

HORTICULTURA

Respuesta de un cultivo de ajo regado con efluentes urbanos tratados, aplicación de biosólidos y fertilización líquida

L. Grosso; F. Salusso; D. Ramos; R. Crespi y M. Pugliese



Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36. Tel: 0358 4676159. lgrosso@ayv.unrc.edu.ar

Recibido: 10/4/13

Aceptado: 19/8/14

Resumen

Grosso, L.; Salusso, F.; Ramos, D.; Crespi, R. y Pugliese, M. 2014. Respuesta de un cultivo de ajo regado con efluentes urbanos tratados, aplicación de biosólidos y fertilización líquida. Horticultura Argentina 33(81): 5-13.

A partir del tratamiento de aguas residuales urbanas se obtienen efluentes y biosólidos potencialmente utilizables como fuente de agua para riego y nutrientes. Un cultivo de ajo blanco se realizó en Río Cuarto (Córdoba), regado por goteo utilizando efluentes urbanos e incorporando como abono biosólidos y fertilización química. Para evaluar rendimiento y calidad sanitaria se efectuó una plantación en marzo, en un diseño en bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: Testigo (T); 25 t·ha⁻¹ de biosólidos (BIO25); 50 t·ha⁻¹ de biosólidos (BIO50); 85 kg·ha⁻¹ de N y 16 kg·ha⁻¹ de S (N85); 170 kg·ha⁻¹ de N y 32 kg·ha⁻¹ de S (N170). Los biosólidos contenían

91 % de humedad. Mediante riego por goteo se aplicaron 426 mm y por precipitación efectiva 234 mm. El efluente aportó 136 kg·ha⁻¹ de N y 19 kg·ha⁻¹ de P; el biosólido en BIO50: 54 kg·ha⁻¹ de N y 37 kg·ha⁻¹ de P y BIO25: 27 kg·ha⁻¹ de N y 18,5 kg·ha⁻¹ de P. Los nutrientes incorporados en el agua de riego y biosólidos permitieron alcanzar rendimientos en ajo de calidad comercial significativamente diferentes al 5 % LSD Fisher, siendo estos de 19,1 t·ha⁻¹ (N170); 19,0 t·ha⁻¹ (BIO50); 18,7 t·ha⁻¹ (N85); 18,4 t·ha⁻¹ (BIO25) y 17,4 t·ha⁻¹ (T). Los análisis bacteriológicos de los bulbos confirmaron ausencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* sp. Estas tecnologías aumentaron el rendimiento del cultivo de ajo sin afectar la calidad sanitaria.

Palabras clave adicionales: *Allium sativum* L., reutilización del agua, contaminación, rendimiento, calidad sanitaria.

Abstract

Grosso, L.; Salusso, F.; Ramos, D.; Crespi, R. and Pugliese, M. 2014. Response of a garlic crop irrigated with treated urban effluent, biosolids application and liquid fertilization. Horticultura Argentina 33(810): 5-13.

Effective treatment of urban wastewater effluent and biosolids are obtained potentially useful as a source of irrigation water and nutrients. A crop white garlic was held in Río Cuarto (Córdoba), drip irrigated using urban effluents and incorporating biosolids as fertilizer and chemical fertilizer. To evaluate performance and health quality plantation took place in March in a completely randomized design with five treatments and four replications. The treatments were: Control (C); 25 t·ha⁻¹ biosolids (BIO25); 50 t·ha⁻¹ biosolids (BIO50); 85 kg·ha⁻¹ N and 16 kg·ha⁻¹ S (N85); 170 kg·ha⁻¹ N and 32 kg·ha⁻¹ S (N170). Biosolids containing 91 % moisture. By drip

irrigation was applied 426 mm and 234 mm effective rainfall. The effluent contributed 136 kg·ha⁻¹ N and 19 kg·ha⁻¹ P; Biosolids provided BIO50: 54 kg·ha⁻¹ N and 37 kg·ha⁻¹ P and BIO25: 27 kg·ha⁻¹ of N and 18.5 kg·ha⁻¹ of P. Nutrient inputs incorporated in irrigation water and biosolids allowed to reach bulbs yields significantly different at 5 % commercial grade Fisher LSD, these being 19.1 t·ha⁻¹ (N170); 19.0 t·ha⁻¹ (BIO50); 18.7 t·ha⁻¹ (N85); 18.4 t·ha⁻¹ (BIO25) and 17.4 t·ha⁻¹ (T). The bacteriological analysis confirmed the absence of bulbs *Escherichia coli* and *Salmonella* sp. These technologies increased the garlic crop yield without affecting the health quality.

Additional keywords: *Allium sativum* L., water reuse, pollution, performance, healthcare quality.

1. Introducción

Los principales países productores de ajo se encuentran en Asia, representados por China con el 83 % de la producción mundial. Brasil y Argentina, aportan alrededor del 1,5 % de la producción global siendo significativa su participación en el comercio mundial (Pereyra, 2011). La superficie cultivada de ajo para la temporada 2010-2011 en Argentina alcanzó las 14.050

ha., siendo el ajo tipo blanco el que predomina con un 55 % de la superficie (Potaschner, 2011).

El uso de aguas residuales para riego de cultivos agrícolas es una práctica realizada desde la antigüedad. En áreas urbanas y periurbanas el agua requerida para los sistemas hortícolas compete fuertemente con la necesidad creciente de la población. El agua residual obtenida en las plantas de tratamiento y lagunas de oxidación se presenta como una alternativa viable

para ser utilizada como fuente de agua para riego y aporte de nutrientes (Reynaldo *et al.*, 2006).

