

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA



“Proyecto de trabajo final presentado para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo”

USO DE EFLUENTES URBANOS TRATADOS Y
BIOSOLIDOS EN LA PRODUCCION DE AJO
(*Allium sativum* L.).

CHANADAY, EUGENIO ANDRÉS

DNI: 29787598

Director: Ing. Agr. M.Sc. Grosso, Liliana Elida

Co-Director: Ing. Agr. Dr. Crespi, Raúl Jesús

Río Cuarto, Córdoba, Argentina

Noviembre 2012

Agradecimientos:

A mis padres, Ramona y Oscar que con su esfuerzo y confianza me apoyaron incondicionalmente en todo momento..... a mis hermanos, Claudia y Marcelo, a mi cuñada Priscila, a una persona muy especial, Vanesa.... a Liliana y Raúl por permitirme trabajar en este proyecto, por sus valiosas sugerencias, aportes y orientación en el desarrollo de este trabajo, a Fabricio y a Diego por su excelente predisposición y apoyo moral recibido.....especialmente a la Universidad Nacional de Río Cuarto por la formación profesional... a mis amigos y grupo de estudio....Daniel, Maxi, Pablo, Alexis, Luis, Nicolás que me acompañaron y apoyaron en este camino aportando su granito de arena.....

.....simplemente GRACIAS DE TODO CORAZON!!!!!!!!!!!!!!

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACION

USO DE EFLUENTES URBANOS TRATADOS Y
BIOSOLIDOS EN LA PRODUCCION DE AJO
(*Allium sativum* L.).

Autor: Chanaday; Eugenio Andrés

DNI: 29787598

Director: Ing Agr. M.Sc. Grosso; Liliana Elida

Co-Director: Ing. Agr. Dr. Crespi; Raúl Jesus

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado

Evaluador:

Ing Agr. M.Sc.: Plevich; Omar _____

Ing. Ftal: Demaestri; Marcela _____

Fecha de presentación: ____/____/____

Aprobado por secretaria académica: ____/____/____

Secretario Académico

I. INDICE DE TEXTO

| | |
|--|-----|
| Resumen _____ | VI |
| Abstract _____ | VII |
| Introducción _____ | 1 |
| Hipótesis _____ | 8 |
| Objetivo general _____ | 8 |
| Objetivo específico _____ | 8 |
| MATERIALES Y MÉTODOS _____ | 9 |
| Sitio experimental _____ | 9 |
| Características del ambiente _____ | 9 |
| Cultivar “UNION” _____ | 9 |
| Tratamiento de efluentes urbanos y de biosólidos _____ | 10 |
| Evaluación del equipo de riego _____ | 15 |
| Análisis físico-químico del suelo ensayado _____ | 16 |
| Experimento _____ | 17 |
| RESULTADOS Y DISCUSIONES _____ | 21 |
| Condiciones meteorológicas durante el ciclo del cultivo _____ | 21 |
| Aporte de agua al cultivo de ajo durante el ciclo _____ | 22 |
| Análisis de suelo _____ | 23 |
| Diámetro de bulbos de ajo a los 180 días de plantación _____ | 24 |
| Diámetro de bulbos de ajo a los 240 días de plantación _____ | 25 |
| Peso seco de raíz, bulbo y parte aérea de las plantas de ajo _____ | 26 |
| Proporción de bulbos _____ | 27 |
| Peso, calibre y N° de bulbillos para bulbos normales _____ | 28 |
| Peso, calibre y N° de bulbillos para bulbos deformes _____ | 29 |
| Peso, calibre y N° de bulbillos para bulbos chicos _____ | 30 |
| Rendimiento total de bulbos de ajo _____ | 31 |
| Rendimiento comercial _____ | 32 |
| Calidad sanitaria _____ | 33 |
| Eficiencia en el uso del agua _____ | 34 |
| Conclusiones _____ | 35 |
| Apreciaciones finales _____ | 36 |
| Perspectivas futuras _____ | 37 |
| Bibliografía _____ | 38 |

II. INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Cámara concentradora _____ | 10 |
| Figura 2. Tanque sedimentador de lodos _____ | 10 |
| Figura 3. Sistema de tratamiento de efluentes _____ | 11 |
| Figura 4. Biodigestor vertical _____ | 13 |
| Figura 5. Líneas porta goteros, línea principal y detalles del cabezal de riego _____ | 16 |
| Figura 6. Descarga, acopio y aplicación de biosólidos _____ | 18 |
| Figura 7. Estado general del cultivo a los 110 y 180 días del ciclo _____ | 18 |
| Figura 8. Temperaturas máximas, medias y mínimas de 2009 y valores promedios históricos (1981-2010) para el periodo Abril-Noviembre _____ | 22 |
| Figura 9. Precipitaciones de 2009 y valores promedios históricos (1981-2010) para el periodo Abril-Noviembre _____ | 22 |
| Figura 10. Evolución hídrica del perfil del suelo _____ | 23 |
| Figura 11. Bulbos normales del cultivar “Unión” según tratamiento _____ | 33 |

III. INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Determinaciones analíticas del efluente urbano tratado _____ | 11 |
| Tabla 2. Características agroecológicas de los biosólidos _____ | 13 |
| Tabla 3. Láminas almacenadas durante el ciclo del cultivo de ajo_____ | 14 |
| Tabla 4. Valores de referencia de coeficientes de uniformidad _____ | 15 |
| Tabla 5. Características químicas del perfil del suelo _____ | 16 |
| Tabla 6. Características físicas del perfil del suelo _____ | 17 |
| Tabla 7. Características físico-químicas del suelo después de los tratamientos_____ | 24 |
| Tabla 8. Diámetros de bulbos del ajo a los 180 días de la plantación ____ | 25 |
| Tabla 9. Diámetros de bulbos del ajo a los 240 días de la plantación ____ | 26 |
| Tabla 10. Peso seco de biomasa ($t\ ha^{-1}$)_____ | 27 |
| Tabla 11. Proporción de bulbos normales y anormales _____ | 28 |
| Tabla 12. Peso, calibre y nº de bulbillos en bulbos normales _____ | 29 |
| Tabla 13. Peso, calibre y número de bulbillos por bulbo deforme ____ | 30 |
| Tabla 14. Peso, calibre y número de bulbillos por bulbo chico _____ | 30 |
| Tabla 15. Rendimiento total en ($t\ ha^{-1}$) del cultivar de ajo blanco “Unión” _____ | 31 |
| Tabla 16. Rendimiento comercial en ($t\ ha^{-1}$) del cultivar de ajo blanco “Unión” _____ | 33 |
| Tabla 17. Eficiencia del uso del agua (EUA) de cada tratamiento ____ | 34 |

RESUMEN

Uso de efluentes urbanos tratados y biosólidos en la producción de ajo (*Allium sativum L.*).

El uso de las aguas residuales tratadas y la aplicación de biosólidos constituyen una alternativa viable para su reutilización en cultivos hortícolas. Con el objetivo de evaluar el rendimiento y la calidad del cultivo de ajo, se analizó el comportamiento de estas variables, se plantó el 22/04/2009 ajos tipo comercial "blanco" cultivar Unión, a una densidad de 30 plantas.m⁻², en un diseño experimental en bloques completos al azar, con cinco tratamientos: 1- Biosólidos 5,5 t ha⁻¹ (Bio 5,5); Biosólidos 11 t ha⁻¹ (Bio 11) con 13 % de humedad; Nitrógeno 150 kg ha⁻¹ (N150); Nitrógeno 300 kg ha⁻¹ (N300) y Testigo (T) y cuatro repeticiones. Se aplicó una lámina bruta de 471 mm mediante 27 riegos por goteo, la precipitación efectiva (Pe) aportó 121 mm. El efluente suministró 151 kg ha⁻¹, 19 kg ha⁻¹ y 75 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente. El biosólido Bio 5,5 aportó: 8,31 kg ha⁻¹ y 5,83 kg ha⁻¹ de N y P respectivamente y el doble para Bio 11. El rendimiento de ajo en bulbos secos y limpios fue de: 17,08 t ha⁻¹ para Bio 11; 15,93 t ha⁻¹ para testigo; 15,73 t ha⁻¹ para N300; 15,69 t ha⁻¹ para N150; y para Bio 5,5 14,4 t ha⁻¹; no encontrando diferencias significativas al nivel de 5 % (Duncan). El análisis bacteriológico de los bulbos confirmó ausencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* La aplicación de este desarrollo tecnológico demostró ser una alternativa interesante para la producción de ajo en la región central del país.

Palabras claves: ajo, efluentes tratados, biosólido, rendimiento, calidad sanitaria.

ABSTRACT

Use of urban treated effluents and biosolids in the production of garlic (*Allium sativum* L.).

The use of treated wastewater and the application of biosolids is a viable alternative for reuse in vegetable crops. In order to evaluate the performance and quality of garlic crop these variables were analyzed, on 22/04/2009 commercial white garlic cultivar “Union” were planted, at a density of 30 plants per m², in an experimental design in randomized complete block with five treatments Bio 5,5 t ha⁻¹ (Bio 5,5); Biosolids 11 t ha⁻¹ (Bio 11) with 13% moisture; Nitrogen 150 kg ha⁻¹ (N 150); Nitrogen 300 kg ha⁻¹ (N 300) and witness (T) and four repetitions. We applied a gross depth of 421 mm by 27 drip irrigation, effective rainfall being 121 mm. The effluent contributed 151 kg ha⁻¹, 19 kg ha⁻¹, 75 kg ha⁻¹ of N, P and K respectively. 5,5 the bio biosolids produced: 8,31 kg ha⁻¹ and 5,83 kg ha⁻¹ of N and P respectively and twice for bio 11. The yield of garlic bulbs was dry and clean: 17,08 t ha⁻¹ for Bio 11; 15,93 t ha⁻¹ for control; 15,73 t ha⁻¹ for N300, 15,69 t ha⁻¹ for N150 and 5,5 Bio: 14,4 t ha⁻¹; no significant differences at 5% level (Duncan) were found. The bacteriological analysis of the bulbs confirmed the absence of *Escherichia coli* and *salmonella* sp. The application of this technological development proved to be an interesting alternative for the production of garlic in the Midwest-

Key words: garlic, treated effluents, biosolids, performance, quality care

INTRODUCCIÓN

Importancia del cultivo de ajo

Argentina, durante el año 2011 alcanzó un volumen de exportación de 91.966 t logrando el segundo lugar como exportador de ajo del mundo (Pro Mendoza, 2012). En ese contexto, Mendoza ocupa el primer lugar como provincia productora de este cultivo, demandado por sus propiedades antioxidantes y curativas. Es destacable la importancia del ajo en las exportaciones Argentinas, sobre todo de las variedades mendocinas; que totalizan el 97% de los envíos al exterior. Los mercados internacionales aprecian la relación precio-calidad y las características naturales de los productos mendocinos que se comercializan a Brasil, Uruguay, Italia, Francia y Reino Unido entre otros destinos estratégicos (Pro Mendoza, 2012). El consumo en Argentina es de aproximadamente 1 kg por comensal y por año (Cabello y Burba, 2006).

La diversidad de zonas productoras en el país, con diferentes condiciones agroecológicas, permiten que la oferta sea continua durante todo el año (Orecchia, 2001); siendo Mendoza y San Juan las principales provincias productoras, aportando más del 85 % del total nacional (Cabello y Burba, 2006).

La superficie cultivada de ajo para la temporada 2010-2011 en las mencionadas provincias de cuyo, alcanzaron las 14.050 ha. Mendoza lidera la superficie cultivada del país con 11.550 ha (82 %) de todos los tipos comerciales difundidos mientras que San Juan registra 1.900 ha (13.5 %), principalmente ajo blanco. Ambas provincias están fundamentalmente dedicadas al ajo de exportación (Potaschner, 2010).

En el resto del país, Buenos Aires registró para la misma campaña 700 ha (4,9 %), siendo el ajo cultivado del tipo colorado, y Córdoba aproximadamente 100 ha, un 0.7 % de la superficie nacional. Estas dos provincias son abastecedoras tradicionalmente del mercado interno (Burba, 2005).

En Córdoba se produce ajo en la zona de Jesús María, Villa Dolores y en el Departamento de Cruz del Eje siendo esta última la zona más importante de producción de ajos tempranos del país, que pese a no contar con la calidad de los ajos de Mendoza o San

Juan su carácter de primicia le permite ser comercializado e inclusive lograr muy buenos precios en el mercado (Orecchia, 2001).

