

estación experimental



INFLUENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO ENTERRADO EN LA UTILIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL DEPURADA PARA RIEGO DE HORTÍCOLAS

CONTRERAS PARÍS, J. I.
MARTÍNEZ LÓPEZ, J.
ALCAIDE MUÑOZ, M.
ROLDÁN CAÑAS, J.

XX Congreso Nacional de Riegos
Ciudad Real
11-13 de junio de 2002

INFLUENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO ENTERRADO EN LA UTILIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL DEPURADA PARA RIEGO DE HORTÍCOLAS

Contreras París, J. I.¹ (P), Martínez López, J.², Alcaide Muñoz, M.³, Pérez Parra, J.¹ y Roldán Cañas, J.³

RESUMEN

El uso de agua residual depurada para riego de cultivos hortícolas es una realidad en zonas áridas, como es el caso de la costa de Almería en la que existe un importante déficit hídrico estructural. Este tipo de agua posee una carga microbiológica, debido a su origen, que varía dependiendo del grado de tratamiento que se le aplique en su fase de depuración. Por este motivo, en este trabajo se ha estudiado la calidad microbiológica del agua residual depurada, sometida a un tratamiento terciario con ozono, que se utiliza en la comarca del levante almeriense (bajo Andarax) y la presencia de indicadores de contaminación fecal en suelo y frutos, determinando si existe algún riesgo para la salud humana con su utilización en riego de hortalizas de consumo en crudo. Además, se ha contemplado la implantación de un sistema de riego localizado enterrado que minimice el potencial de infección tanto para el agricultor como para el consumidor final.

ABSTRACT

The use of treated wastewater for irrigation of horticultural crops is a reality in arid zones, such as the coast of Almeria in which an important water structural deficit exists. This type of water possesses a microbiological load, due to its origin, which changes depending on the degree of treatment applied to it in its phase of purification. For this motive, in this work there has been studied the microbiological quality of treated wastewater, submitted to a tertiary treatment with ozone, which is used in the region of the east almeriense and the presence of indicators of fecal pollution in soil and fruits, determining if some risk exists for the human health its utilization in irrigation of vegetables of consumption in crude. Besides, there has been contemplated the implantation of a system of subsurface drip irrigation that minimizes the potential of infection both for the farmer and for the final consumer.

¹ Estación Experimental "Las Palmerillas". Cajamar.

² Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería.

³ Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba.

1. INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS

En Almería la agricultura intensiva es el motor de desarrollo de la provincia. Debido al clima árido de la zona existe un déficit hídrico estructural que hace indispensable buscar nuevas fuentes de recursos hídricos.

La reutilización de efluentes depurados es un componente intrínseco del ciclo natural del agua. Mediante el vertido de efluentes a los cursos de agua y su dilución con el caudal circulante, las aguas residuales han venido siendo reutilizadas en puntos aguas abajo, para su aprovechamiento urbano, agrícola e industrial. La reutilización directa o planificada, a gran escala, tiene su origen más reciente y supone el aprovechamiento directo de efluentes depurados con un mayor o menor grado de tratamiento previo, mediante su transporte hasta el punto de aprovechamiento a través de una conducción específica, sin mediar para ello la existencia de un vertido o de una dilución en un curso natural de agua (Catalinas y Ortega, 1999).

El uso de aguas depuradas para riego es una alternativa al suministro desde embalses o a la explotación de acuíferos. Actualmente, debido al desarrollo de la tecnología de tratamiento y depuración, este agua presenta unas características de calidad que, en ciertos casos, superan las correspondientes al agua disponible en la zona (Fernández *et al.*; 2002).