Los sistemas de tratamiento y el uso de aguas residuales tratadas debe considerar la calidad del agua en sus tres dimensiones: sanitaria, agronómica y ambiental. La calidad sanitaria estará determinada por las concentraciones de parásitos, huevos de helmintos, coliformes fecales y virus causantes de enfermedades entéricas al ser humano. La calidad agronómica esta relacionada con las concentraciones de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y oligoelementos), y elementos limitantes o tóxicos para la agricultura como salinidad, exceso de boro, metales pesados y otros. La calidad ambiental involucra a los indicadores anteriores, y aquellos que puedan generar impactos negativos en el ambiente (Lorenzo *et al.*, 2009).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y la Academia Nacional de Ciencias recomendaron en 1983 que se estableciera la norma para riego con agua natural de superficie en 1.000 coliformes totales por 100 mL. La calidad bacteriológica del agua residual doméstica establecida por el Programa de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Medio Ambiente de Estados Unidos y la OMS fijan un nivel de 1.000 coliformes fecales·100 mL⁻¹ y la Comunidad Europea menos de 10.000 coliformes totales·100 mL⁻¹ y menos de 2.000 coliformes

fecales·100 mL⁻¹ (Lorenzo *et al.*, 2009).

En este sentido, la eliminación natural de los agentes patógenos constituye otro valioso factor de seguridad para reducir los riesgos potenciales para la salud. La inactivación por medio de la radiación ultravioleta, desecación y depredadores biológicos cuando se emplean efluentes para riego de cultivos puede llevar a una reducción suplementaria del 90 a 99 % de los microorganismos en pocos días (Lorenzo *et al.*, 2009).

Por otra parte, como resultado del tratamiento de aguas residuales se obtienen biosólidos, constituidos principalmente por materiales orgánicos estabilizados y ricos en nutrientes, los cuales pueden ser utilizados con diversos fines benéficos (Merli & Ricciuti, 2009), ya que su aplicación al suelo proporciona material orgánico, mejora su estructura y ofrece un gran potencial para el reciclaje de macronutrientes y micronutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos (Caldera *et al.*, 2007; Ozores-Hampton & Mendez, 2013).

Sin embargo, estos materiales pueden contener microorganismos patógenos y metales pesados, por lo cual deben ser analizados antes de su empleo. La USEPA reportó la existencia de dos niveles de calidad de biosólidos, clase A y B. Si la presencia de patógenos como *Salmonella* spp., *E. coli*, virus enteríticos y huevos de helmintos están debajo de los niveles detectables (Clase A), los elementos contaminantes regulados en los biosólidos satisfacen la calidad excepcional.

En este caso existen menos restricciones en su uso en la producción de hortalizas. Los biosólidos son clasificados en la Clase B, si los patógenos son detectados pero han sido reducidos a niveles en los cuales no son una amenaza para la salud y el ambiente (USEPA, 1994; USEPA, 1995).

Los efluentes urbanos tratados y biosólidos aportan macroelementos en cantidades suficientes como para reducir la necesidad de fertilizantes de síntesis química, además de agregar materia orgánica al suelo. La concentración de nutrientes de las aguas residuales tratadas varía entre 10 a 100 mg·L⁻¹ de N, de 5 a 25 mg·L⁻¹ de P y 10 a 40 mg·L⁻¹ de K. Estas cantidades de nutrientes pueden cubrir en muchos ca-

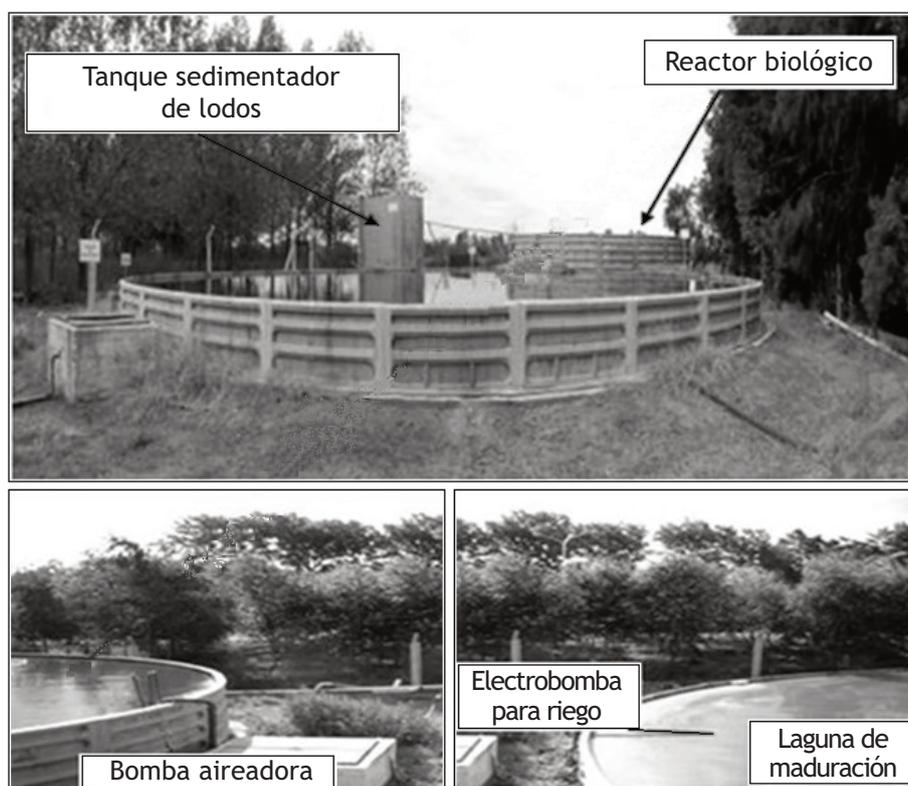


Figura 1. Tratamiento convencional de los efluentes urbanos. Planta Piloto U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

los las necesidades de nitrógeno, fósforo y potasio de un cultivo (Silva *et al.*, 2008).