Los rendimientos por hectárea posicionan al ajo tipo blanco en tercer lugar con 8.35 t ha⁻¹ de ajo limpio y seco libre de ramas y raíces (Pereyra y Potaschner, 2010).

Uso de las aguas residuales tratadas

El crecimiento acelerado de la población, especialmente en países en vías de desarrollo; la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterránea; la distribución desigual del recurso hídrico y los graves periodos secos; han forzado a buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua, considerándose a las aguas residuales una fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso (Silva *et al*; 2008).

De ésta manera se impone priorizar el uso de aguas de primera calidad para el abastecimiento público y aprovechar aguas de menor calidad en usos menos exigentes, como es el riego agrícola. Cabe destacar que, además del potencial que ofrecen los efluentes domésticos como oferta de agua para riego, son una importante fuente de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) y de materia orgánica para cultivos (Moscoso y Gunther Merzthal, 2001).

La aplicación de efluentes residuales tratados como recursos de riego agrícola, supone una etapa más en el tratamiento de las aguas ya que el suelo es un elemento de alta eficacia depuradora. A medida que el agua se infiltra en el terreno, este actúa a modo de filtro y en su superficie, por la actividad bacteriana se produce la degradación biológica de la materia orgánica (Estrucplan, 2012).

La reutilización de efluentes residuales tratados en el riego agrícola garantiza una fuente constante y segura de líquido aún en años secos, aporte continuo de nutrientes y microelementos para las plantas, ahorro en gastos de fertilización, y sobre todo coadyuvar en la eliminación de aguas residuales y la sustentabilidad del sistema (Crespi *et al.*, 2001). Muchas veces las masas receptoras de estos desechos líquidos son incapaces de absorber y neutralizar la carga contaminante. Por este motivo, las aguas residuales antes de su descarga a los cursos y cuerpos receptores, deben recibir algún tipo de tratamiento que modifique sus condiciones iniciales (Rojas, 2002).

La fuente de nutrientes que puede resultar de un efluente tratado, en tanques de estabilización y a una intensidad de riego de $20000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, se asocian a tasas de aplicación de 300 kg ha^{-1} de Nitrógeno y 60 kg ha^{-1} de Fósforo, lo que puede reducir o eliminar la necesidad de aplicar fertilizantes. Además, la materia orgánica que se agrega actúa como acondicionador del suelo (OMS, 1989).

Para el caso del cultivo de ajo con aplicaciones de riego de $9000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de efluente tratado, y con valores promedios de concentración de nitrógeno de entre 20 y 40 mg L^{-1} de nitrógeno total, se espera un aporte de entre 180 y $360 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Para Fósforo, concentraciones de alrededor de 1 mg L^{-1} de fósforo total en el efluente significarían aportes de aproximadamente $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Fasciolo *et al.*, 1998).

La calidad bacteriológica del agua residual se establece a partir del número de coliformes fecales y de la presencia de bacterias patógenas como la *Salmonella*, *Shingella* y *Cholera* (Bouwer y Idelovitch, 1987).

Actualmente existe distintas normativas para regular el uso de aguas residuales, entre las que se encuentran las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde se insiste en la necesidad de controlar parámetros de tipo microbiológicos, como son los de coliformes fecales y los nematodos. La OMS establece que el agua residual para el riego de cultivos de productos que se consumen sin cocinar debe tener una media geométrica ≤ 1000 coliformes fecales/100 ml y una media aritmética ≤ 1 huevo de nematodos intestinales L^{-1} (Lafuente, 2009). El contenido de huevos de helmintos que establece la OMS, debe ser ≤ 0.1 huevo L^{-1} para el riego de cultivos que se consumen en crudo donde los consumidores y el grupo de trabajo están expuestos (Ortiz Pineda, 2010).

Reportan Fasciolo *et al.* (2002) que en cultivo del ajo, el riego con efluentes se comporto como una fertilización nitrogenada aumentando los rendimientos por hectárea en un 15 % y los calibres de los bulbos en un 9 % sin afectar la calidad comercial del ajo. Además indican que en los suelos regados con efluentes domésticos tratados se aumento la velocidad de infiltración, el contenido de materia orgánica y de fósforo, y se produjeron modificaciones positivas en la estructura del suelo.

Cultivares de ajo “blanco” y “morado” fueron regados con dos calidades de agua, efluentes urbanos tratados y agua de perforación, no hallando diferencias obtenidas entre ambos tipos de calidades de agua para producción (kg ha^{-1}), el peso y calibre de los bulbos y no se modifico la proporción de anomalías en la bulbificación, además los bulbos de ajo

regados con el efluentes resultaron seguros para la salud humana, no se detecto *Escherichia coli* y *Salmonella sp* (Grosso *et al.*, 2004; 2005 y Crespi *et al.*, 2005).

En un ensayo llevado a cabo en el año 2000 en Mendoza sobre un cultivo de ajo regado con efluentes domésticos tratados, se concluyó que el producto comestible presentaba niveles bajos de *Escherichia coli* (<100NMP/g) a partir de los 20 días posteriores a la cosecha y 25 días después del ultimo riego (Fasciolo *et al.*, 2005).

Aplicación de biosólidos

Los biosólidos son principalmente materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden ser utilizados en diversos usos beneficiosos. Un ejemplo de tales usos es la incorporación de biosólidos al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno (EPA, 2000).

El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Estos mejoran las características del suelo, tales como la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. La aplicación de biosólidos también provee algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos (EPA, 2000).

La digestión anaerobia, definida como la utilización de microorganismos, en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos, incluido el dióxido de carbono (Kiely, 1999), es una opción para el tratamiento de la fracción orgánica biodegradable de los lodos urbanos, ya que con su implementación se disminuye el riesgo de generar polos infecciosos a causa de su carácter anaerobio. Además se producen efluentes residuales importantes: el biogás (esencialmente metano y dióxido de carbono), (Pavlostathis y Giraldo Gómez, 1991), que puede ser utilizado como fuente de energía (Flotats *et al.*, 1997) y un efluente líquido que puede utilizarse como acondicionador de suelos por sus características fisicoquímicas.

Actualmente, cerca del 55% de la producción anual de biosólidos de Estados Unidos es usada beneficiosamente en campos en suelos dedicados a la agricultura, bosques, enmiendas a los suelos o son almacenados para dichos propósitos. También se utilizan en

viveros, jardines, productores de mezclas de suelo, parques, producción de hortalizas, frutas y plantas ornamentales (Ozores y Méndez, 2010).

La aplicación de biosólidos en la producción de hortalizas, como enmiendas orgánicas en los suelos, puede incrementar el crecimiento de la planta y producir rendimientos comparables con cantidades menores de nutrientes inorgánicos en comparación con fertilizantes comerciales sintéticos. Los biosólidos pueden ser usados en conjunto con fertilizantes disminuyendo así la dosis de aplicación requerida (Ozores y Méndez, 2010).

La aplicación al suelo de biosólidos solos o en combinación con otros materiales aumenta el rendimiento de varias hortalizas como tomate (*Lycopersicon esculentum*), calabaza (*Curcubita maxima*), y frijol (*Phaseolus vulgaris*). Los biosólidos se usan en el cultivo de chile pimiento (*Capsicum annum*) para reducir la dosis de N en un 50% lográndose alcanzar el mismo rendimiento comercial que un cultivo de chile pimiento con la aplicación del fertilizante (Ozores-Hampton *et al.*, 2000). La biomasa de la planta fue mayor con la aplicación de biosólidos que el control al cuál no se había aplicado biosólidos (Ozores y Méndez, 2010).

La combinación de biosólidos y fertilizantes inorgánicos generalmente ha sido más efectiva para producir una respuesta positiva en el cultivo que la aplicación de fertilizantes y biosólidos por separado (Ozores-Hampton *et al.*, 1999; 2000).

De acuerdo con Vélez Zuluaga (2007), las investigaciones actuales y el proceso de reutilización de lodos tratados es cada día mayor y tiende a ser una importante actividad económica siempre que se actúe con responsabilidad y sustentabilidad ambiental y que en estos momentos están subutilizados en el mundo; sin embargo, es importante saber que nunca resultara en el sustituto total de los fertilizantes minerales, pues según López (1996), si todos los lodos generados en el Reino Unido fueran utilizados en agricultura, solamente se cubriría el 5% de la demanda de nitrógeno y el 10% de la de fósforo.

Fertilización nitrogenada inorgánica

La fertilización en ajo ha sido estudiada en la provincia de Mendoza (Argentina), bajo riego por superficie; trabajos en los que se determinó el efecto de los fertilizantes sobre los componentes del rendimiento, las dosis y los momentos óptimos de la fertilización nitrogenada en los biotipos blancos y colorados (Gaviola *et al.*, 1991).

El ajo es un cultivo que responde fundamentalmente a la fertilización nitrogenada, absorbiendo este nutriente principalmente en la etapa de mayor expresión vegetativa, extrayendo valores que oscilan entre 100-200 kg ha⁻¹ (Arboleya *et al.*, 1997). Esto asegura un buen desarrollo vegetativo y a la vez contribuye a que los bulbos alcancen un tamaño y peso adecuado (Rebolledo Jaña, 2004).

La fertirrigación con nitrógeno sobre cultivares de ajo fue evaluada por Gaviola *et al.* (2003) quienes reportan que los testigos con 0 de N aplicado obtuvieron los menores rendimientos en todos los cultivares. El mayor rendimiento se encontró en Perla INTA con 150 y 225 kg ha⁻¹ de N. Para el caso de Lican INTA y Nieve INTA con una dosis de 75 kg de N se lograron los máximos rendimientos.

Lipinski y Gaviola (2001), en Mendoza, evaluaron 3 densidades de plantación de ajo “blanco” (20, 30 y 40 plantas m²) y cuatro dosis de N incorporadas como Sol-UAN (0, 75, 150, 225, y 300 kg ha⁻¹). Los máximos rendimientos de ajo seco y limpio (13 t ha⁻¹) se obtuvieron con densidades de plantación de 40 plantas por m², dosis de fertilización de aproximadamente 220 kg ha⁻¹ de N.

Cantidades excesivas de N provocan el aumento de deformaciones de los bulbos disminuyendo su valor comercial (Gaviola *et al.*, 1991). También hay antecedentes bajo riego por goteo Lipinski y Gaviola (1999); Gaviola y Lipinski (2002) relacionados con la respuesta a diferentes fuentes y dosis nitrogenadas.

Lipinski (1995), en Mendoza, evaluó tres densidades de plantación de ajo colorado (24, 40 y 72 plantas m²) y distintas dosis de Nitrógeno (0, 140 y 280 kg ha⁻¹ de N) para cada densidad. Los porcentajes de calibres pequeños (C2, C3 y C4) aumentan a medida que aumenta la densidad, en cambio disminuyen los calibres grandes (C5 y C6). Con densidades de 720000 plantas ha⁻¹ no se encontraron bulbos con calibres 6.

Cultivares de ajo “blanco” y “morado” fueron evaluados en Río Cuarto bajo riego de agua de perforación y efluentes urbanos tratados además con distintas dosis de fertilización nitrogenada (100 kg ha⁻¹ de N) y (150 kg ha⁻¹ de N), dicha fertilización no logro aumentar los rendimientos del ajo (kg ha⁻¹), (Grosso *et al.* 2006).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de un cultivo de ajo tipo blanco regado con efluentes urbanos tratados, abonado con biosólidos y fertilizado con nitrógeno líquido, para determinar el potencial fertilizante de los efluentes urbanos y los

biosólidos utilizados como recursos alternativos, y su incidencia sobre la calidad sanitaria y comercial, y la respuesta productiva del cultivo.

HIPÓTESIS

El riego con efluentes urbanos tratados y la aplicación de biosólidos, puede reemplazar la fertilización nitrogenada química y sin afectar la calidad comercial y sanitaria del producto.

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el comportamiento del cultivo de ajo regado por goteo con efluentes urbanos tratados, el poder fertilizante de los biosólidos, y la respuesta a la fertilización química.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la evolución hídrica del perfil del suelo durante el ciclo del cultivo.
- Determinar a cosecha el rendimiento en peso (kg ha^{-1}), los diámetros de los bulbos, el porcentaje de los bulbos normales y con anomalías en la bulbificación, para cada tratamiento.
- Evaluar a través de análisis físicos y químicos del suelo, la respuesta a cada tratamiento.
- Analizar y determinar en los bulbos, en el momento en que se efectúa la cosecha la presencia de microorganismos perjudiciales para la salud, tales como *Salmonella sp* y *Escherichia coli*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

Durante las temporadas 2009 y 2010 se efectuó el ensayo en el Campo Experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Departamento de Río Cuarto, Córdoba, Argentina, en una Planta Piloto de Tratamiento y Reutilización de efluentes urbanos ubicada a 33° 07' Lat. Sur; 64° 14' long. Oeste; 421 m.s.n.m, próximo a las residencias universitarias, con ajo blanco (*Allium sativum* L.). El ensayo se realizó en un suelo Hapludol típico.

