:

El fósforo es otro elemento nutritivo requerido por todas las plantas. (López Gracia, *et. al.* 1999). Es un nutriente básico para el crecimiento de la planta y está presente en todos los biosólidos en concentraciones diferentes (Slopublichealth, 2000).

La concentración de fósforo en el efluente de un sistema de tratamiento secundario varía entre 6 y 15 mg L<sup>-1</sup>, equivalente a 15 – 35 mg L<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a menos que el proceso de tratamiento haya conseguido eliminarlo. A su llegada al campo de riego, el fósforo contenido en el agua residual puede ser inferior al indicado anteriormente y en general, es demasiado bajo durante el período de crecimiento inicial de las plantas como para afectar su crecimiento.

Este aporte de fósforo se acumula gradualmente en el suelo, disminuyendo así la necesidad de aportes complementarios de este fertilizante en años sucesivos (López Gracia, *et. al.* 1999).

Con respecto a la fuente de nutrientes que puede resultar de un efluente tratado, la literatura menciona que para una aplicación de riego de 20.000 m<sup>3</sup>/ha. año, están asociadas a tasas de aplicación de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de N y 60 kg.ha<sup>-1</sup> de P, lo que puede reducir o eliminar la necesidad de aplicar fertilizantes, además de la M.O. que se agrega como acondicionador del suelo (OMS, 1989).

El exceso de fósforo en el suelo no ha llegado a ser un problema y, por consiguiente, no se ha establecido ninguna directriz a pesar de ello, tanto el agua residual regenerada como el suelo de cultivo deben analizarse sistemáticamente con el objeto de planificar el programa de fertilización (López Gracia, *et. al.* 1999).

La respuesta al fósforo se encuentra raramente en bibliografía y trabajos realizados. Al parecer el ajo blanco es más sensible a niveles bajos de P en el suelo, es decir, menos eficiente en su extracción y en suelos muy pobres, con menos de 3,5 ppm de P disponible, hay respuesta a la fertilización fosforada (Lipinski, 1996).

Para adaptar el abonado a las propias condiciones de producción, a continuación se presenta una tabla con las necesidades nutritivas por tonelada producida y un ejemplo (kg/t de cosecha) (Compo, 2006).

Tabla 11: Necesidades de fósforo del ajo por tn. producida (Compo, 2006).

Cultivo	Producción (t/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)
AJO	1	2-3
Ejemplo	14	28-42

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en cuanto al contenido de fósforo del suelo debido al aporte de fósforo del efluente.

Los aportes de fósforo por parte de las aguas residuales fue de 30,618 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo (70,16 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) por lo que, para un rendimiento promedio de 9.780 kg.ha<sup>-1</sup> el aporte ha sido suficiente como para suplir toda la demanda del cultivo.

Tabla 12: Análisis de la Varianza (SC tipo III) para la variable P.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P (ppm) (0-20 cm)	6	0,95	0,87	3,09

Test: Duncan Alfa: = 0,05

Error: 2,4200 gl: 2

Tratamiento	medias	n	
SE	47,47	3	B
CE	53,17	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).



## Rendimientos

A continuación se presenta el gráfico correspondiente a los rendimientos de cuatro cultivares de ajo diferentes.