El principal inconveniente para la aplicación generalizada de las aguas depuradas a los cultivos viene dado por la presencia en las mismas de diversos organismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., etc., los cuales, aun habiendo recibido las aguas algún tratamiento de desinfección, pueden perdurar en las mismas (Contreras, 2001). Estos organismos encuentran en el suelo un medio hostil para su supervivencia ya que la exposición al aire, la radiación ultravioleta solar, el pH del suelo y la competencia con la microflora y microfauna autóctonas, adaptadas a las condiciones existentes, hacen difícil la persistencia de estos patógenos (Loehr *et al.*, 1979). Un manejo adecuado del sistema de cultivo minimiza el riesgo de infección derivado de esta práctica; la Organización Mundial de la Salud, entre otros organismos internacionales, elaboró en 1989 un manual con las principales recomendaciones para un uso seguro de las aguas de origen residual en la agricultura (O.M.S., 1989). Sin embargo, bajo determinadas circunstancias es posible su supervivencia durante períodos de tiempo variables, con cierto potencial de infección tanto del operario como del consumidor final (Pescod, 1992).

El sistema de riego localizado reduce drásticamente el riesgo de contagio tanto del trabajador como por consumo de los productos cosechados, haciendo prácticamente nula la posibilidad de movimiento de estos patógenos a través del suelo. No obstante, en aquellos cultivos en los que la parte cosechable mantiene contacto con el suelo, la posibilidad de contaminación de la misma hace que no se pueda aún hablar de éxito en los resultados obtenidos. Los sistemas de riego localizado enterrados podrían ser una solución a este hecho, ya que el punto de emisión del agua se encuentra a unos centímetros bajo la superficie y, en el recorrido de aquella hasta la misma, el suelo puede ejercer cierta acción depuradora, limitando aún más la posibilidad de supervivencia de estos organismos. A esto hay que unir otras ventajas derivadas del uso de estos sistemas (Ayars *et al.*, 1999), sobre todo en el caso de aguas de menor calidad (Oron *et al.*, 1999b), como un menor consumo de agua por reducción de las pérdidas por evaporación y escorrentía, mejor control de las malas hierbas, menor riesgo de contaminación por lixiviación. Es cierto que el riesgo de obturación en estos sistemas subterráneos es mayor que en los superficiales, por intrusión de raíces fundamentalmente. No obstante, diversas experiencias llevadas a cabo en Israel con el fin de evaluar el riego subterráneo con aguas depuradas han

arrojado resultados positivos al compararlo con el riego superficial ya que dicho problema se puede paliar mediante la utilización de herbicidas (Oron *et al.*, 1999a).

Por todo esto, el objetivo de este trabajo es estudiar el posible efecto de contaminación que produce el uso de agua residual depurada, que en el caso de cultivos cuyos frutos van destinados al consumo en verde tiene gran importancia, ya que la presencia de determinados patógenos puede ser perjudicial para los consumidores, evaluando si el sistema de riego subterráneo reduce significativamente el riesgo de contaminación microbiológica de los cultivos en contacto con el suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se dispuso de un invernadero de la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía, situado en el término municipal de La Cañada de San Urbano, Almería. El invernadero era de arco simétrico con una superficie de 1012 m², con clima pasivo y suelo enarenado (Bretones, 1999).

El sistema de riego utilizado fue localizado. La cabeza del sistema (Figura 1) consta básicamente de los equipos de impulsión (bomba centrífuga de 735 W de potencia), filtración (filtro de anillas de 2" de diámetro y 120 mesh) y fertirriego (equipo automático con inyectores venturi). La red de distribución de agua es una red de tuberías de polietileno. La separación entre ramales portagoteros es de 1,26 m y la separación entre goteros es de 0,5 m. Los goteros utilizados son integrados, autocompensantes y autolimpiantes, de un caudal nominal de 2,3 L/h y un intervalo de presiones de trabajo de 0,5 a 4 bares.