Caracterización del ambiente

Temperaturas y lluvias

El clima de la región es templado-subhúmedo, con un régimen de precipitaciones monzónica, es decir, concentrado en el período primavera-verano (el 80% de las lluvias ocurre entre Octubre y Abril). El periodo libre de heladas en Río Cuarto es de 256 días y va desde mediados de Septiembre a mediados de Mayo (ADESUR, 1999).

Paisaje y suelo

El Departamento Río Cuarto está ubicado en la región caracterizada como llanuras bien drenadas con invierno seco. La zona presenta un paisaje de planicie intermedia con relieve normal-subnormal, suavemente ondulado a ondulado; con pendientes largas, de gradientes entre 0,5-1% (Cantero *et al.*, 1986).

Cultivar “UNION”

Es un cultivar obtenido de la población Blanco Mendoza, en un trabajo conjunto entre la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, INTA La Consulta y el Gobierno de Mendoza.

Union es un cultivar de plantas de porte erecto, de gran altura, sin vara floral, bulbo grande del tipo comercial (63-65 mm y 72-78 g), con un número de dientes promedio de 12 de color blanco cremoso claro, de forma chata con catafilas blanco cremosas, disco radical hundido. El ciclo del cultivo es de 235-241 días (entre mediados de Marzo y fines de Noviembre), (Burba y Lanzavechia 1999).

Tratamiento del Efluente Urbano y de Biosólidos

El efluente urbano fue tomado de una pequeña población de estudiantes que forma parte de la UNRC, las llamadas Residencias Estudiantiles Universitarias (REU), que alberga a unos 432 estudiantes becados procedentes de pueblos y/o ciudades de la región, proyectando alojar 1056 estudiantes (Crespi *et al.*, 2007).

La recolección del efluente urbano se realizó mediante una red domiciliar que capta directamente los residuos de los baños y “bypassando” las cámaras sépticas se conducen hacia su tratamiento. El sistema está compuesto de tuberías secundarias de PVC, K4 de 110 mm de diámetro que ubicadas a una profundidad de 0.60 m colectan los efluentes y lo descargan a las tuberías primarias de 160 mm de diámetro y enterradas hasta 2 m de profundidad. Se trabajó con una pendiente proyecto de 1.5% y un caudal de 22280 L d⁻¹ que vierte a través de un disco perforado en una cámara concentradora de cemento de 1.5 m de ancho por 2.5 m de largo por 5 m de profundidad y descargando todo el material en un canasto de acero que retiene el grueso que podría haber pasado, procediendo periódicamente a su limpieza antes de continuar con el tratamiento del efluente (Figura 1).

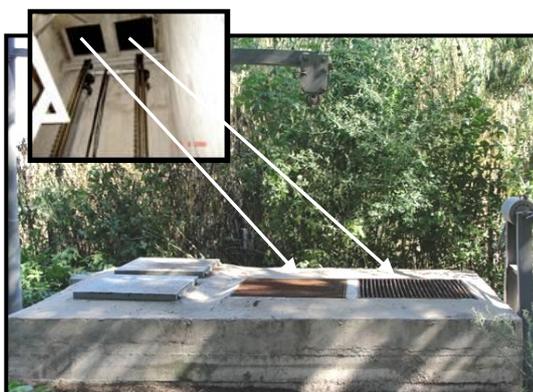


Figura 1: Cámara concentradora. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Cuando se almacena en la cámara concentradora de cemento un volumen de efluente de 4000 L, este es impulsado a un tanque sedimentador de lodos de 12000 L de capacidad a través de una bomba centrífuga (Figura 2).

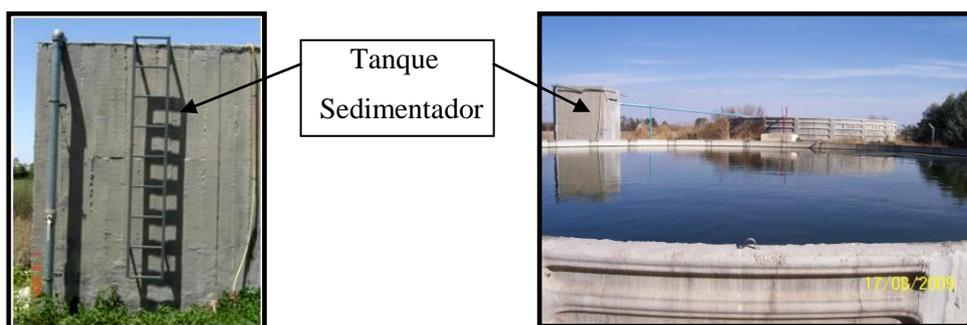


Figura 2: Tanque sedimentador de lodos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Desde el tanque sedimentador se deriva a cierta cota hacia un reactor biológico circular de 9,1 m de diámetro con una capacidad de 78000 L donde se baja la demanda biológica de oxígeno (DBO), y se pasa luego del tiempo de depuración a un tanque de mayor volumen de 15,75 m de diámetro y con una capacidad de 136310 L que actúa a modo de laguna de maduración para eliminar gérmenes patógenos a límites permisibles haciendo uso de la luz ultravioleta generada naturalmente por el sol (Figura 3).



Figura 3: Sistema de tratamiento de efluentes. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Luego de cumplirse el tiempo de residencia hidráulico en la laguna de maduración; con el auxilio de flotadores, se capta el efluente urbano desde la parte superior y haciendo uso de una bomba centrífuga se conduce a través de una tubería de PVC de 40 mm de diámetro hasta la parcela bajo riego por goteo (Crespi *et al.*, 2007).

Para determinar la calidad física y química del efluente se procedió a realizar el muestreo por medio de la metodología de muestras compuestas. El análisis de la composición físico-química del efluente urbano tratado utilizado como fuente de agua para riego se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Determinaciones analíticas del efluente urbano tratado. Planta Piloto UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

| Determinación analítica | Unidad | Valor |
|----------------------------------|--------|--------|
| Sólidos sedimentables (10 min.) | ml/L | 0.50 |
| Sólidos sedimentables (120 min.) | ml/L | 0.80 |
| Sólidos totales | ml/L | 842.00 |
| Sólidos totales fijos | ml/L | 298.00 |
| Sólidos totales volátiles | ml/L | 544.00 |
| Sólidos disueltos Totales | ml/L | 590.00 |
| Sólidos disueltos Fijos | ml/L | 380.00 |
| Sólidos disueltos Volátiles | ml/L | 210.00 |

Continúa

| Determinación analítica | Unidad | Valor |
|------------------------------|-----------|---------------|
| Sólidos Suspendedos Totales | mg/L | 252.00 |
| pH | | 7.82 |
| Conductividad eléctrica | dS/m | 1.13 |
| Turbiedad | FAU | 263.50 |
| Color Verdadero | PtCo APHA | 1150.00 |
| Nitrógeno total | mg/L | 108.5 |
| Cloruros | mg/L | 138.00 |
| Sulfatos | mg/L | 14.50 |
| Alcalinidad total | mg/L | 350.00 |
| Alcalinidad carbonatos | mg/L | <1 |
| Fósforo total | mg/L | 8.1 |
| Hierro | mg/L | 1.30 |
| Litio | mg/L | No detectable |
| Boro | mg/L | 0.14 |
| Cromo | mg/L | 0.04 |
| Magnesio | mg/L | 11.60 |
| Manganeso | mg/L | 0.08 |
| Níquel | mg/L | No detectable |
| Potasio | mg/L | 16.00 |
| Plomo | mg/L | No detectable |
| Selenio | mg/L | No detectable |
| Sodio | mg/L | 158.00 |
| Aluminio | mg/L | 0.99 |
| Arsénico | mg/L | 0.017 |
| Cadmio | mg/L | 0.00014 |
| Calcio | mg/L | 50.00 |
| Zinc | mg/L | 0.11 |
| Cobalto | mg/L | No detectable |
| Cobre | mg/L | No detectable |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | 265.00 |
| Demanda Biológica de Oxígeno | mg/L | 112.57 |

Las determinaciones físico-químicas fueron realizadas por el Departamento de Tecnología Química de la Facultad de Ingeniería de la UNRC y por el INA (Mendoza); el departamento de Microbiología de Ciencias Exactas de la UNRC, fue el responsable de

realizar un conteo promedio de coliformes totales del efluente crudo estableciendo un valor de coliformes totales de $9.0 \text{ por } 10^{12} \text{ NMP/100 ml}$ de agua residual (Crespi *et al.*, 2005).

Los lodos obtenidos en el tanque sedimentador fueron transportados en bidones de 50 L hasta un digester vertical en que se realizó el tratamiento de los lodos por destrucción de la materia orgánica mediante el proceso biológico de anaerobiosis de los sólidos procedentes del tratamiento de los efluentes, el digester consiste en un tanque enterrado de 300 L de capacidad, que es alimentado desde la parte superior por una tubería de PVC que llega hasta el fondo del recipiente (Figura 4).



Figura 4: Biodigestor vertical y descarga de biosólidos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Por el lado opuesto inferior se inserta hasta el centro del tanque una tubería de PVC para controlar la descarga de biosólidos, receptada a 1 m de profundidad en un nivel inferior respecto a la superficie del suelo desde el cual es tomado para su aplicación en el cultivo de ajo (Crespi *et al.*, 2010).

Las características de los biosólidos fueron determinadas en el Laboratorio de Nutrición Animal de la UNRC y se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Características agroecológicas de los biosólidos. Planta Piloto UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

| Parámetros | Unidad | 30-jul. | 10-Sep | 06-nov. |
|------------------|--------|---------|--------|---------|
| Cenizas | (%) | 54,9 | 67,8 | 60,21 |
| Materia Orgánica | (%) | 45,1 | 32,2 | 39,79 |
| Nitrógeno total | (%) | 2,2 | 1,19 | 1,88 |
| Fósforo | (%) | 1,35 | 1,11 | 1,42 |
| Potasio | (%) | 0,51 | 0,65 | 0,81 |
| Carbono | (%) | 26,16 | 18,67 | 29,15 |
| C/N | (%) | 11,89 | 15,69 | 15,51 |

Para establecer el riego, se utilizó un sistema de riego por goteo con gotero cilíndrico integrado (Irritec Siplast Junior), quedando las líneas porta goteros separadas a 0,5 m, con goteros cada 0,33 m y un caudal medio (qm) de 0,81 L h⁻¹.

Para determinar la frecuencia de riego se realizó un seguimiento de la evolución del perfil del suelo durante el ciclo del cultivo por el método gravimétrico tomando muestras de suelo en la cabecera, mitad y al pie de surco a una profundidad de 0-10 cm, 11-20 cm, 21-30 cm. Estas muestras se tomaron con un barreno, se determinó el peso húmedo y se colocaron en estufa a 105 °C hasta lograr peso constante, posteriormente se pesaron y se determinó el contenido de humedad del perfil en cada momento de medición. Con estos valores y conociendo la densidad aparente se pudo calcular la lámina almacenada (mm) en el perfil. El Punto de Marchitez Incipiente (Wi), se fijó para un consumo de agua útil del 30%, lo que determinó con la metodología descrita, una frecuencia aproximada de dos riegos por semana.

En total se obtuvieron 36 muestras para determinar el contenido de humedad durante el ciclo del cultivo, los resultados de la lámina almacenada expresada en milímetros de agua se observan en la Tabla 3.