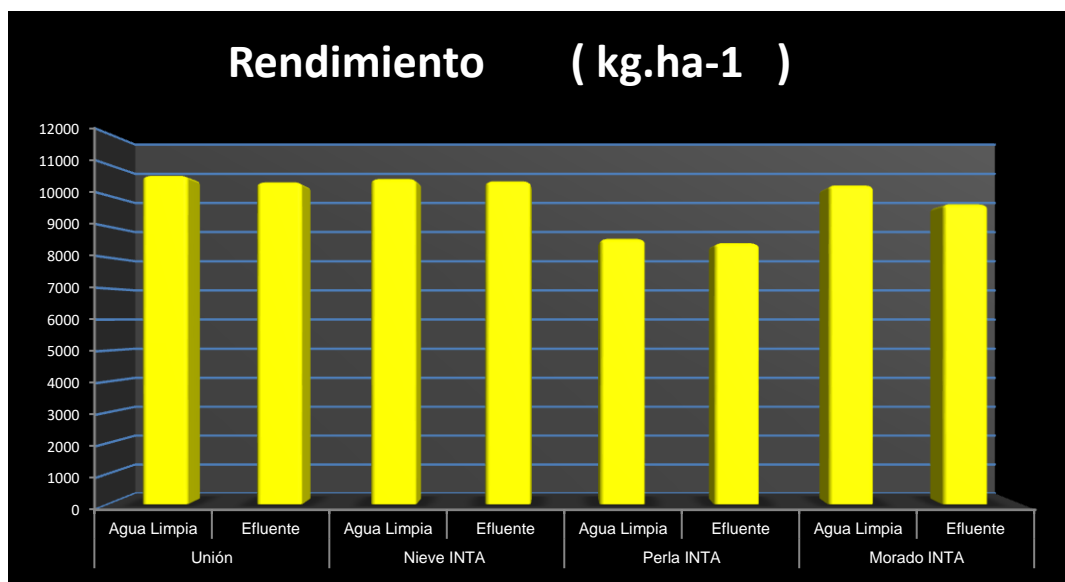


Figura 9: Rendimiento de bulbos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cuatro cultivares diferentes de ajo, regados con agua limpia (AL) y con efluentes tratados (EF.)

A diferencia de lo observado en el trabajo de investigación de Grosso, *et al.*; 2005 en el cual, el rendimiento del cultivar Nieve INTA fue el único que presentó valores inferiores con riegos con efluentes, en el presente trabajo no hubo diferencias estadísticamente significativas.

Grosso *et al.*; 2006 evaluaron la fertilización química de ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) y ( $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) y tampoco lograron aumentar los rendimientos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de cuatro cultivares de ajo, cuando el mismo recibió unos 600 mm de agua efectiva, contabilizando el aporte de las precipitaciones de 214 mm efectivos y el riego de 378 mm, a través de 10 riegos por superficie.

Sin embargo; Fasciolo, (2002) concluyó que el rendimiento medio del ajo y cebolla regada con efluente doméstico tratado aumentó con respecto al rendimiento medio del cultivo regado con agua de la perforación sin agregado de fertilizante, un 19% y 15% respectivamente debido al potencial fertilizante de los efluentes.

El rendimiento limpio y seco de bulbo, el rendimiento exportable y el peso promedio de bulbos respondió positivamente a la fertilización con N, P.

El rendimiento total aumenta claramente al aumentar el N, hasta alcanzar un máximo (dosis óptima técnica) y luego disminuye. La incorporación de P determina un aumento mayor del rendimiento total, con un desplazamiento de la dosis óptima técnica de N de

114 a 140 kg/ha. Este último valor coincide con el de otros trabajos realizados en ajo colorado. El incremento de rendimiento debido a la aplicación de N, fue para el tratamiento sin P 27,65%, en cambio, para el tratamiento con P el incremento fue de 43,29%. La aplicación de P representa un incremento de 9,83% (sin P de 6, 51 tn ha<sup>-1</sup> y con P de 7,15 tn ha<sup>-1</sup>).

En Bahía Blanca se obtuvieron rendimientos más elevados cuando aplicaron 150 kg. de N/ha. con una densidad de 400.000 plantas por ha. y no encontraron respuesta al K. En Italia, en cambio, encontraron respuesta a la aplicación de N y K. La fertilización con P produjo una disminución de los rendimientos (Lipinski, *et.al.* 1995).

## **Conclusiones:**

A partir de los resultados obtenidos se concluye que el riego con efluentes urbanos tratados ayuda a mejorar el suelo, ya que produce modificaciones favorables en la estructura del suelo, incrementando la capacidad de infiltración y el porcentaje de porosidad.

En el presente trabajo, los valores de conductividad eléctrica del suelo no se modificaron tanto como para el riego con agua limpia como para el riego con aguas residuales tratadas. Con respecto al pH, no hubo cambios con el aporte de aguas residuales tratadas, por lo tanto no se manifestó el efecto neutralizador del suelo. Por otra parte, y considerando las características químicas del suelo, concluimos que el riego con efluentes urbanos tratados no produce modificaciones favorables en los niveles de M.O. del suelo, en cuanto al  $\text{N-NO}_3^-$  ocurre prácticamente lo mismo que para M.O., ya que los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  (ppm) del suelo no se vieron modificados al final del ciclo del cultivo. El aporte de fósforo por parte del riego con efluentes urbanos tratados incrementa los niveles de fósforo (ppm) del suelo.