Para maximizar la eficiencia en el uso del agua de riego, los sistemas de riego por goteo tienen un excelente potencial al reducir las pérdidas por percolación profunda, escurrimiento superficial y evaporación. Además, los fertilizantes solubles pueden ser aplicados a través del sistema de riego por goteo para proporcionar una fertilización uniforme del cultivo. La fertirrigación es usada comúnmente para abastecer de nitrógeno ya que es altamente soluble y se mueve fácilmente a través del suelo hacia las raíces (Marr & Rogers 1993).

El ajo es un cultivo que responde fundamentalmente a la fertilización nitrogenada, absorbe éste nutriente principalmente en la etapa de mayor expresión vegetativa, extrayendo valores que oscilan entre 120-240 kg·ha⁻¹ de nitrógeno (Huez Lopez *et al.*, 2010). Gaviola y Lipinski (2008) evaluaron el comportamiento del rendimiento de cultivares de ajo tipo colorado, determinando dosis óptimas de nitrógeno para maximizar el rendimiento entre 198 y 247 kg·ha⁻¹. En otro estudio, en suelos con contenidos medios de nitrógeno total de 800 mg·kg⁻¹ la dosis que maximizó los rendimientos en cultivares de ajo colorado fue de 150 kg·ha⁻¹ a excepción del cultivar Gostoso INTA cuyo valor crítico resultó mayor que el resto (Lipinski & Gaviola, 2006).

Grosso *et al.* (2010) evaluaron en un cultivo de ajo blanco regado con efluentes urbanos tratados, la aplicación de biosólidos (5,5 t·ha⁻¹ y 11 t·ha⁻¹) y fertilización química (150 y 300 kg·ha⁻¹ de N). Logrando un rendimiento promedio de 15,7 t·ha⁻¹ de ajo secos y limpios, los tratamientos no se diferenciaron estadísticamente entre sí, demostrando que el cultivo de ajo se benefició igualmente por el aporte de nutrientes orgánicos proveniente de los efluentes y de los biosólidos. El análisis de la calidad sanitaria de los bulbos confirmó ausencia de patógenos perjudiciales para la salud.

Fillippini *et al.* (2008), en un cultivo de ajo regado con efluentes urbanos tratados y abonado con estiércol de gallina, humus de lombriz y di-

ferentes dosis de fertilizantes químicos, siendo el aporte de nutrientes incorporados con el agua de riego de 212 kg·ha⁻¹ de N y 52 kg·ha⁻¹ de P, alcanzaron rendimientos de 9.300 kg·ha⁻¹ en el testigo y valores en el orden de 19,5 % mayor en los tratamientos con 8 t·ha⁻¹ de estiércol de gallina y 8 t·ha⁻¹ de humus de lombriz respecto al rendimiento medio del testigo.

El riego por goteo con efluentes urbanos tratados y la aplicación de biosólidos podrían reemplazar a la fertilización química, aumentando la fertilidad del suelo, disminuyendo la contaminación ambiental al reciclar efluentes urbanos para su reuso en riego y biosólidos como abonos orgánicos, además lograr una mayor producción en cantidad, calidad comercial y sanitaria del cultivo de ajo.

2. Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la Planta Piloto de Tratamientos y Reutilización de Efluentes Urbanos de la U.N.R.C. (33° 07' S; 64° 14' O y 421 m.s.n.m.), provincia de Córdoba (Argentina), la cual trata un caudal de 25.000 L·día⁻¹ de efluentes urbanos generados por las Residencias Estudiantiles Universitarias (R.E.U.), un complejo habitacional de 208 estudiantes ubicados en 50 departamentos.

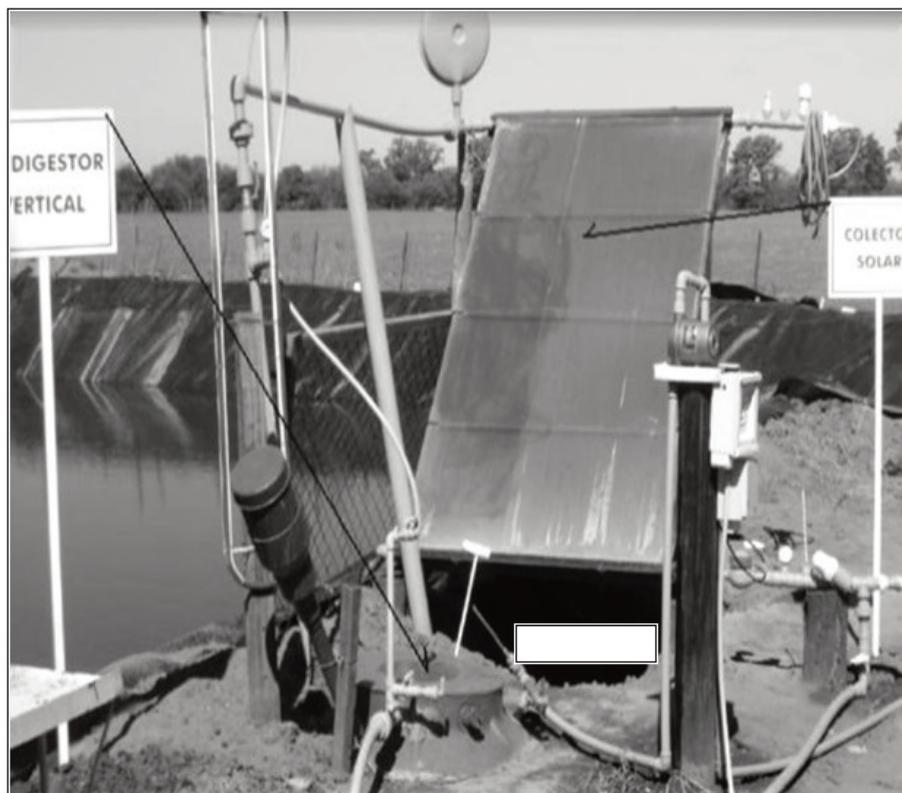


Figura 2. Biodigestor para el tratamiento anaeróbico de los lodos urbanos. Planta Piloto U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