Tabla 3: Láminas almacenadas durante el ciclo del cultivo de ajo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

| Fechas | L alm | Fechas | L alm | Fechas | L alm |
|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| 18/05/2009 | 57,8 mm | 24/07/2009 | 58,5 mm | 21/09/2009 | 62,3 mm |
| 25/05/2009 | 60,0 mm | 27/07/2009 | 61,9 mm | 25/09/2009 | 63,5 mm |
| 01/06/2009 | 60,4 mm | 03/08/2009 | 60,3 mm | 28/09/2009 | 60,8 mm |
| 08/06/2009 | 60,7 mm | 10/08/2009 | 62,1 mm | 01/10/2009 | 63,1 mm |
| 15/06/2009 | 56,7 mm | 17/08/2009 | 57,3 mm | 05/10/2009 | 45,8 mm |
| 22/06/2009 | 55,6 mm | 21/08/2009 | 63,3 mm | 09/10/2009 | 42,5 mm |
| 29/06/2009 | 58,0 mm | 24/08/2009 | 60,5 mm | 12/10/2009 | 45,7 mm |
| 06/07/2009 | 48,0 mm | 28/08/2009 | 61,9 mm | 16/10/2009 | 30,2 mm |
| 10/07/2009 | 58,5 mm | 31/08/2009 | 57,3 mm | 19/10/2009 | 55,6 mm |
| 13/07/2009 | 59,0 mm | 11/09/2009 | 58,0 mm | 26/10/2009 | 42,1 mm |
| 17/07/2009 | 59,2 mm | 14/09/2009 | 47,6 mm | 30/10/2009 | 54,9 mm |
| 20/07/2009 | 52,5 mm | 18/09/2009 | 64,0 mm | 02/11/2009 | 43,5 mm |

Del total de muestras realizadas, se decidió realizar el riego en 27 oportunidades, con la finalidad de mantener el contenido de humedad entre Punto de Marchitez Incipiente (Wi) con un valor de 52,24 mm de agua en el perfil, y Capacidad de Campo (Wc) cuyo valor es de

62,56 mm de agua en el perfil; Densidad aparente (Dap) 1,26 g cm⁻³ y una profundidad efectiva (Pef) de 300 mm, el Punto de Marchitez Permanente (Wm) fue de 28,17 mm.

Durante el ciclo del cultivo de ajo, la precipitación efectiva aportó un total de 121 mm, y el riego por goteo aportó una lámina bruta de 471 mm, alcanzando un total de 592 mm de agua. Los riegos se suspendieron 12 días antes de la cosecha.

Los valores medios normales de temperatura y precipitaciones de la serie histórica (1977-2006) y del año 2009 se observan en la Figura 8 y 9 respectivamente.

Evaluación del equipo de riego

Un sistema de riego debe distribuir el agua uniformemente sobre toda la superficie regada de manera de que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua. Una forma de evaluar la uniformidad con que un sistema de goteo distribuye el agua es mediante el coeficiente de uniformidad (C.U.) el cuál se define como:

$$C.U. = (Q_{25\%} / Q_n) \times 100$$

Donde: Q_{25%} es la media del caudal de la descarga del 25% de los emisores con caudal más reducido; Q_n: Caudal medio de todos los emisores.

Valores recomendados de C.U. de caudales del sector, según Matta Cagna., se observan en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores de referencia de coeficientes de uniformidad

| Rango | Clasificación |
|-----------|---------------|
| 90 – 100% | Excelente |
| 80 – 90% | Bueno |
| 70 – 80% | Aceptable |
| < 70% | Inaceptable |

Para conocer el valor de C.U. del equipo de riego que abastecía al cultivo de ajo, se realizó una evaluación de riego donde se colocaron 16 aforadores (recipientes plásticos), al principio, a 1/3, a 2/3 y al final de la tubería principal, es decir, a lo ancho del ensayo; y de las líneas porta goteros, es decir, a lo largo del ensayo. Se hizo funcionar el equipo durante 30 minutos y al finalizar dicho tiempo se midió en un recipiente graduado el volumen de agua emitido por cada gotero en cada aforador. Luego de esta prueba se calculó el coeficiente según las fórmulas que preceden en el texto, se obtuvo para ésta situación un

C.U. de 85.36%, este valor se encontró dentro del rango (80%-90%), calificando al sistema de distribución de agua como Bueno.

El equipo consta de una bomba centrífuga; ésta guía el agua por una conducción pasando por una válvula reguladora de presión, haciendo que la misma se mantenga constante; dos manómetros en baño de glicerina que permite definir el momento de limpieza del filtro de malla y un filtro de anillos antes de llegar a los emisores (Figura 5).



Figura 5: Líneas portagoteros, línea principal y detalle del cabezal de riego. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Análisis físico-químico del suelo ensayado

Para evaluar la respuesta de cada tratamiento sobre las propiedades químicas del suelo, se tomaron muestras compuestas previas a la plantación y al finalizar el ciclo del cultivo. 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 – Black; N-Nitratos (N-NO₃) por reducción por cadmio; Fósforo disponible (Pd) por el método de Kurtz y Bray I; CIC y K intercambiable (Kint) con acetato de amonio; y se efectuaron comparaciones mediante análisis de laboratorio (Tabla 5).

Tabla 5: Características químicas del perfil del suelo. Planta Piloto UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

| Fecha 02/06/2009 | Parámetros | | | | | | |
|---------------------|------------|------------|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------------|---------|
| | pH | CE dS/m | N-NO ⁻³ ppm | NO ⁻³ ppm | Pd ppm | Kint cmol/kg | MO % |
| | 6,74 | 0,1 | 22,7 | 100,6 | 57,1 | 1,82 | 1,86 |

Referencias:

pH: reacción del suelo; CE: conductividad eléctrica; N-NO₃: nitrógeno de nitratos; NO₃: nitratos disponibles en el suelo; Pd: fósforo disponible; Kint: potasio intercambiable y MO: materia orgánica.

Durante el transcurso del ensayo, se realizó la determinación de la Dap siguiendo la metodología de Uhlund mediante cilindros de acero inoxidable de 50 mm de altura por 47 mm de diámetro interno, para posteriormente establecer la humedad volumétrica a las distintas profundidades. Las constantes hídricas se determinaron en el laboratorio de la Cátedra de Sistema Suelo, mediante el empleo de ollas a presión a -30 kPa y -1500 kPa de potencial para Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente, respectivamente, siguiendo la metodología de Black (1965) y se expresan en forma de lámina almacenada al igual que el Agua Útil (Wu) y el Punto de Marchitez Incipiente a una profundidad de 0.30 m (Tabla 6).

Tabla 6: Características físicas del perfil del suelo. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

| Constantes hídricas | % H° Grav. | Lamina almacenada |
|--------------------------|------------|-------------------|
| Wc | 16,55 % | 62,56 mm |
| Wm | 7,45 % | 28,17 mm |
| Wu | 9,10 % | 34,39 mm |
| Wi | 13,82 % | 52,24 mm |
| Dap (g/cm ³) | 1,26 | |

Referencias:

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

Experimento

La plantación del ajo se realizó en Abril de 2009, en forma manual, en plano y a diente visto, el marco de plantación fue de 0,30 m de separación entre hileras y 0,11 m de separación entre bulbillos dentro de la hilera, dando una densidad de 303.030 plantas por ha¹. Se plantaron bulbillos “semilla” de ajos tipo comercial “blanco”, cultivar “UNIÓN”, de un tamaño promedio de 4 g, provenientes de bulbos de calibre 5.

La superficie de la parcela fue de 144 m², (16 m de largo x 9 m de ancho), ésta se dividió en subparcelas que correspondieron a cada tratamiento con una superficie de 7,2 m² cada una, (1.8 m de ancho x 4 m de largo). Los tratamientos fueron: dos dosis de biosólidos de 5,5 t ha⁻¹ (Bio 5.5) y 11 t ha⁻¹ (Bio 11); dos dosis de nitrógeno de 150 kg ha⁻¹ (N150) y 300 kg ha⁻¹ (N300) incorporadas como UAN (fertilizante líquido con 30% N, 14% N amidico, 8% amoniacal y 8% N nítrico, estabilizado a pH 7); más un testigo. Todos los tratamientos se regaron con efluentes urbanos tratados.

La aplicación de biosólidos se realizó en forma manual, incorporándolo a una profundidad de 5 cm entre los surcos (Figura 6). Las dosis de biosólidos fueron distribuidas en dos aplicaciones a los 110 días y 180 días de ciclo (Figura 7). Las dosis de nitrógeno líquido fueron distribuidas en 9 aplicaciones durante el ciclo del cultivo con una frecuencia de 15 días, a partir de los 42 días del ciclo.



Figura 6: Descarga, acopio y aplicación de biosólidos. UNRC. Río cuarto. Córdoba.



Figura 7: (izq.) estado general del cultivo a los 110 días del ciclo. (Der.) Estado general del cultivo a los 180 días del ciclo. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados (DBCA), la unidad experimental fueron 50 plantas extraídas de los cuatro surcos centrales de cada subparcela.

Para el control de malezas se llevó a cabo la aplicación de un herbicida pre emergente “Pendimentalin” (Herbadox), a una dosis de 4 L ha⁻¹. Durante el ciclo del cultivo se efectuaron controles manuales con herramientas de mano.

A los 106 días del ciclo se realizó la primera aplicación de fungicida Amistar extra, y a los 187 días se realizó la segunda aplicación. Este fungicida combina la acción preventiva y antiesporulante de Azoxistrobina perteneciente al grupo de las estrobirulinas y el efecto curativo y erradicante de Ciproconazole, perteneciente al grupo de los triazoles (Novo y Cavallo, 2007).

A los 150 días del ciclo se realizó una medición de diámetro de bulbo y cantidad de materia seca (MS) de hojas, bulbos y raíces sobre una muestra de 5 plantas de cada tratamiento, y al momento de la cosecha se volvieron a tomar dichas mediciones.

El tamaño de las plantas a inicio de bulbificación se evaluó a través del cociente entre el diámetro del cuello de la planta y el diámetro del bulbo como una buena relación del desarrollo del bulbo. Cuando esa relación es inferior a 0.5, significa la formación definitiva del bulbo. La maduración del bulbo se da cuando esa relación es de 0.2 a 0.1 (Arboleña *et al.*, 1997).

La cosecha se realizó el 19 de noviembre de 2009, en forma manual, de los cuatro surcos centrales de tres metros de longitud de cada subparcela para su posterior análisis eliminando de esta manera el efecto bordura.

Se evaluaron 50 plantas de ajo de cada tratamiento, colocando los bulbos para su secado en bolsas aireadas durante 60 días bajo un tinglado para facilitar la circulación de aire.

Posteriormente se procedió a su limpieza para determinar el porcentaje de bulbos normales, deformados, bulbos martillos, bulbos chicos y podridos, calibre, peso de individual de los bulbos; número de bulbillos por bulbo, y rendimiento total (kg ha⁻¹). Considerando bulbos normales los que poseen una circunferencia casi perfecta, los bulbos martillos se presentan como bulbos transversalmente alargados debido al crecimiento desproporcionado de dos bulbillos más externos y opuestos, bulbos chicos a aquellos que no alcanzan el calibre para comercialización y destinados a la utilización como semilla y bulbos deformados se presentan con un perímetro irregular.

Además se determinó materia seca de hojas, bulbos y raíces colocándolas en estufa hasta lograr peso constante a 105 °C.

Para el análisis microbiológico se tomaron muestras de 5 bulbos de cada tratamiento, en el momento de la cosecha; se colocaron en bolsas de nylon identificadas y se llevaron al laboratorio para realizar los análisis bacteriológicos y la determinación de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

Para la determinación de *Escherichia coli* se utilizó el método del Caldo Mac Conkey a 35 °C 24-48 hs. 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 Tetrionato y Caldo Selenito-Cistina a 35 °C; observación de colonias y sospechosas en Agares Selectivos y Diferenciales, pruebas bioquímicas y serológicas confirmatorias. Metodología analítica: ICMSF (1983).

Para evaluar la respuesta de cada tratamiento sobre propiedades físicas de suelo se efectuaron determinaciones en los cambios de densidad aparente y medición de la temperatura del suelo a la profundidad de desarrollo del bulbo en la etapa final del cultivo.

Los datos se analizaron estadísticamente con el programa InfoStat para Windows, aplicando análisis de varianza y comparación de medias con el test de Duncan ($p < 0.05$). Se analizó la relación entre los rendimientos, el riego por goteo con los efluentes, las dosis de nitrógeno y las dosis del biosólidos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones meteorológicas durante el ciclo del cultivo

En la Figura 8 se presentan los datos de temperaturas del año 2009 registrado durante el ciclo del cultivo de ajo, junto a los valores de la serie histórica 1981-2010.

Las temperaturas máximas, mínimas y medias del periodo Abril-Noviembre de 2009, fluctuaron alrededor de los valores históricos, presentando una tendencia similar a los mismos. Las temperaturas medias al momento de la plantación fueron superiores a las medias históricas (1981-2010), mientras que al momento de la cosecha las temperaturas medias fueron similares.