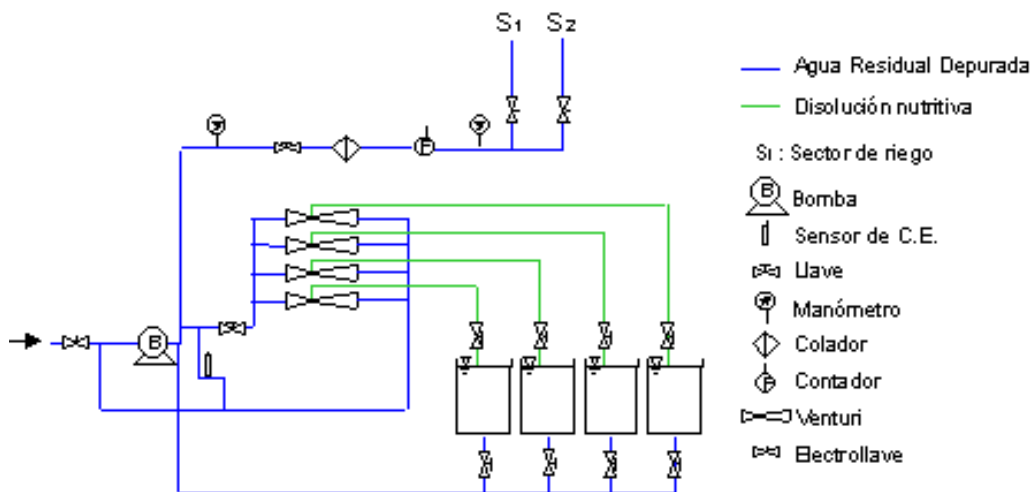


Figura 1: Esquema de la cabeza del sistema de riego.

El agua utilizada fue agua residual depurada (ARD) procedente de agua residual urbana que tras un tratamiento secundario en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Almería se sometió a un tratamiento terciario con ozono.

Los ensayos se realizaron durante el año 2001, estableciendo en la superficie invernada un diseño de experimentos de bloques al azar con cuatro repeticiones y dos tratamientos para contrastar correctamente el funcionamiento del sistema de riego enterrado utilizando agua residual depurada.

Los tratamientos contemplados fueron:

- **GS: Goteros superficiales.** En este tratamiento se colocó el sistema de riego con los goteros superficiales.
- **GE: Goteros enterrados.** En este tratamiento se colocó el sistema de riego con los goteros enterrados aproximadamente a unos 15 cm (10 cm de la capa de arena + 5 cm de tierra).

Para la realización de este ensayo se eligió un cultivo de melón tipo “Galia” transplantado 15-3-2001, un mes después de la siembra en semillero. Se dejó rastrero para que los frutos estuviesen en contacto directo con el suelo.

Durante el ciclo de cultivo se determinó la calidad microbiológica del agua de riego, analizando Coliformes Fecales y Totales. El método utilizado para la determinación de Coliformes en el agua de riego fue el de membranas filtrantes. La muestra de agua se recogió a pie de finca en grifos instalados en cabeza del sistema de riego. Se realizó un análisis mensual. También se realizó un análisis fisico-químico de este agua para determinar los sólidos en suspensión, la turbidez, la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO₅).

Se realizó un análisis microbiológico de fruto justo antes de recolección, tomando de cada una de las parcelas de control, tres frutos que se encontraban próximos al gotero. De cada fruto se tomó una porción de la zona más desfavorable (la zona en contacto con el gotero y el suelo), que se separó en cáscara y pulpa. Las tres submuestras de cáscara se unieron para componer una muestra única por repetición, y lo mismo se hizo con las submuestras de pulpa. Como indicador de contaminación, se analizó el contenido de Coliformes Totales y Fecales mediante la técnica de tubos múltiples o del número más probable en Púrpura de bromocresol con lactosa al 1%.