Tabla 1. Determinaciones analíticas del efluente urbano tratado. U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

Determinación	Unidad	Valor	Determinación	Unidad	Valor
Sólidos sedimentables (120')	ml·L ⁻¹	0,80	Litio	mg·L ⁻¹	No detectable
Sólidos totales	ml·L ⁻¹	842,00	Boro	mg·L ⁻¹	0,14
Sólidos totales fijos	ml·L ⁻¹	298,00	Cromo	mg·L ⁻¹	0,04
Sólidos totales volátiles	ml·L ⁻¹	544,00	Magnesio	mg·L ⁻¹	11,6
Sólidos disueltos totales	ml·L ⁻¹	590,00	Manganeso	mg·L ⁻¹	0,08
Sólidos disueltos fijos	ml·L ⁻¹	380,00	Níquel	mg·L ⁻¹	No detectable
Sólidos disueltos volátiles	ml·L ⁻¹	210,00	Potasio	mg·L ⁻¹	16
Sólidos suspendidos totales	mg·L ⁻¹	252,00	Plomo	mg·L ⁻¹	No detectable
pH		7,82	Selenio	mg·L ⁻¹	No detectable
Conductividad eléctrica	dS·m ⁻¹	1,13	Sodio	mg·L ⁻¹	158
Turbiedad	FAU	263,50	Aluminio	mg·L ⁻¹	0,99
Color verdadero	PtCo APHA	1150,00	Arsénico	mg·L ⁻¹	0,017
Nitrógeno total	mg·L ⁻¹	108,50	Cadmio	mg·L ⁻¹	0,00014
Cloruros	mg·L ⁻¹	138,00	Calcio	mg·L ⁻¹	50
Sulfatos	mg·L ⁻¹	14,50	Zinc	mg·L ⁻¹	0,11
Alcalinidad total	mg·L ⁻¹	350,00	Cobalto	mg·L ⁻¹	No detectable
Alcalinidad carbonatos	mg·L ⁻¹	< 1	Cobre	mg·L ⁻¹	No detectable
Fósforo total	mg·L ⁻¹	8,10	Demanda química O ₂	mg·L ⁻¹	265
Hierro	mg·L ⁻¹	1,30	Demanda biológica O ₂	mg·L ⁻¹	112,57

Las aguas residuales provenientes de las R.E.U. se conducen a través de una tubería con una pendiente de 1,5 %; se descarga a una cámara receptora de cemento, donde comienza la etapa de pretratamiento (Crespi, 2012), el efluente con la materia biodegradable pasa a través de un disco de acero inoxidable con perforaciones, que actúa como primer prefiltro del material grueso y luego vierte por gravedad a un canasto de acero inoxidable, cubierto de perforaciones que es un segundo prefiltro. Desde esta cámara receptora, y por medio de bombas que operan alternativamente en forma automática, cuando se ha almacenado un volumen de 3.000 L de efluentes, son derivados hacia un tanque sedimentador de lodos y efluentes.

En el tanque sedimentador se acumula el efluente y se produce la deposición de los lodos. Por uno de sus laterales se descarga el efluente crudo a un tanque que actúa como reactor biológico, ya que a través de bombas especiales se inyecta aire continuamente y

mediante bacterias aeróbicas se degrada el material biológico en productos estables no putrefactos (Figura 1).

Desde la parte inferior del tanque sedimentador son extraídos los lodos parcialmente digeridos o estabilizados, y son derivados a un biodigestor para su tratamiento (Figura 2). En este proceso se desarrollan bacterias anaeróbicas que digieren el material orgánico residual, obteniéndose finalmente los lodos estabilizados, denominados biosólidos luego de cumplirse un tiempo de residencia hidráulico (TRH) de aproximadamente 21 días (Crespi *et al.*, 2010).

Los efluentes se derivan a un tanque de 78.000 L, cuya función es reducir la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), luego de 24 h de aireación se logra una remoción del 70 % de la DBO₅, con una concentración de 45 mg·L⁻¹ y desde allí se derivan a una laguna de maduración para un segundo tratamiento, mediante un tanque de mayor volumen (156.000 L) donde por medio de la radiación ultravioleta generada por el sol, penetra en las paredes de las células de los microorganismos destruyendo su capacidad reproductiva, reduciendo la cantidad de coliformes totales y fecales a 4,3 x 10⁵ NMP·100 mL⁻¹ y 3,8 x 10⁴ NMP·100 mL⁻¹ respectivamente lo cual se considera apto para el manejo de cultivos bajo riego localizado. En la Tabla 1 se muestra la composición físico-química del efluente urbano tratado utilizado como fuente de agua para riego.

La plantación del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) se efectuó en marzo, sobre un suelo Haplustol típico, en forma manual, en plano y a diente visto, con un arreglo espacial a 0,30 m entre hileras y 0,11 m

La plantación del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) se efectuó en marzo, sobre un suelo Haplustol típico, en forma manual, en plano y a diente visto, con un arreglo espacial a 0,30 m entre hileras y 0,11 m

Tabla 2. Características químicas de los biosólidos. U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

Cenizas (%)	M.O. (%)	Nt (%)	P (%)	K (%)	C (%)	C/N
58,80	41,11	2,06	1,24	0,64	20,53	9,95

Tabla 3. Características del perfil del suelo. Planta Piloto U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

Parámetros	Profundidad			
	10 cm	20 cm	30 cm	Promedio
DA (g·cm ⁻³)	1,38	1,26	1,35	1,33
Wc (%)	21,12	16,19	17,51	18,27
Wm (%)	7,5	7,7	7,4	7,53
Wu (%)	13,62	8,49	10,11	10,74

Referencias: DA: Densidad aparente; Wc: Capacidad de campo; Wm: Punto de marchites permanente; Wu: Agua útil.

entre bulbillos, dando una densidad de 303.030 plantas·ha⁻¹. Se plantaron bulbillos “semilla” de ajos tipo comercial “blanco” cultivar Unión, provenientes de bulbos calibre 5, con un peso promedio de 4 g. Los bulbillos se trataron con funguicidas Tiram más Carbendazim, luego de la plantación se efectuó un control de malezas preventivo con herbicida preemergente Linuron.