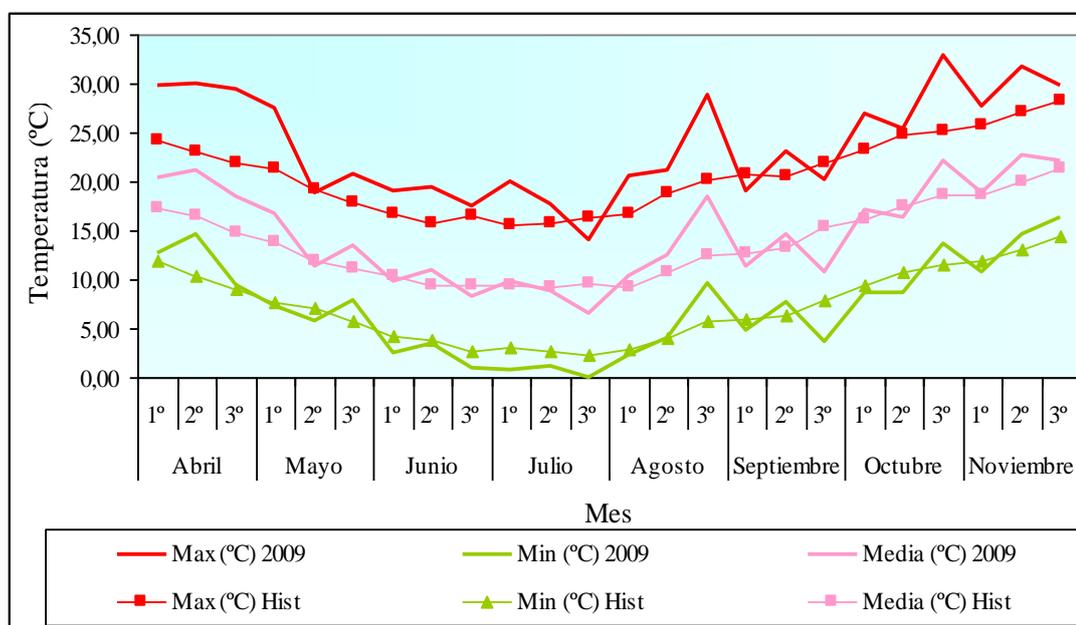


Figura 8: Temperaturas máximas, medias y mínimas de 2009 y valores promedio históricos (1981-2010) para el período Abril - Noviembre.

Fuente: Cátedra de Agro meteorología Agrícola de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.

En la Figura 9, se grafican los valores de precipitaciones del año 2009 y los valores promedios de la serie histórica 1981-2010.

Las precipitaciones tuvieron una variación en cantidad y en distribución con respecto a las precipitaciones históricas. En Abril, momento de la plantación, las precipitaciones fueron muy escasas en relación a las históricas, a finales de Mayo, las lluvias superaron a los valores normales. En los meses de invierno (Junio, Julio, Agosto), no se registraron precipitaciones, (situación que caracteriza a esta región); en Septiembre, las precipitaciones superaron a las históricas. En Octubre y Noviembre, las lluvias que se registraron, tuvieron valores muy por debajo de los valores históricos.

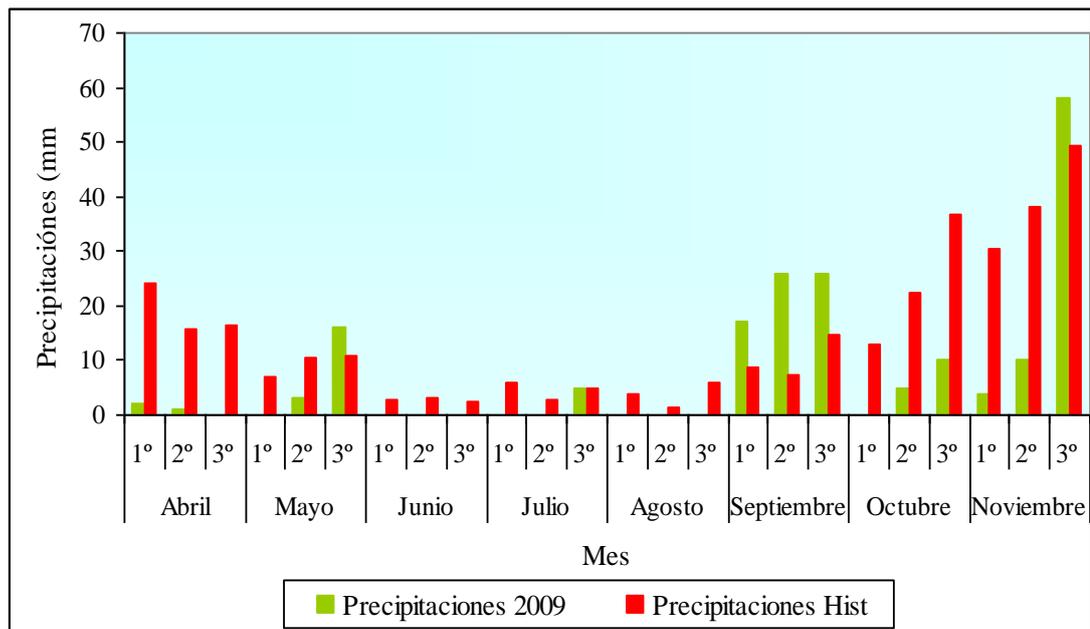


Figura 9: Precipitaciones de 2009 y valores promedio históricos (1981-2010) para el período Abril - Noviembre.

Fuente: Cátedra de Agro meteorología Agrícola de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.

Aporte de agua al cultivo de ajo durante el ciclo

El ajo es un cultivo de altos requerimientos hídricos, debiendo mantenerse el suelo prácticamente a Capacidad de Campo (W_c) durante todo su ciclo (Arboleya *et al.*, 1997), las etapas de sequía son críticas por lo que requiere permanente disponibilidad de agua (INTA, Santa Cruz).

La cantidad de agua requerida por el cultivo de ajo para optimizar aspectos cuali-cuantitativos depende, entre otros, del cultivar, el tipo de suelo, el clima (Lipinski *et al.*, 2006 a).

En éste ensayo el cultivo de ajo recibió a través del riego con el efluente urbano tratado una lámina bruta de 471 mm mas 121 mm de precipitación efectiva (P_e) totalizando 592 mm. Este aporte coincide con lo reportado por Burba (Burba, 1993), quien cita valores entre 500 y 600 mm para lograr una buena producción.

Lipinski y Gaviola (2006 b) obtuvieron en riego por goteo en el Valle de Uco, Mendoza, con ajo colorado cultivar Fuego INTA el máximo rendimiento $18,5 \text{ t ha}^{-1}$ con una lamina de 746 mm más 267 mm de P_e . Cabe destacar que las condiciones edafoclimáticas son diferentes a las condiciones locales.

En la Figura 10 se muestra la evolución hídrica del perfil con sus respectivas láminas almacenadas al momento del muestreo hasta una profundidad de 30 cm y las constantes hídricas del mismo, W_c , W_m y W_i . Las flechas indican los momentos de riego.

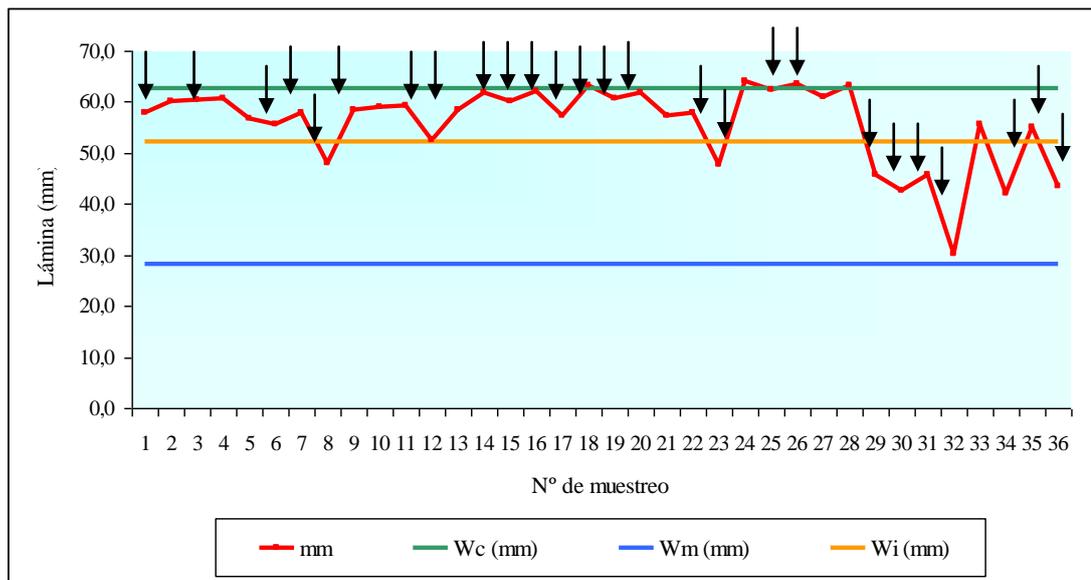


Figura 10: Evolución hídrica del perfil del suelo. Año 2009. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

Análisis de suelo

Con respecto al aporte de nutrientes, durante los 27 riegos con el efluente urbano, se aplicó un total de 151 kg ha^{-1} de nitrógeno, 19 kg ha^{-1} de fósforo y 75 kg ha^{-1} de potasio.

Estos aportes de nutrientes al suelo con los efluentes urbanos tratados no son coincidentes con los reportados por Fasciolo *et al.*, 1998, donde aplicaciones de láminas de 540 mm^{-1} año aportaron 106 kg ha^{-1} de nitrógeno y 10 kg ha^{-1} de fósforo. Estas diferencias serían atribuibles a las diferencias en la composición media del efluente utilizado.

Los biosólidos aportaron al cultivo de ajo $8,31 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrógeno y $5,83 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo para la aplicación de $5,5 \text{ t ha}^{-1}$ de biosólidos y $16,62 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrógeno y $11,66 \text{ kg ha}^{-1}$ de fósforo para la dosis de 11 t ha^{-1} de biosólidos.

Al finalizar la cosecha del cultivo de ajo, se tomaron muestras de suelo de cada tratamiento hasta una profundidad de 0.20 m, para comparar los efectos de los tratamientos en las variables asociadas a las características físico-químicas del suelo que se observan en la Tabla 7, en la que figuran los valores de dichas variables.

Tabla 7: Características físico-químicas del suelo después de los tratamientos. Planta piloto. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

| Fecha | pH | CE dS m ⁻¹ | N- NO ₃ ⁻ ppm | NO ₃ ⁻ ppm | H° |
|---------|------|--------------------------|--|-------------------------------------|------|
| Testigo | 6,78 | 0,138 | 8,05 | 35,66 | 5,0 |
| N 150 | 6,45 | 0,279 | 15,4 | 68,22 | 6,72 |
| N 300 | 6,21 | 0,285 | 23,0 | 101,89 | 5,4 |
| Bio 5,5 | 6,35 | 0,328 | 11,9 | 52,72 | 5,0 |
| Bio 11 | 6,54 | 0,137 | 8,0 | 35,44 | 6,19 |

Los análisis arrojaron una leve acidificación del pH en la capa superficial del suelo con respecto al testigo cuando se aplicaron los biosólidos y ésta fue más notoria cuando se fertilizó con N150 y N300. No se encontró diferencias de pH del tratamiento testigo con el valor de pH al inicio del ensayo.

Los valores de CE, aumentaron con el incremento de las dosis de N líquido; Bio 5,5 tuvo el mayor valor; resultando para Bio 11 un valor semejante al testigo regado con efluentes urbanos tratados.

La disponibilidad de nitratos (NO₃⁻) presentó variaciones entre los tratamientos y en relación a la disponibilidad al inicio del ensayo. El suelo previo a la plantación tenía una alta disponibilidad de nitratos probablemente debido a la mineralización ocurrida durante el verano y a la falta de consumo por la vegetación. Estos factores mencionados justificarían la disminución en el contenido de esta variable durante el ciclo del cultivo. La misma discusión es válida para el contenido de N-NO₃⁻. La fertilización nitrogenada con N300 resultó tener mayor disponibilidad de N-NO₃⁻ y dicho valor es semejante al contenido de este elemento al iniciar el ensayo. N150 resultó en 15,40 ppm. En el tratamiento con biosólidos, las cantidades fueron de 11,9 y 8 ppm para Bio 5,5 y Bio 11 respectivamente.