No se encontraron incrementos en el peso de los bulbos. El riego con efluentes urbanos tratados no produce modificaciones en el rendimiento ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) del cultivo del ajo.

## Bibliografía

ARAR, A. (1991). **Wastewater reuse for irrigation in the Near East Region**. Water Sci. and Tech 23: 2127-2134.

BOUWER, H. Y E. IDELOVITCH. 1987. **Quality requirements for irrigation with sewage water**. J. Irrig. & Drainage Eng. 113: 516-535.

BURBA, J. L. 2005. **INFORAJO 2**. Ediciones, INTA. - EEA. La Consulta. Mendoza.

CARDOZO, L.V., ESPERANZA RAMIREZ C. Y VIOLETA ESCALANTE E. 1991. **Aprovechamiento en el suelo agrícola de lodos residuales tratados** . Instituto Mexicano de Tecnología del agua.

CASTAÑÓN, V.M.; MORALES, A. Y PÉREZ-HERNANDEZ, H. (1995). **“Efectos del reuso de aguas residuales sobre los recursos de agua subterránea para uso urbano en el Valle de León, Guanajuato”**. Reporte técnico GSA/95/2. Comisión Nacional del Agua, British Geological Survey y Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León.

CHILTON, P.J.; MORRIS, B.L. Y FOSTER, S. (1996) “Los recursos hídricos subterráneos y la disposición de aguas residuales urbanas, interacciones positivas y negativas”. **VII Curso Internacional OMS-PNUMA-GEMS/OPS-CEPIS/ODA-BGS**. 42 pp.

CIFUENTES, E.; BLUMENTHAL, M.J., RUIZ PALACIOS, G. Y BENETH, S. (1992). “Health impact evaluation of wastewater in Mexico”. Public. **Health Revue** 19:243-250.

COMPO/AGRICULTURA/AJO.2006. Abonamos mejor y protegemos el medio ambiente. En: [www.compo.es/compo/WedApp](http://www.compo.es/compo/WedApp). Pág.1

CORTÉS, M.J.E. (1993). **“Metales pesados en agricultores expuestos a aguas residuales en el Distrito 03 - Tula”**. Tesis de Maestría en Ciencias en Salud Ambiental. Instituto nacional de salud Pública. México.

COSTA, S. Y M. DEVADDER. 2007. Biogas-Biogas. **Seminario de Bioenergía**. Venado Tuerto. Santa Fe. Argentina. En: [www.desarrolloyregion.com/files/actividades/biogas](http://www.desarrolloyregion.com/files/actividades/biogas).

CRESPI, R; 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. 2003. **Tratamiento y reutilización de aguas residuales domiciliarias**. Río Cuarto. Córdoba. Argentina.

ESTELLER. M.V. 2001. Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura. **I Seminario-Taller**. Protección de acuíferos frente a la contaminación. Toluca, México.

FAO. 1999. AG21: Revista: Enfoques; Agricultura urbana. En: [www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp2.html](http://www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp2.html).

FASCIOLO; G.E. 2002. **Impactos agroeconómicos del riego de cultivos con aguas residuales urbanas**. Junio, Argentina.

FASCIOLO, G.E; E. GABRIEL, J. MORÁBITO, F. TOZZI. 2005. **Impactos agro económicos del riego con efluentes domésticos tratados en cultivos de ajo y cebolla**. Mendoza. Argentina.

FULHAGE, C.D. 1993. **Lagoon Pumping and Irrigation Equipment**. Department of Agricultural Engineering. University of Missouri. Columbia.

GABRIEL; E.L., FASCIOLO; G.E., MORÁBITO; J., TOSÍ; F. Y MECA; M.I. 2000. **Potencial fertilizante de efluentes tratados en cultivo de cebolla (Allium cepa, L.)**. Junín, Mendoza. Argentina.

GARCIA ALONSO, C.R. 1990. **EL AJO: Cultivo y aprovechamiento**. Ediciones Mundi-prensa, Madrid.

GONZALEZ, O. (2003). “Situación actual y perspectivas de la producción regional de ajo en la Argentina”. **VIII Curso/Taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo**. p.13-20.

GROSSO, L.; D. RAMOS; V. BRIZUELA; M. RODRIGUEZ; L. PENA; R. CRESPI. 2005. **Cultivares de ajo (*Allium sativum L.*), regados con efluentes urbanos tratados.** Universidad Nacional de Río Cuarto. Agencia postal N° 3. Córdoba. Argentina.