El riego por goteo con efluentes urbanos tratados, se realizó mediante una tubería principal para conducirlos hasta la parcela de ensayo, y una tubería secundaria ubicada en la cabecera de las líneas de plantación, sobre la cual se insertaron tuberías de riego integradas, con tres emisores por metro lineal erogando un caudal unitario de 1,48 L·h⁻¹ y una lámina total de 7,3 mm·h⁻¹.

Previo a la plantación se extrajo una muestra compuesta para determinar la composición química del suelo de la parcela. El pH se determinó en Potenciometría 1/2,5; la conductividad eléctrica (CE) en suspensión 1/1. El contenido de Materia Orgánica (MO) se determinó por el método de Walkley y Black (1934); N-Nitratos (N-NO₃) por reducción por cadmio; Fósforo disponible por el método de Bray y Kurtz (1945); CIC y K intercambiable con acetato de amonio.

Respecto a las propiedades físicas del suelo, se determinó la densidad aparente (Dap) con el método de Uhland (1949) mediante cilindros de acero inoxidable de 50 mm de altura por 47 mm de diámetro interno, para posteriormente establecer la humedad volumétrica a distintas profundidades. Las constantes hídricas se determinaron en laboratorio mediante el empleo de ollas a presión a -30 kPa y -1.500 kPa de potencial para capacidad de campo y punto de marchites permanente respectivamente, y se expresan en forma de lámina almacenada al igual que el agua útil y el punto de marchites incipiente.

El diseño experimental se realizó en bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, la parcela de estudio fue de 16 m de largo y 9 m de ancho, siendo las subparcelas de estudio de 4 m

Tabla 4. Contenido de nutrientes en el suelo al momento de implantación del cultivo y aportes de nutrientes realizado por el efluente y cada uno de los tratamientos. Planta Piloto U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

	Aporte de N (kg·ha ⁻¹)	Aporte de P (kg·ha ⁻¹)
Análisis de suelo	55,0	143,0
Efluentes Urbanos Tratados	136,0	19,0
BIO 25	27,0	18,5
BIO 50	54,0	37,0
N 85	85,0	0
N 170	170,0	0

de largo y 1,8 m de ancho correspondiendo a seis hileras de cultivo, dando una superficie de 7,20 m². La unidad experimental se correspondió con cuatro hileras centrales de 3 m de largo y 1,20 m de ancho, dando una superficie de 3,60 m².

Los tratamientos fueron: 1) Testigo (T); 2) 25 t·ha⁻¹ de biosólidos (BIO25); 3) 50 t·ha⁻¹ de biosólidos (BIO50); 4) 85 kg·ha⁻¹ de N y 16 kg·ha⁻¹ de S (N85); 5) 170 kg·ha⁻¹ de N y 32 kg·ha⁻¹ de S (N170). Los biosólidos contenían 91 % de humedad. Todos los tratamientos incluyendo el testigo fueron regados con efluentes urbanos tratados.

La fertilización química se realizó con una mezcla líquida (SolMIX), cuya formulación contenía 28 % de nitrógeno y 5,2 % de azufre. La elección de la dosis del fertilizante líquido fue determinada de acuerdo con la demanda de nitrógeno por parte del cultivo, mediante un análisis de la curva de absorción de nitrógeno en el tiempo (Portela, 2005). En función de ello se realizaron ocho aplicaciones, mediante el chorreado en entrelíneas del cultivo, de las cuales el 20 % de la dosis se aplicó en la etapa previa de la bulbificación, con el objetivo de no inducir un desarrollo vegetativo excesivo, y el 80 % restante se aplicó durante la etapa de bulbificación.

Respecto a los biosólidos, la aplicación de los mis-

Tabla 5. Aportes totales de N y P en kg·ha⁻¹ para cada tratamiento durante el ciclo del cultivo. Planta Piloto U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

Tratamientos	Aporte de N (kg·ha ⁻¹)	Aporte de P (kg·ha ⁻¹)
Testigo	191,0	162,0
BIO 25	218,0	180,5
BIO 50	245,0	199,0
N 85	276,0	162,0
N 170	361,0	162,0