Diámetro de bulbos de ajos a los 180 días de plantación

El diámetro de los bulbos de ajos, fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA) y los promedios se compararon según el test de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Los resultados indicaron que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para esta variable de cultivo. Esta medición no manifestó diferencias entre el tratamiento testigo y los demás. En la Tabla 8, se puede observar que Bio 11, testigo y N300 arrojan valores similares no habiendo diferencias apreciables con respecto a diámetro de bulbo, (3,42 cm; 3,41 cm; 3,40 cm respectivamente), N150 y Bio 5,5 tuvieron los menores valores de diámetro (3,35 cm; 3,20 cm respectivamente).

Tabla 8. Diámetro del bulbo del ajo, a los 180 días de plantación. Año 2009. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| Tratamiento | Diámetro del bulbo (cm) |
|----------------|-------------------------|
| Testigo | 3,41 a |
| N 150 | 3,35 a |
| N 300 | 3,40 a |
| Bio 5,5 | 3,20 a |
| Bio 11 | 3,42 a |
| p-valor | 0,9335 |
| CV (%) | 11,84 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de biosólido) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

Diámetro de bulbos a los 240 días de plantación (Cosecha).

Al momento de la cosecha el diámetro de los bulbos fue sometido nuevamente al análisis de varianza (ANOVA) y según el test de Duncan ($\alpha = 0.05$), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos.

El mayor valor de diámetro fue para Bio 5,5 con 6,5 cm; los demás tratamientos tuvieron valores muy similares entre sí, dichos valores oscilaron entre 6,06 cm y 6,16 cm, valores considerados muy buenos para la comercialización.

Observando estos valores, podemos decir que se obtuvieron bulbos de ajos con buenos calibres en todos los tratamientos y que tanto el nitrógeno orgánico como el inorgánico en las dosis ensayadas han sido suficientes para obtener calibres comerciales; además el aporte de nitrógeno orgánico, puede reemplazar al aporte de nitrógeno inorgánico, sin disminuir la calidad de los bulbos obtenidos (Tabla 9).

Para las condiciones edafoclimáticas donde se realizó éste ensayo, la obtención de estos diámetros se debe a la densidad de plantación utilizada (30 plantas m⁻²), densidades mayores, en conjunto con altas dosis de N, aumentaron la proporción de bulbos de menor diámetro (Lipinski, 1995).

Tabla 9. Diámetro de bulbo del ajo, a los 240 días de plantación. Año 2009. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| Tratamiento | Diámetro del bulbo (cm) |
|----------------|-------------------------|
| Testigo | 6,16 a |
| N 150 | 6,06 a |
| N 300 | 6,13 a |
| Bio 5,5 | 6,50 a |
| Bio 11 | 6,07 a |
| p-valor | 0.6828 |
| CV (%) | 7.76 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de biosólidos) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

Peso seco de raíz, bulbo y parte aérea de las plantas de ajos.

El registro del peso seco de cada componente de las plantas (raíz, hoja y bulbo), no arrojaron diferencias estadísticamente significativas según el test de Duncan ($\alpha= 0.05$).

Analizando el peso seco de la raíz, el testigo y N300 resultaron en pesos de $0,8 \text{ t ha}^{-1}$, siendo estos, los mayores valores comparados con N150 y Bio 11 que arrojaron $0,6 \text{ t ha}^{-1}$ y Bio 5,5 que contribuyó con $0,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Con respecto a la biomasa de bulbos, a excepción de Bio 5,5, que dio una biomasa de $8,5 \text{ t ha}^{-1}$, superando en un 10% al peso de biomasa de bulbos del testigo, los demás tratamientos no superaron los $7,7 \text{ t ha}^{-1}$.

En cuanto al peso seco de la biomasa aérea, se obtuvieron valores que oscilaron entre $2,8$ y $3,3 \text{ t ha}^{-1}$ de MS.

La variable biomasa total, registró el mayor valor para Bio 5,5 con $12,3 \text{ t ha}^{-1}$ de MS, coincidente con el valor mas alto de biomasa de bulbos, explicando de esta manera el resultado, ya que los demás componentes no tienen mucha variación. Los demás tratamientos, no superaron al testigo al igual que lo ocurrido con la biomasa de parte aérea y de bulbos (Tabla 10).

Como en el caso anterior, los aportes de Nitrógeno orgánico e inorgánico al cultivo no se asocian con cambios en los pesos de MS de cada componente de la planta.

Tabla 10. Peso seco de biomasa ($t\ ha^{-1}$). UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| TOTALES | $t\ ha^{-1}$ | | | |
|--------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| Tratamiento | PS Raíz | PS Bulbo | PS Aérea | Biomasa Total |
| Testigo | 0,8 a | 7,7 a | 3,2 a | 11,7 a |
| N150 | 0,6 a | 7,2 a | 2,8 a | 10,6 a |
| N300 | 0,8 a | 7,3 a | 3,0 a | 11,0 a |
| Bio 5,5 | 0,5 a | 8,5 a | 3,3 a | 12,3 a |
| Bio 11 | 0,6 a | 7,2 a | 3,0 a | 10,8 a |
| p-valor | 0.6386 | 0.7920 | 0.7196 | 0.8385 |
| CV (%) | 46.33 | 21.88 | 16.81 | 20.24 |

Medias con igual letra para cada factor no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

Proporción de bulbos.

En cuanto a la proporción de cada clase de bulbos, los resultados de ANOVA según el test de Duncan ($\alpha= 0.05$), no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El aumento de la dosis de N líquido (UAN) de $150\ kg\ ha^{-1}$ a $300\ kg\ ha^{-1}$ provoca un aumento en el porcentaje de bulbos normales de 48.3% a 53.2% respectivamente, y causa el mismo efecto en el porcentaje de bulbos deformes aumentando este valor de 34.7% a 42.1%.

Con el incremento de las dosis de Biosólidos de $5.5\ t\ ha^{-1}$ a $11\ t\ ha^{-1}$ ocurre lo contrario para bulbos normales ya que el porcentaje disminuye de 55.6% a 46.9% respectivamente, mientras que el porcentaje de bulbos deformes aumenta de 26.2% a 44.6% para 5.5 y $11\ t\ ha^{-1}$ respectivamente.

Se debe tener en cuenta que los cultivares blancos no presentan una circunferencia perfecta y es frecuente que se presenten como bulbos algo deformados y pasan a ser normales desde el punto de vista comercial sin ser tan rigurosa la diferenciación entre bulbos normales y deformes.

El porcentaje de bulbos chicos disminuye de 7.2% a 3.1% para N150 y N300 respectivamente y para Biosólidos de 10.4% a 5.4% con el incremento de la dosis.

El testigo tuvo el 49,1 % de bulbos normales, aumentó la cantidad de bulbos chicos (11%) siendo mayor que los demás y una baja proporción de bulbos deformes (38,5%). Estos valores se corresponden con las características fisiológicas del cultivar UNION.

El riego con efluentes elevó el porcentaje de bulbos deformes si se compara con los resultados obtenidos por Grosso (2005), donde el riego con efluentes no había modificado la proporción de bulbos de ajo con anomalías en la bulbificación.

Entre las causas que los diferentes autores (Borgo (1995) y Portela (1995)) mencionan para explicar los defectos y las malformaciones están fundamentalmente las ambientales y genéticas de la semilla, las que se mantienen constantes dentro del año, pero también se menciona el excesivo contenido de nitrógeno en el momento de la bulbificación, (Tabla 11).

Con respecto a los bulbos martillos, el cultivar Unión es un cultivar no susceptible a ésta anomalía y es bajo el porcentaje de bulbos que presentan ésta anomalía en la bulbificación.

Tabla 11. Proporción de bulbos normales y anormales. Año 2009. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| Tratamiento | Porcentaje de bulbos (%) | | |
|----------------|--------------------------|---------------|---------------|
| | B. Normales | B. Deformes | B. Chicos |
| Testigo | 49,1 a | 38,5 a | 11,0 a |
| N 150 | 48,3 a | 34,7 a | 7,2 a |
| N 300 | 53,2 a | 42,1 a | 3,1 a |
| Bio 5,5 | 55,6 a | 26,2 a | 10,4 a |
| Bio 11 | 46,9 a | 44,6 a | 5,4 a |
| p-valor | 0.8402 | 0.3184 | 0.4332 |
| CV (%) | 24.58 | 34.06 | 90.35 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de biosólido) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

Peso, calibre y N° de bulbillos para bulbos normales.

Todos los tratamientos presentaron en promedio alrededor del 50% de bulbos normales, no diferenciándose estadísticamente entre ellos.

Para peso individual y calibre, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al 5% (Duncan), para estas variables al comparar todos los tratamientos con las distintas dosis de fertilización líquida y biosólidos.

El peso de los bulbos normales osciló entre 49,2 g. y 56,5 g, los bulbos de mayor peso son del tratamiento Bio 11, y los de menor peso los del tratamiento Bio 5,5. El incremento de las dosis de N inorgánico provocó la disminución del peso individual pero aumento el número de bulbillos por bulbo. El aporte de Nitrógeno orgánico aumentó el peso individual y

el número de bulbillos por bulbo. El promedio del calibre en todos los tratamientos fue de 6 cm (Tabla 12).

Tabla 12: Peso, calibre y número de bulbillos en los bulbos normales. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| Tratamientos | Bulbos Normales | | |
|----------------|-----------------|---------------|---------------|
| | Peso Ind. | Calibre | Nº Bulbillos |
| Testigo | 56,3 a | 5.92 a | 9,6 a |
| N150 | 54,8 a | 6.10 a | 9,9 a |
| N300 | 52,4 a | 6.02 a | 10,8 a |
| Bio 5,5 | 49,2 a | 6.01 a | 10,7 a |
| Bio 11 | 56,5 a | 6.19 a | 11,0 a |
| p-valor | 0.5631 | 0.8584 | 0.6642 |
| CV (%) | 12.96 | 5.85 | 14.74 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de Biosólidos) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

Peso, Calibre y Nº de bulbillos para bulbos deformes

En cuanto al peso y calibre para bulbos deformes, los resultados de ANOVA según el test de Duncan ($\alpha=0.05$), no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Si hubo diferencias estadísticamente significativas para número de bulbillos por bulbo deforme.

Los calibres de bulbos deformados fueron más desuniformes, dado por las irregularidades de los bulbos, los valores oscilaron entre 5,66 cm y 6,16 cm, solo N150 y Bio 11 presentaron calibres mayores a 6 cm. Los pesos individuales tuvieron el mismo comportamiento que para el caso de bulbos normales en cuanto a los tratamientos.

El valor promedio de los calibres fue de 5.92 cm, 1.62 % menor que los bulbos normales, no habiendo diferencias estadísticas al nivel de 5% (Duncan), aunque no afecta la calidad comercial, como se dijo anteriormente, estos bulbos se comercializan como normales.

El número de bulbillo presenta diferencias estadísticamente significativas al 5% (Duncan), Bio 5,5 se diferenció de N150, N 300 y de Bio 11, y estos se diferenciaron del testigo. La cantidad de bulbillos por bulbo es menor comparando con los bulbos normales debido al menor calibre de estos (Tabla 13).

Tabla 13: Peso, calibre y número de bulbillos en los bulbos deformes. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| Tratamientos | Bulbos deformes | | |
|----------------|-----------------|---------------|---------------|
| | Peso Ind. | Calibre | Nº Bulbillos |
| Testigo | 46,08 a | 5,66 a | 6,35 a |
| N 150 | 47,98 a | 6,16 a | 8,68 ab |
| N 300 | 46,60 a | 5,93 a | 8,53 ab |
| Bio 5,5 | 43,93 a | 5,82 a | 9,25 b |
| Bio 11 | 50,60 a | 6,04 a | 8,53 ab |
| p-valor | 0,7206 | 0,2431 | 0,1628 |
| CV (%) | 14,52 | 5,29 | 19,51 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de Biosólidos) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

Peso, Calibre y Nº de bulbillos para bulbos chicos

Para peso individual de bulbos, calibre y número de bulbillos por bulbo chico, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas al 5% (Duncan), al comparar todos los tratamientos. El peso individual de promedio de todos los tratamientos fue de 24.38 g. El calibre promedio de este tipo de bulbo fue de 4,36 cm, el número de bulbillos por bulbo osciló entre 6 y 8 (Tabla 14).