GROSSO, L.; A. RICOTTO; D. RAMOS; R. CRESPI. 2006. Cultivares de ajo (*Allium Sativum L.*), riego con efluentes urbanos tratados y fertilización con nitrógeno. **XXIV Congreso Argentino de Horticultura.** Catamarca. Argentina.

INTA. 2007. Estación Experimental La Rioja. **El cultivo del ajo.** A.E.R. Valle del Bermejo. Argentina.

JIMÉNEZ, B. Y CHÁVEZ A., (1998) “Posibilidades de reuso en el Distrito Federal y el Valle de Mezquital”. **1er Simposio Latinoamericano de Tratamiento y Reuso del Agua y Residuos Industriales.** Memorias Tomo II: 58.1-58.13.

LIPINSKI, V.M. Y S.GAVIOLA DE HERAS. 1995. Efecto de diferentes dosis de NPK sobre el rendimiento de “Ajo Blanco”. **IV Curso/Taller sobre producción, comercialización, e industrialización de ajo.** Argentina.

LIPINSKI, V.M. 1996. Maximizando la producción de ajo y cebolla: manejo de la fertilización. Fertilizar. Divulgación técnica sobre el uso de fertilizante y enmiendas. Número 5. INTA. Pág. 16-18.

LÓPEZ GRACIA, S; A. MOYA MONDÉJAR; M.A. RODRÍGUEZ GRANADOS Y M. SOMOSIERRA LÓPEZ. (1999). Reutilización de aguas regeneradas en el riego. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes.

LÓPEZ MOSQUERA, M. E., M. J. BANDE, S. SEOANE. 2000. Evaluación del efecto salino en un suelo fertilizado con lodos de industria láctea. **Edafología. Volumen 7-1.** Pág. 73-83.

NIJENSOHN L. Y S. GAVIOLA (1997). Barro cloacal digerido de la ciudad de Mendoza como fertilizante fosfórico. *Horticultura Argentina*: 16 (40-41).

OMS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. **Informe. Ginebra, OMS.** (Informes técnicos, 778).

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (1997). LA SIEMBRA Y LA COSECHA. El crecimiento del sector agropecuario y pesquero argentino. **Anuario Estadístico**. Buenos Aires.

SIAPA. Infiltración Pluvial; 2008. En: [www.siapa.gob.mx/capitulos/capitulo5](http://www.siapa.gob.mx/capitulos/capitulo5).

SIEBE, C. Y CIFUENTES, E. (1993). “Environmental impact of wastewater irrigation in Central Mexico, an overview”. Inter. J. of Environmental **Health Research**, 3 (4):28 pp.

SLOPUBLICHEALTH 2000. Verdades acerca de los Riesgos y Beneficios del uso de las Aguas Residuales Tratadas en el suelo. En: [www.slopublichealth.org/enviromentalhealth/simpler\\_risks\\_spanish.pdf](http://www.slopublichealth.org/enviromentalhealth/simpler_risks_spanish.pdf).

TERRALIA. 2008. En: [www.terralia.com/revista8/pagina18](http://www.terralia.com/revista8/pagina18). 2008.

TRAPE, A.; PEREYRA, M.; PEREZ, C.; LOPEZ, B.; BURZICHELLI, S. 2001. Serie de Informes de Coyuntura. **Situación actual de ajo**. Fundación IDR. Mendoza.

UCM. 2004. **Prácticas de Hidrología**. Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Universidad de Madrid. 2004-2005. En: [www.ucm.es/info/edafar/pdf/hidro04\\_05.pdf](http://www.ucm.es/info/edafar/pdf/hidro04_05.pdf).

UNEX: 2004. Degradación del suelo. Degradación química. Salinización. Origen de la salinidad. Lección 3. Gestión y conservación del suelo. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias Universidad de Granada. España. 2004. En: [www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL3DQSAliOrigen.htm](http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL3DQSAliOrigen.htm).

VIGLIOLA, M.I. (2003). **Manual de Horticultura**. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Editorial Hemisferio Sur S.A.

WALKER, W. R. AND G. V. SKOGERBOE. 1987. Surface Irrigation. Theory and Practice. Cap. 5, p.116/118 y Cap. 4, p.77/80. Prentice-Hall. , Englewood Cliffs, New Jersey 07632. USA. 386 p.