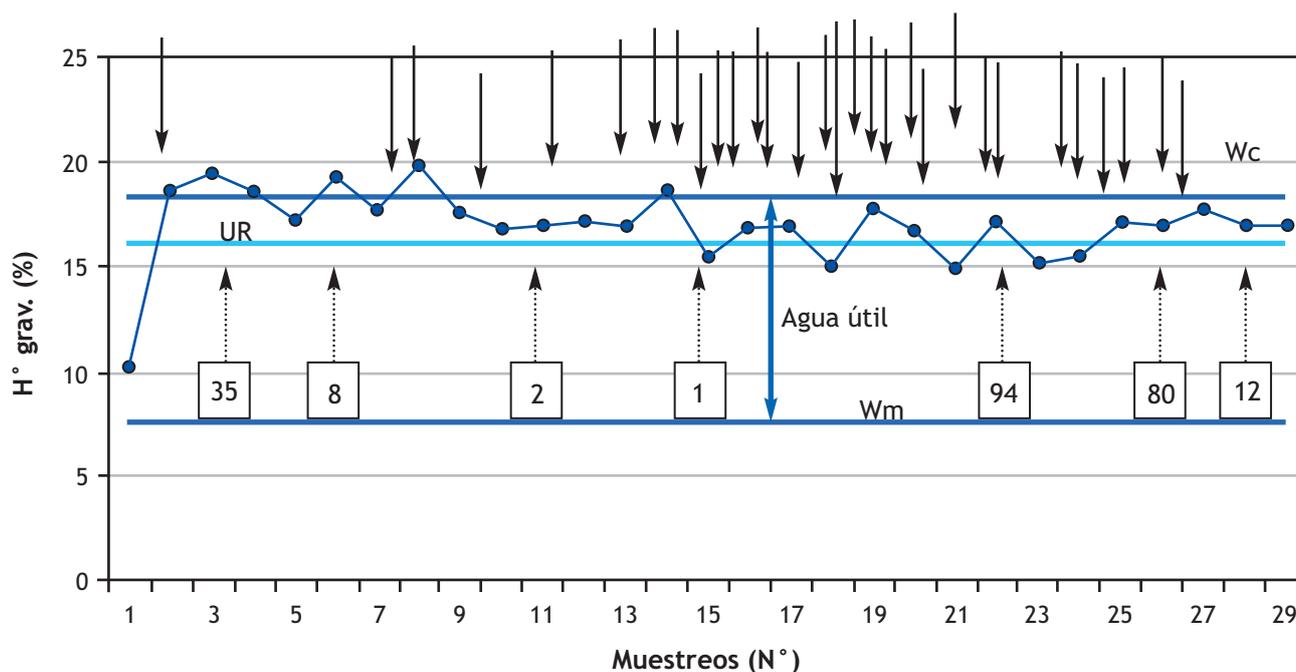


Figura 3. Evolución del contenido de humedad del suelo y momentos de riego. U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

mos se efectuó a partir de los 50 días posplantación del cultivo del ajo, momento en el cual el cultivo ha consumido las reservas liberadas por el “diente madre” y se torna significativa la demanda de nutrientes desde el suelo (Burba, 1997). Desde el punto de vista microbiológico los análisis de laboratorio han demostrado la ausencia de coliformes totales y fecales luego de transcurrido el tiempo de residencia hidráulico de 28 días en un biodigestor bajo condiciones de anaerobiosis a una temperatura promedio de 39 °C, con máximos de hasta 60 °C, dado que la temperatura del interior está condicionada por la radiación captada por la placa de un colector solar y enviada como agua caliente a través de un intercambiador de calor, es decir, la eliminación se produce por acción térmica. En la Tabla 2 se muestran las características de los biosólidos determinadas en el Laboratorio de Nutrición Animal de la U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

Durante el ciclo del cultivo se realizó un seguimiento de la evolución hídrica del perfil de suelo mediante un método indirecto gravimétrico, que consiste en la extracción de muestras de suelo en la cabecera del surco y en el pie del mismo a tres profundidades: 0-10; 10-20 y 20-30 cm utilizando un barreno. Las muestras se pesaron y se llevaron a estufa durante 48 h a 105 °C hasta lograr peso constante, posteriormente se volvieron a pesar y se determinó el contenido hídrico. Este seguimiento permitió determinar la programación de riego.

El cultivo de ajo recibió durante el ciclo 660 mm, mediante riego por goteo se proporcionó una lámina neta de 426 mm; mientras que la precipitación efectiva

aportó 234 mm según datos obtenidos en estación meteorológica de la U.N.R.C.

La cosecha del cultivo se realizó en noviembre, los bulbos para su secado se colocaron en bolsas aireadas, dispuestas bajo un tinglado durante 60 días, posteriormente se procedió a su limpieza para determinar las variables de estudio.

Para el análisis microbiológico se tomaron cinco bulbos de cada tratamiento, y en laboratorio se realizaron los análisis bacteriológicos correspondientes. Para la determinación de *Escherichia coli* se utilizó el método del Caldo Mac Conkey a 35 °C 24-48 h. Aislamiento en Agar Eosina-Azul de metileno y confirmación por medio de pruebas bioquímicas. Metodología analítica: ICMSF (1983). Para la determinación de *Salmonella* sp, se utilizó caldo lactosado a 35 °C, Caldo Tetratonato y Caldo Selenito-Cistina a 35 °C; observación de colonias sospechosas en Agares Selectivos y Diferenciales, pruebas bioquímicas y serológicas confirmatorias. Metodología analítica: ICMSF (1983).

Los análisis estadísticos correspondientes se realizaron mediante el programa Infostat aplicando análisis de varianza, y comparación de medias con el test de Fisher ($P < 0,05$).

3. Resultados y discusión

La lámina total de agua suministrada fue igual a la mínima necesaria para lograr óptimos rendimientos en ajo, coincidente con Burba (1993); que indica valores

entre 600 y 1.000 mm mientras que para obtener altos rendimientos de ajo Gaviola y Lipinski (2008) y Lipinski *et al.* (2009) recomiendan valores entre 800 y 850 mm.

En la Figura 3 se muestra la evolución hídrica del perfil del suelo, considerando los aportes realizados mediante el riego por goteo con los efluentes urbanos tratados y las precipitaciones que se registraron a lo largo del ciclo del cultivo, teniendo en cuenta las constantes hídricas del suelo: capacidad de campo (W_c) y punto de marchites permanente (W_m). En la Tabla 3 se muestra la densidad aparente y las constantes hídricas del suelo obtenidas al inicio del cultivo.

La aplicación de riegos con alta frecuencia, como es el riego por goteo, permitió que el cultivo de ajo dispusiera de un nivel de humedad apropiado a lo largo de todo su ciclo con valores muy cercanos al umbral de riego, el cultivo presentó un crecimiento y desarrollo en condiciones hídricas no limitantes.