Tabla 14: Peso, calibre y número de bulbillos en los bulbos chicos. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| Tratamientos | Bulbos chicos | | |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| | Peso Ind. | Calibre | Nº Bulbillos |
| Testigo | 30.65 a | 4.43 a | 6.05 a |
| N 150 | 24.70 a | 4.31 a | 7.30 a |
| N 300 | 21.35 a | 4.38 a | 7.30 a |
| Bio 5,5 | 23.80 a | 4.40 a | 7.10 a |
| Bio 11 | 21.40 a | 4.28 a | 8.40 a |
| p-valor | 0.3524 | 0.9749 | 0.8078 |
| CV (%) | 18.50 | 6.16 | 26.10 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de Biosólidos) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

Rendimiento total de bulbos de ajos.

Este trabajo muestra que los distintos tratamientos ensayados no se diferenciaron estadísticamente entre sí en la productividad (kg ha^{-1}) de ajo seco y limpio (sin hojas y sin raíces).

El rendimiento de ajo cultivar UNION respondió positivamente al aumento de la dosis de Biosólidos, obteniendo un rinde de 14.44 t ha^{-1} para Bio 5.5 y la mayor producción con la incorporación del biosólido a una dosis de 11 t ha^{-1} , produciendo un rendimiento de 17.08 t ha^{-1} de ajo seco y limpio. La respuesta fue similar cuando se incrementó la dosis de Nitrógeno líquido cosechando 15.69 t ha^{-1} y 15.73 t ha^{-1} con N150 y N300 respectivamente. El testigo manifestó una producción de 15.93 t ha^{-1} . Si bien no se diferenció al nivel del 5% (Duncan); con respecto a los demás tratamientos (Tabla 15).

El tratamiento fertilizado con 11 t ha^{-1} de biosólidos arrojó el máximo rendimiento con 17.08 t ha^{-1} con un 46.9% de bulbos normales, 44.6% de bulbos deformes, 3.2% de bulbos martillos, un 5.4% de bulbos chicos, un peso promedio de bulbos normales de 56.5 g. y un promedio de 11 bulbillos/bulbo normal.

Tabla 15: Rendimiento total en (t ha^{-1}) del cultivar de ajo blanco "Unión". Año 2009. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| Tratamiento | Rendimiento (t ha^{-1}) |
|----------------|------------------------------------|
| Testigo | 15,93 a |
| N 150 | 15,69 a |
| N 300 | 15,73 a |
| Bio 5,5 | 14,44 a |
| Bio 11 | 17,08 a |
| p-valor | 0.6777 |
| CV (%) | 15.54 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de biosólido) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

El mayor rendimiento estuvo relacionado en primer lugar al mayor peso individual de los bulbos normales y deformes; y en segundo lugar con la mayor cantidad de bulbillos en cada bulbo normal y deforme, ya que el tratamiento que brindó bulbos más pesados y en mayor número de bulbillos por bulbo produjo mayor rendimiento.

Los rendimientos de ajo obtenidos tanto en cantidad como en calidad, se consideran muy buenos, logrando el riego con efluentes, aportar una significativa cantidad de nutrientes: N 149 kg ha^{-1} , P 19 kg ha^{-1} y K 74 kg ha^{-1} , el aporte de nutrientes por parte de los biosólidos

fue para Bio 5,5 y Bio 11 de 107,8 kg ha⁻¹ y 215,7 kg ha⁻¹ de N, y de 75,6 kg ha⁻¹ y de 151,2 kg ha⁻¹ de P respectivamente; éstos aportes han resultado muy beneficioso para el cultivo logrando equiparar los resultados con la fertilización química.

Con respecto a que el cultivo de ajo no halla respondido a la fertilización nitrogenada, podría deberse a los siguientes motivos; el contenido de Nitrógeno total (Nt) en el suelo de textura franco arenosa fue suficiente para la densidad de plantas de ajo con la cual se trabajó (303.030 plantas ha⁻¹), coincidiendo con Lipinski y Gaviola de Heras (1995) quienes reportaron que bajas densidades (240.000 plantas ha⁻¹) no respondieron al agregado de N, y que al incrementarse la densidad de plantas (408.000 plantas ha⁻¹), la necesidad de N fue mayor.

Estos resultados no coinciden con los rendimientos obtenidos por Lipinski y Gaviola en el año 2000 con ajo Nieve INTA, donde obtuvieron con una densidad de 30 plantas m⁻² un rendimiento de 10.81 t ha⁻¹ y de 9.60 t ha⁻¹ aplicando 150 kg ha de N y 300 kg ha de N (UAN) respectivamente y una lámina de riego de 540 mm. El máximo rendimiento lo obtuvieron con una aplicación de 225 kg ha⁻¹ de N y una densidad de 40 plantas m⁻².

La falta de respuesta por parte del cultivo de ajo a la aplicación de diferentes cantidades de biosólidos, posiblemente se corresponda a que fueron aplicados tardíamente para el ciclo del cultivo o en dosis inferiores a las necesarias para determinar diferencias en los resultados en la producción del ajo.

Los resultados obtenidos en esta experiencia no son definitivos ya que es el primer año de ensayo con Biosólidos y se requiere una continuidad en el tiempo para que los efectos provocados en la producción sean apreciables.

Rendimiento comercial

El rendimiento comercial para bulbos de calibre ≥ 5 del cultivo para este ensayo no arroja diferencias estadísticamente significativas al nivel del 5% (Duncan) (Tabla 16).

Los rendimientos para bulbos de calibre ≥ 5 son mayores para Bio 11, seguido de N300, Testigo, N150 y Bio 5,5 con el menor rendimiento. Las mayores diferencias con respecto a rendimiento total fueron para N150 y Bio 5,5 deduciendo que son los tratamientos que arrojaron mayor proporción de bulbos con anormalidades; las menores diferencias fueron para testigo, N300 y Bio 11.

Tabla 16: Rendimiento comercial en ($t\ ha^{-1}$) del cultivar de ajo blanco “Unión”. Año 2009. UNRC. Río cuarto. Córdoba.

| Tratamiento | Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) |
|----------------|------------------------------|
| Testigo | 14,70 a |
| N 150 | 13,93 a |
| N 300 | 15,39 a |
| Bio 5,5 | 12,64 a |
| Bio 11 | 16,31 a |
| p-valor | 0.4753 |
| CV (%) | 20.00 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de biosólidos) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

Calidad sanitaria del ajo

Los resultados presentados por este trabajo en cuanto a calidad sanitaria del ajo, concuerdan con lo reportado por Fasciolo *et al.* (2002), por Grosso *et al.* (2004; 2005) y Crespi *et al.* (2005), indicando que el cultivo de ajo resultó seguro para la salud humana y sin afectar la calidad sanitaria del mismo, ya que no se detectó *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

En cuanto a las bacterias *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, en los bulbos de ajos cosechados y según los análisis microbiológicos no se detectó la presencia de estas bacterias sobre sus catáfilas al momento de la cosecha, tanto para los bulbos de ajos regados con efluentes urbanos tratados y en los bulbos abonados con biosólidos. Ninguna de las colonias desarrolladas presentó pruebas metabólicas correspondientes a *E. coli* y tampoco se detectó *Salmonella* a través de las pruebas metabólicas más TSI, Fenil Alanina, Urea, Agar LIA.

En la Figura 11 se observan bulbos normales del cultivar Unión de cada tratamiento.





Figura 11: Cultivar Unión. Bulbos normales de los cinco tratamientos. UNRC. Río Cuarto, Córdoba.

Eficiencia en el uso del agua

La Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) fue sometida al análisis de varianza (ANOVA) y según el test de Duncan no se encontró diferencias estadísticamente significativas al nivel del 5%.

La mayor EUA siguiendo la metodología propuesta por Crespi *et al.* (2001), fue de 28,9 kg ha⁻¹mm⁻¹ aplicado, correspondiente al tratamiento Bio 11; Bio 5,5 tuvo la menor eficiencia de uso del agua con 24,4 kg ha⁻¹mm⁻¹ aportado. El promedio de EUA registrado en general para este ensayo fue de 26,6 kg ha⁻¹mm⁻¹ (Tabla 17).

Tabla 17: Eficiencia en el uso de agua de los distintos tratamientos. UNRC. Río Cuarto. Córdoba.

| Tratamiento | Rendimiento (kg ha ⁻¹) | Le (mm) | EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) |
|----------------|------------------------------------|---------|---|
| Testigo | 15935,4 a | 592 | 26,9 a |
| N 150 | 15695,4 a | 592 | 26,5 a |
| N 300 | 15733,4 a | 592 | 26,6 a |
| Bio 5,5 | 14440,4 a | 592 | 24,4 a |
| Bio 11 | 17082,8 a | 592 | 28,9 a |
| PROMEDIO | | | 26,7 |
| p-valor | | | 0.6782 |
| CV (%) | | | 15.55 |

Medias con igual letra para cada factor (dosis de nitrógeno, dosis de biosólidos) no difieren significativamente entre sí, según el test de Duncan al 5 %.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en este ensayo de investigación, en cuanto a la producción comercial del cultivo de ajo, se consideran muy buenos para la región central del país bajo riego de alta frecuencia con efluentes urbanos tratados mediante tecnologías no convencionales.
2. Los nutrientes aportados por las aguas residuales urbanas y los biosólidos, fueron suficientes para lograr rendimientos similares a los obtenidos con el agregado de fertilizantes químicos lo que implica –para las condiciones de este ensayo y otras similares-, un cambio de paradigma en la programación del abonado, que obviamente significará incrementar los márgenes brutos de este cultivo.
3. La calidad comercial de los bulbos, no fue afectada por la aplicación de biosólidos, obteniendo buen calibre y adecuada calidad exportable.
4. La investigación realizada sugiere que el uso de biosólidos es seguro para ser aplicado como enmienda orgánica para este cultivo ya que los bulbos de ajos de todos los tratamientos resultaron libres de bacterias, garantizándose de esta manera la calidad sanitaria y su aptitud para el consumo humano dado que no se registraron sobre la superficie de las catáfilas externas la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

APRECIACIONES FINALES

El uso de Efluentes Urbanos Tratados (aguas residuales y biosólidos) en la actividad agrícola constituye un producto de suma importancia por el suministro de nutrientes y materia orgánica que es fundamental para el desarrollo de los vegetales, además, con la reutilización de estos productos se redirecciona la disposición final de los efluentes para la producción vegetal y no se vierten a superficies libres de agua ocasionando contaminación ambiental, logrando llevar adelante una producción enmarcada en un sistema sustentable.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Posibles ajustes para posteriores ensayos, como incrementar la densidad de plantación, dosis de biosólidos y momentos de aplicación durante el desarrollo del cultivo, pueden ayudar a la obtención de mejores resultados y quizá, obtener diferencias significativas entre los tratamientos que en este caso prácticamente no se han logrado. Conducir el cultivo bajo estas circunstancias, no implicará mayor esfuerzo al destinado en esta ocasión, solamente se pretende sugerir –con total humildad- que se atiendan estos resultados para ajustar algunas variables como las mencionadas y otras que puedan ensayarse, para ser eficientes en la investigación y permitir -de esta manera- el avance de la ciencia.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ADESUR.** 1999. *“Asociación interinstitucional para El sur de Córdoba. Plan director”*.
Secretaría técnica de Adesur. Universidad Nacional de Río Cuarto. 99 Pág. Córdoba.
Argentina.
- ARBOLEYA, J.; C GARCÍA Y C. SUÁREZ.** 1997. Consideraciones generales sobre la
nutrición, el riego y la densidad de plantación en ajo. 50 Temas sobre Producción de
ajo. Vol. 3. Mendoza.
- BLACK, C.A.** 1965. Methods of soil. Analysis Part I. Physical and Mineralogical Properties
Phis. Cond. Of Wat. In soil. Pag. 9: 28 – 152.
- BOUWER, H. y E. IDELOVITCH.** 1987. Quality requirements for irrigation with sewage
water. J. Irrig. & Drainage Eng. 113: 516-535.
- BURBA, J. L.** 1993. Manual de Producción de Semillas Hortícolas. Ed. La Consulta.
Mendoza. 163 p.
- BURBA, J. L. y S. LANZAVECHIA.** 1999. VI Curso taller sobre producción,
comercialización e industrialización de ajo. Mendoza. Argentina.
- BURBA, J. L.** 2005. INFORAJO 2. Ediciones INTA. – EEA. La Consulta Mendoza.
- CABELLO, A y BURBA J. L.** 2006 Artesanato para presentaciones de ajo en fresco.
Documento proyecto ajo/INTA 082. EEA La Consulta. Mendoza. P. 21.
<http://inta.gob.ar/documentos/artesanato-para-presentaciones-de-ajo-en-fresco/>
Consultado 20/10/2011.
- CANTERO, G., A., E.M. BRICCHI, V.H. BECERRA, J.M. CISNEROS y H.A. GIL**
1986. Zonificación y descripción de las tierras del Departamento Río Cuarto
(Córdoba). UNRC, FAV. Mim. 80 p.
- CRESPI, R.; A. RIVETTI; H. PAGLIARICCI; A, OHANIAN; T. PEREYRA y M.
DÍAZ.** 2001. Comportamiento hídrico y eficiencia del uso del agua en una pastura
coasociada. Ingeniería del Agua. Vol. 8. Nº 4. España.
- 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 y D. PICCA.** 2005.
Tratamiento y reutilización de aguas residuales domiciliarias. XX congreso Nacional
del Agua. III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Mendoza. P. 76.