La determinación de la calidad microbiológica del suelo se realizó por la misma técnica utilizada en fruto, tomando justo antes de recolección, de cada una de las parcelas tres submuestras al azar situadas a unos 10 cm del gotero con una barrena. Cada submuestra se separó en tres profundidades, capa superficial de arena (P1, compuesta por los 2 cm primeros de arena), capa subsuperficial de arena (P2, formada por los 8 cm restantes de arena) y los cinco primeros centímetros de la capa de tierra (P3). Las submuestras se mezclaron para componer una muestra única por repetición y por profundidad.

A lo largo del ciclo del cultivo se tomaron medidas preventivas para evitar la contaminación accidental entre parcelas, derivada del manejo del cultivo, tales como:

- Desinfección del calzado con lejía.
- Flameo de los utensilios utilizados en el transplante y poda.
- En el transplante y poda se usaron guantes limpios para cada una de las parcelas.
- Realizar los tratamientos fitosanitarios del cultivo desde el exterior de las parcelas de control.
- En la toma de muestras para los análisis microbiológicos se cambió de guantes y se flamearon los utensilios empleados en la toma de cada muestra. Al separar la pulpa del fruto de la corteza se procuró no tocar en ningún momento la misma.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Análisis microbiológicos del agua de riego.

Propiedades físicas del agua residual depurada tales como, sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno, determinadas el 27-03-01 (Tabla 1) se encuentran en el rango de normalidad exigible a este tipo de agua (O.M.S., 1989; Real Decreto 927/1988).

Los valores de sólidos en suspensión fueron muy bajos, por lo que no cabe esperar obturación en los emisores, ni problemas de permeabilidad del suelo, ni en la disponibilidad de agua para el cultivo. El bajo contenido en sólidos en suspensión se debió a que las aguas residuales en la EDAR de Almería son sometidas a un tratamiento secundario y posteriormente a uno terciario en una planta de ozono con el que se consigue una reducción del 40%.

Los valores de DBO₅ fueron inferiores a los recomendados, 20 mg l⁻¹ (Tabla 1). Con el tratamiento terciario de ozono aplicado al agua residual utilizada en el ensayo se consigue el 55% de reducción de DBO₅ y el 15% de DQO.

Los datos obtenidos tras analizar la calidad microbiológica del agua de riego a lo largo del ciclo del cultivo muestran variabilidad en el contenido de Coliformes Fecales y Totales durante el periodo de cultivo (marzo a mayo) (Tabla 2). El contenido en Coliformes Fecales del efluente superó en determinadas épocas los límites establecidos por la OMS (1989) y por la legislación española (Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio) para el agua destinada al riego de vegetales de consumo en crudo.

La normativa española recoge que la aplicación de sistemas de riego que no lleguen a mojar la parte comestible de los cultivos, como el riego por goteo, puede permitir el empleo de aguas de menor calidad que las recomendadas, pero interrumpiendo el riego dos semanas antes de la recolección de la cosecha.

Tabla 1: Propiedades físico-químicas del agua residual depurada (ARD).

Sólidos en suspensión (mg l ⁻¹)	4.00
Turbidez (FTU)	24.29±0.85
DQO (mg O ₂ l ⁻¹)	13.14
DBO ₅ (mg O ₂ l ⁻¹)	11.25

Tabla 2: Propiedades microbiológicas del agua residual depurada (ARD) a pie de finca, expresadas en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por 100 ml.

Fecha	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
	UFC/100 ml	
27-03-01	4,3 10 ⁴	1,4 10 ³
16-04-01	6,5 10 ³	3,2 10 ³
15-05-01	5,5 10 ³	1,5 10 ²

b) Análisis microbiológicos de suelo

Los niveles de Coliformes Totales y Fecales detectados en el suelo tras el análisis fueron bajos en recolección, momento que coincidió con niveles bajos de Coliformes Fecales en el agua de riego de acuerdo a las directrices españolas (Figura 2).