Por su parte, el efluente urbano tratado, además de cubrir los requerimientos hídricos, permitió un aporte importante de nutrientes al incorporar en solución una dosis total de $136 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N y $19 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P. La aplicación de biosólidos aportó $27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N y $18,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P en el tratamiento de BIO25; mientras que en el tratamiento BIO50 los aportes fueron de $54 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N y $37 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P. Mediante la fertilización química nitrogenada con Solmix se aportó 85 kg de N y 16 kg de S; y 170 kg de N y 32 kg de S para los tratamientos de N85 y N170, respectivamente. En cuanto al contenido de N y P en el suelo al inicio del ensayo, los valores fueron de $55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N y $143 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P (Tabla 4).

Gaviola y Lipinski (2008), en cultivo de ajo tipo colorado, determinaron dosis óptimas de $215 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. El ajo colorado responde positivamente a la fertilización nitrogenada aún con valores mayores de 1.000

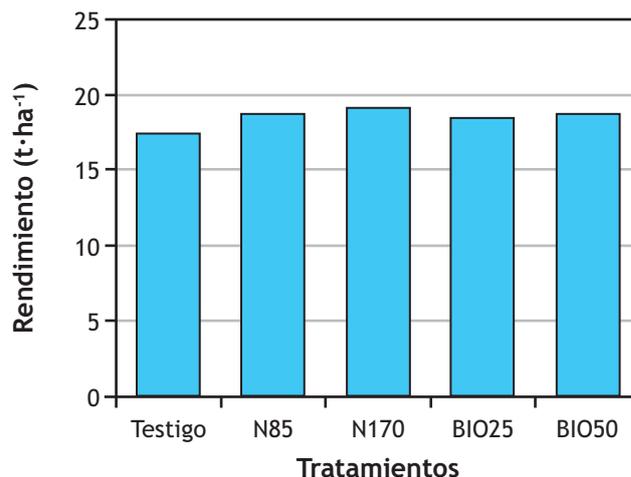


Figura 4. Rendimiento ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) del cultivo de ajo para cada uno de los tratamientos. U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

ppm de nitrógeno total en el suelo. El ajo blanco presenta un potencial de respuesta menor que el ajo colorado a la fertilización nitrogenada (Lipinski, 2011).

El cultivo de ajo tuvo una disponibilidad mayor de nitrógeno que las dosis adecuadas que mencionan (Huez Lopez *et al.*, 2010), en la etapa de mayor expresión vegetativa para obtener altos rendimientos y mayor que la indicada por Gaviola y Lipinski (2008) para ajo colorado. En la Tabla 5 se presenta el aporte total de nitrógeno y fósforo en el ciclo del cultivo para cada uno de los tratamientos.

Al analizar el porcentaje de bulbos con calidad comercial (bulbos normales con calibre igual o mayor a 40 mm) y anormales (bulbos deformados, martillos y chicos) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, con un mayor porcentaje de normalidad en los tratamientos de BIO 50 y N 170 (Tabla 6).

El mayor rendimiento de los ajos con calidad comercial se obtuvo en los tratamientos BIO 50 ($19,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) y N170 ($19,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), que tuvieron mayor disponibilidad de nutrientes, especialmente de nitrógeno, mostrando diferencias estadísticas significativas respecto al testigo. Rendimientos intermedios se obtuvieron en los tratamientos BIO25 y N85, siendo el de peor desempeño el testigo (Figura 4).

Los análisis bacteriológicos al momento de la cosecha sobre las catáfilas de los bulbos confirmaron ausencia de

Tabla 6. Porcentaje de bulbos normales y con anomalías, calibre y peso individual de bulbos normales y rendimiento total para cada uno de los tratamientos. Planta Piloto U.N.R.C. Río Cuarto, Córdoba.

Variables	Tratamientos				
	Testigo	BIO25	BIO50	N85	N170
Porcentaje de bulbos normales	88,48 ab	85,23 a	95,23 b	89,40 ab	92,45 ab
Porcentaje de bulbos anormales	11,55 ab	14,78 a	4,78 b	10,06 ab	7,05 ab
Calibre de bulbos normales (cm)	5,82 b	6,04 a	5,72 b	5,74 b	5,81 b
Peso individual de bulbos normales (g)	59,63 a	63,22 a	63,90 a	63,12 a	65,13 a
Rendimiento ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	17,4 b	18,4 ab	19,0 a	18,7 ab	19,1 a

Diferentes letras indican diferencias significativas según test de LSD Fisher ($P \leq 0,05$).

Escherichia coli y *Salmonella* sp., demostrándose que éstas tecnologías aplicadas permitieron aumentar el rendimiento sin afectar la calidad sanitaria del producto comestible.

4. Conclusiones

La utilización de efluentes urbanos tratados y la aplicación de biosólidos como fuente de agua y nutrientes, demostró un avance tecnológico interesante en la sustitución de fertilizantes de origen sintético logrando rendimientos muy buenos para el cultivo de ajo.

Los análisis microbiológicos realizados en los bulbos de ajo, indicaron que en ningún tratamiento hubo desarrollo de agentes patógenos perjudiciales para la salud humana, siendo aptos desde el punto de vista bacteriológico para el consumo en fresco.

La utilización de esta tecnología en la producción de ajo, otorga sustentabilidad al agroecosistema, disminuyendo la contaminación ambiental, permitiendo reutilizar efluentes urbanos y biosólidos, logrando una buena producción de ajo en cantidad y calidad sanitaria.