- CRESPI, R; O. PLEVICH; A. THUAR; L. GROSSO; C. RODRÍGUEZ, D. RAMOS O. BAROTTO; M. SARTORI; M. COVINICH y J. BOEHLER.** 2007. Manejo de aguas residuales urbanas. Aceptado para su publicación en Conagua 2007. Tucumán.
- CRESPI, R; M PUGLIESE; L. GROSSO; E. GROPELLI; D. RAMOS; F. SALUSSO Y E. A. CHANADAY.** 2010. Evaluación de la potencialidad de la producción de biogás y uso de biosólidos. XXVIIº Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires. 12 pp.
- EPA (United States Environmental Protection Agency).** 2000. Folletos informativos de biosólidos de la EPA. Aplicación de biosólidos al terreno. Parte 1. www.estrucplan.com.ar/producciones/entregaASP. Consultado 20-03-2009.
- ESTRUCPLAN.** 2012. Reutilización de aguas residuales. En: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=2526>. Consultado 01.05-2012.
- FASCIOLO, G. E; E. GABRIEL; MECA, M.I. Y V. LIPINSKI.** 1998. Riego con Efluentes Tratados: Potencial Fertilizante Para Un Cultivo de Ajo. En: www.Bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina11/eflutrajo.pdf. Consultado: 16-09-2010.
- FASCIOLO, G. E; E. GABRIEL; F. TOSI y M. I. MECA.** 2002. Rendimiento de cultivo de ajo y cebolla regados con efluentes domésticos tratados. XIX Congreso Nacional del Agua. Agosto. Córdoba.
- FASCIOLO, G; M. MECA; E. CALDERÓN y M. REBOLLO.** 2005 Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados. Mendoza (Argentina). Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXVII. Nº 1. Año 2005. 31-40.
- FLOTATS, X; CAMPOS, E y A. BONMATI.** 1997. Aprovechamiento energético de residuos ganaderos. Curso de Ingeniería Ambiental. Aprovechamiento energético de residuos orgánicos (3º. 1997; Lleida). Memorias, 1-21.
- GAVIOLA, S; M. F. FILIPPINI y V. M. LIPINSKI.** 1991. Ritmo de crecimiento y absorción de nutrientes en ajo (*Allium sativum* L.). Efecto de la fertilización sobre componentes del rendimiento en los tipos blancos y colorados. P. 105-112. I y II. Curso Taller Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. 24 al 29 Junio 1991. INTA, Centro regional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- GAVIOLA, S. y V. M. LIPINSKI.** 2002. Diagnóstico rápido de nitrato en ajo CV. Fuego INTA con riego por goteo. Ciencia del suelo. 20:43-49.
- GAVIOLA, S; LIPINSKI, V. M.; MARTÍNEZ, C.C; ALARIA, A y M. MAZA.** 2003. La fertirrigación con nitrógeno y su influencia sobre el rendimiento y la calidad de distintos cultivares de ajo blanco. VIII Curso / taller de ajo. Mendoza. P 93-94.
- GROSSO, L; A. RICOTTO; D. RAMOS; A THUAR; M. S. GIACHERO y R. CRESPI.** 2004. Efectos del riego con efluentes urbanos tratados e inoculados con *Azospirillum*

brasilense en ajo (*Allium sativum* L.). Horticultura Argentina. Revista de la Asociación Argentina de Horticultura. Vol. 23 - Nº 54. 197. Resúmenes XXVII. Congreso Argentino de Horticultura.

GROSSO, L; D. RAMOS; V. BRIZUELA; M. RODRÍGUEZ; L. PENA y R. CRESPI.

2005. Cultivares de ajo (*Allium sativum* L.) regados con efluentes urbanos tratados. Horticultura Argentina. Revista de la asociación Argentina de Horticultura. Vol. 24. Nº 56/57. 114. Resúmenes. XXVIII. Congreso Argentino de Horticultura.

GROSSO, L; A. RICAGNI; D. RAMOS y R. CRESPI. 2006. Cultivares de ajo (*Allium*

sativum L.), riego con efluentes urbanos tratados y fertilizados con nitrógeno XXIV. Congreso Argentino de Horticultura. Catamarca.

INTA EEA Santa Cruz. Recomendaciones prácticas para el cultivo de ajos. En:

www.INTA.gob.ar/Santacruz. Consultado: 19/0/2012.

KIELY, GERARD. 1999. Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid: Mc Graw-hill, 870-872.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN. PRESIDENCIA DE LA NACIÓN. INSTITUTO

NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA. Febrero de 2010. La horticultura en la argentina. Informe final.

LAFUENTE, G.; G. 2009. Reutilización de aguas residuales urbanas. En:

www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/602/619. Consultado: 02-05-2012.

LIPINSKI, V. M. 1995. Efecto de la densidad y la fertilización nitrogenada en el cultivo de ajo tipo colorado. IV Curso/Taller sobre producción comercialización e industrialización de ajo. Argentina.

LIPINSKI, V. M. 1996. Fertilizar. INTA. Horticultura. Maximizando la producción de ajo y cebolla. Manejo de la fertilización. Divulgación Técnica sobre el uso de fertilizantes y enmiendas. Número 5.

LIPINSKI, V. M., y S. GAVIOLA. 1999. Fuentes y dosis de nitrógeno en fertirrigación de ajo cv. Fuego INTA. Horticultura Argentina 18:28-32.

LIPINSKI, V. M., y S. GAVIOLA. 2001. Nitratos en ajo bajo sistema de fertirrigación. Evolución durante el ciclo. VII Curso / taller de Ajo. Mendoza. P. 113-114.

LIPINSKI, V.M., y G. GAVIOLA. 2006 a. Evaluación de rendimiento y calidad de cultivares de ajo colorados fertirrigados con nitrógeno. Tomo XXXVIII. Nº 2. 37-48.

LIPINSKI, V.M., y G. GAVIOLA. 2006 b. Evaluación de cultivares de ajo (*Allium sativum* L) blanco bajo déficit controlado de riego. INTA. La Consulta.

LÓPEZ, M. 2006. Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): planteamiento del problema. Ingeniería del agua. Vol. 3, nº 2. 47-81. España.

- MATTA CAGNA, R.** Evaluación de riego por goteo. Apuntes para apoyo docente. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamentos de recursos hídricos. <http://www4.larural.es/servagro/sta/evaluac0.htm>. Consultado 24/11/2009.
- MINISTERIO DE SALUD Y MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.** 1996. Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia: Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud. Series Análisis Sectoriales 8.
- MOSCOSO, J. y GUNTHER MERTHAL.** 2001. Modulo: Manejo sanitario de las aguas residuales domésticas en la Agricultura Urbana. Documento de la Sesión Ventajas y Desventajas del uso de Aguas Residuales Tratadas en la Agricultura Urbana.
- NOVO, R y A. CAVALLO.** 2007. Protección vegetal. Editorial Sima. P 161-449-471.
- ORECCHIA, E.,** 2001. Proyecto fruti hortícola. Tecnología para el desarrollo sustentable nacional. Primer encuentro nacional de producciones orgánicas “desde adentro”.
- OMS, Organización Mundial de la Salud.** 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura. Informe Técnico 778. OMS, Ginebra.
- ORTIZ PINEDA; C.** 2010. Prevalencia de huevos de helmintos en lodos, agua residual cruda y tratada, provenientes de un sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio El Rosal, Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia.
- OZORES-HAMPTON, M.P. and T.A. OBREZA.** 1999. Composted waste use on Florida vegetable crops: A review. Proceedings of the International Composting Symposium. September 19-23, Halifax/Dartmouth Nova Scotia, Canada, p. 827-838.
- OZORES-HAMPTON, M., P.A. STANSLY y T.A. OBREZA.** 2000. Biosolids and soil solarization effects on bell pepper (*Capsicum annuum*) production and soil fertility in a sustainable production system. HortScience 35:443.
- OZORES-HAMPTON, M. y J. MÉNDEZ.** 2010. Uso de biosólido en Producción de Hortalizas. IFAS extensión. University of Florida. HS1183. 11 Pág. USA
- PAVLOSTATHIS, S. G y E. GIRALDO-GOMEZ.** 1991. Kinetics of anaerobio digestión. Water Science and Technology. 24(8): 35-59.
- PEREYRA, M y P. POTASCHNER.** 2010. Periodo Agrícola 2009-2010. Informe de coyuntura de ajo de la provincia de Mendoza. Fundación IDR.
- POTASCHNER, P.** 2010. Periodo Agrícola 2010-2011. Informe de coyuntura de ajo de la Provincia de Mendoza. Fundación IDR.
- PROMENDOZA.** 2009. Lista de los países importadores para el producto seleccionado en 2009. En: http://promendoza.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=10&lang=es. Consultado 29-08-2012.

- REBOLLEDO JAÑA, L.** 2004. Respuesta del ajo (*Allium sativum* L.) a la aplicación de cal y boronatrocalcita. 2º revisión bibliográfica. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agronomía.
- ROJAS R.** 2002. Conferencia Sistemas de Tratamiento de Agua Residuales. Curso Internacional “GESTION INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” 25 AL 27 DE Septiembre de 2002
- SILVA, J. P, TORRES y C, MADERA.** 2008. Reuso de aguas residuales domesticas en agricultura. Vol 26. Núm 2. pp 347-359. Universidad Nacional de Colombia.
- VÉLEZ ZULUAGA, J.** 2007. Los biosólidos. ¿Una solución o un problema? Producción más limpia. Vol. 2 N° 2. 15 Pág. Colombia.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BLUMENTHAL, U. J.; D. DUNCAN MARA; R. M. AYRES; E. CIFUENTES; A. PEASY; R. L. LEE and G. RUÍZ PALACIOS,** 1996. *Evaluation of the WHO nematode egg guidelines for restricted and unrestricted irrigation.* Wat. Sci. And Tech. Vol 33. No 10/11. pp. 227 a 283
- BORGO, R.** 1995. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la incidencia del descantado y anomalías en bulbos de ajo colorado. En: IV Curso Taller sobre producción, comercialización e industrialización de ajo. 21 al 24 de junio. EEA La consulta, INTA. 11-F.
- CASTILLO, E.F., CRISTANCHO, D.E. y V. ARELLANO.** 2003. Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. Revista Colombiana de biotecnología. Diciembre, Vol. V, número 002. pp. 11-22
- CRESPI, RAÚL, J.; LILIANA E. GROSSO; J. OMAR PLEVICH; M. CLAUDIA RODRÍGUEZ; VIVIANA DEL ROSARIO REYNOSO; EDUARDO GROPELLI; ALICIA M. THUAR; MARINO A. PUGLIESE; CECILIA SAROFF Y ALEJANDRO SARTORI.** 2009. Expositor X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del Mercosur CIGR Section V International Symposium. “Desarrollo a escala piloto de tecnologías para el tratamiento y la reutilización de efluentes urbanos”.
- FASCIOLO, G; M.I. MECA y E. GABRIEL.** 2000. Riego con efluentes tratados: Aceptabilidad sanitaria para un cultivo de ajo. Presentado al 11º Congreso Argentino de saneamiento y Medio Ambiente.

- FASCIOLO, G. E. GABRIEL; M. MECA y D. LIPINSKI.** 2001. Riego con efluentes tratados: Aceptabilidad sanitaria para un cultivo de ajo. XXVIII Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. Brasil.
- LIPINSKI, V. M., y S. GAVIOLA. DE HERAS.** 1995. Efecto de la densidad y fertilización nitrogenada en el cultivo de ajo tipo colorado. IV. Curso- Taller sobre Producción, comercialización e industrialización de ajo. EEA La Consulta – INTA. Mendoza. Argentina.
- WILSON, P. N; T. J. GOLDAMMER and J. C. WADE** 1985. “Bioeconomic consideration for wastewater reuse in Agricultural Production”. Water Resources Bulletin. American Water Resources Association. Vol 24 (1) pp. 1-9.