5. Bibliografía

- Bray, R.H. & Kurtz, L. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Burba, J.L. 1993. Producción de "semilla" de ajo. *Manual de Producción de Semillas Hortícolas*. Ed. J. Crnko. Fascículo 5. INTA. E.E.A. La Consulta, Mendoza, Argentina. Pp 163.
- Burba, J.L. 1997. 50 temas sobre producción de ajo. *Ingeniería de cultivo*. Vol. N° 3. E.E.A. La Consulta, Mendoza, Argentina. Pp 112-119.
- Caldera, Y.A.; Gutiérrez, E.; Blanco, E.; Torres, M. & Gutiérrez, E. 2007. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del lodo residual como acondicionador de suelo durante el crecimiento de un cultivo de Cebollín (*Allium fistulosum* L.). *Revista Ciencia de la Universidad del Zulia*. Vol.15, N° 3. Maracaibo, Venezuela. Pp. 371-379.
- Crespi, R.; Pugliese, M.; Grosso, L.; Gropelli, E.; Migani, C.; Ramos, D.; Salusso, F. & Chanaday, A. 2010. Evaluación de la potencialidad de la producción de biogás y uso de biosólidos. Trabajo técnico. 17° Congreso Argentino de Sanidad y Medio Ambiente. AIDIS Argentina. Buenos Aires. 12 pág.
- Crespi, R. 2012. Riego Subterráneo con Aguas Residuales Tratadas. Cultivos oleaginosos. 1° Ed. EAE. Alemania. Pp. 198.
- Filippini, M.F.; Abril, A.; Cony, M.; Venier, M.; Noe, L.; Cónsoli, D. & Vallone, R. 2008. Aplicación de abonos orgánicos y químicos en un cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) regado con efluentes tratados. IV Jornadas de Riego y Fertirriego: Hacia un manejo sustentable de los recursos naturales ante escenarios de escasez hídrica FCA, Luján de Cuyo, Mendoza.
- Gaviola, S. & Lipinski, V.M. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y el color de cultivares de ajo (*Allium sativum*) colorado. *Ciencia de la investigación agraria*. Versión On-line ISSN 0718-1620 – V. 35 N° 1. Abril. Santiago, Chile.
- Grosso, L.; Crespi, R.; Ramos, D.; Salusso, F. & Chanaday, A. 2010. Uso de efluentes urbanos tratados y biosólidos en la producción de ajo. XXXIII Congreso Argentino de Horticultura. Rosario, Argentina.
- Huez López, M.A.; Preciado, F.A.; López-Elías, J.; Álvarez, A.; Jiménez, J. & Valenzuela, P. 2010. Productividad de ajo (*Allium sativum* L.) bajo riego por goteo en la Costa de Hermosillo, México. *Rev. Biotecnología*, Vol. 11, N° 2. México. Pp. 3-12.
- I.C.M.S.F. 1983. Bacterias coliformes. Pp. 128-146. En: *Microorganismos de los Alimentos 1. Técnicas de análisis microbiológico*. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Lipinski, V.M. & Gaviola, S. 2006. Evaluación del rendimiento y calidad de cultivares de ajo colorado fertirrigados con nitrógeno. *Rev. FCA. UNCuyo*. Tomo XXXVIII. N° 2. Año. 2006. 37-48.
- Lipinski, V.M.; Gaviola, S.; & Portela, J.A. 2009. Efecto del déficit de riego controlado en diferentes estadios del cultivo sobre el rendimiento de ajo colorado y castaño. Disponible en: <http://www.ina.gov.ar/pdf/cra-vferti/cra-ryd-16-Lipinski-2.pdf>. Consultado: 15/02/2012.
- Lipinski, V. 2011. Guía para definir programas de fertilización de hortalizas. Los Andes. 10 de Diciembre 2011. Disponible en: www.losandes.com.ar/guia-paradefinir-programas-fertilización-hortalizas-611394.aspa. Consultado: 15/02/2012.
- Lorenzo, E.V.; Ocaña, J.G.L.; Fernández, L.A. & Venta, M.B. 2009. Reuso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 40(1).
- Marr, Ch. & Rogers, D. 1993. Commercial vegetable production. Drip irrigation for vegetables. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Extension Service. Disponible en:

- <http://www.oznet.ksu.edu>. Consultado: 15/02/2012.
- Merli, G.F. & Ricciuti, N.O. 2009. Microbiología de las aguas residuales. Aplicación de biosólidos en el suelo. Seminario de procesos fundamentales físico-químicos y microbiológicos. Especialización y Maestría en Medio Ambiente. EdUTecNe. Bahía Blanca, Argentina. Pp 1-24.
- Ozores-Hampton, M. & Mendez, J. 2013. Uso de biosólidos en producción de hortalizas. Universidad de Florida. IFAS. Extensión. Publicación HS 1183. Topics: Horticultural Sciences/Biosolids/Vegetable Production.
- Pereyra, M. 2011. Informe de coyuntura de ajo de la provincia de Mendoza. Período agrícola 2011-2012. Instituto de Desarrollo Rural. Mendoza, Argentina. Pp 1-19.
- Portela, J.A. 2005. Escala ecofisiológica para ajo blanco y violeta: Una herramienta fundamental para la toma de decisiones en el cultivo. 9º Curso Taller sobre Producción, comercialización e industrialización de ajo. INTA. E.E.A. La Consulta. Mendoza, Argentina. Pp 95-100.
- Potaschner, P. 2011. Informe de coyuntura de ajo de la provincia de Mendoza. Período agrícola 2010-2011. Instituto de Desarrollo Rural. Mendoza, Argentina. Pp 1-17.
- Reynaldo, R.; Candelario, A.G. & Novel Roviroso, M. 2006. Uso de las máquinas de pivote central en el riego con aguas residuales. Revista Ciencias Agropecuarias. Año/vol. 15, número 001. La Habana, Cuba. pp. 47-50.
- Silva, J.; Torres, P. & Madera, C. 2008. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. Rev. Agronomía Colombiana, Vol. 26, N° 2. Colombia. Pp. 347-359.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1994. Biosolids recycling: Beneficial technologies for a better environment. EPA. 832-R-94-009. Washington, D. C., U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1995. Amendments to the standards for the use or disposal of sewage sludge (40 code of federal regulations Part 503). Washington, D. C., U.S. Environmental Protection Agency.
- Umland, R.E. 1949. Physical properties of soils as modified by crops and management. Soil Science Society of America Proceedings, 14: 361-366.
- Walkley, A. & Black, I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. Soil Sci. 34, 29-38.