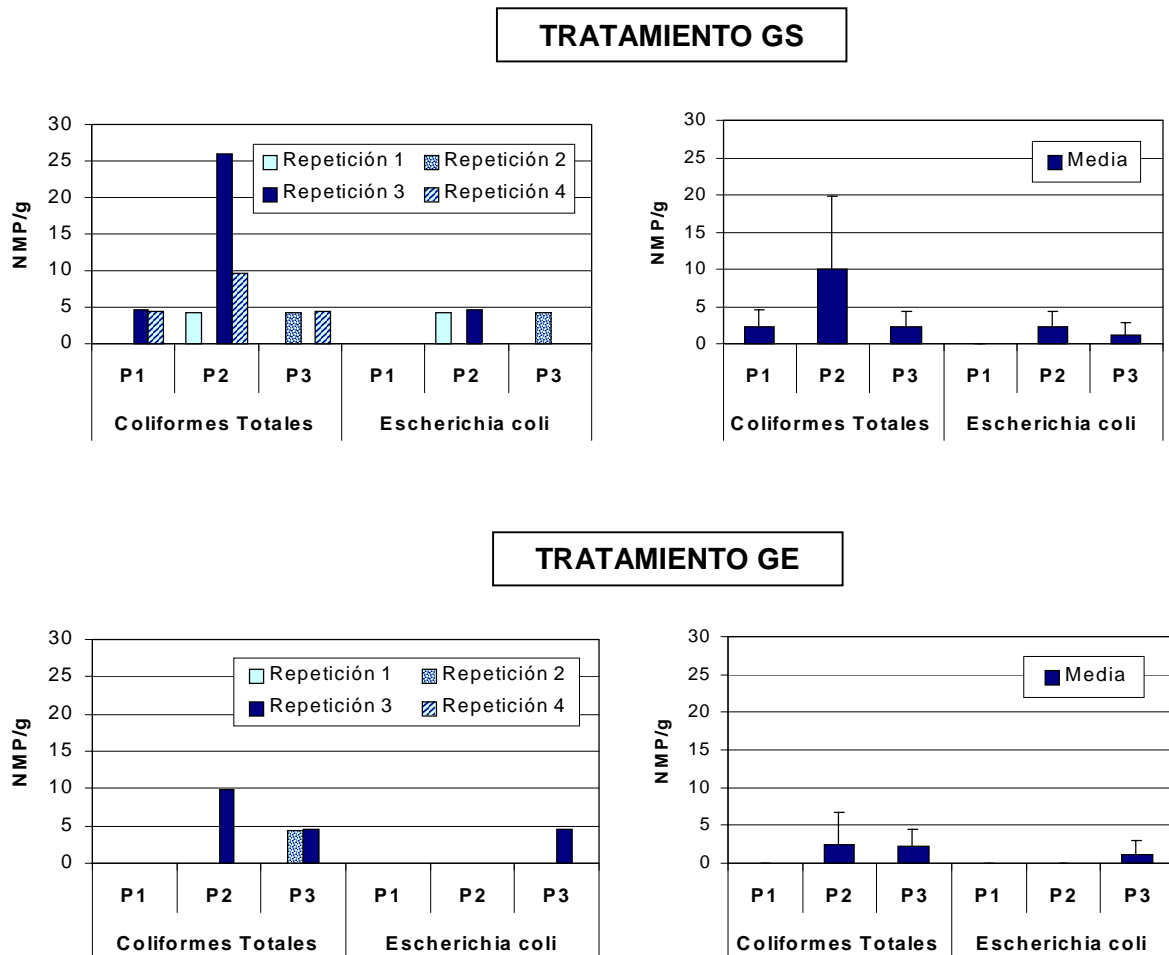


Figura 2: Numero más probable (NMP) por gramo de suelo seco de Coliformes Totales y Fecales (*Escherichia coli*) en los tratamientos ensayados a las distintas profundidades, en cada repetición y la media con la desviación estandar.

Factores como baja humedad del suelo, suelo de textura arenosa, temperatura elevada, exposición a la radiación y bajo contenido de materia orgánica reducen la supervivencia de las bacterias entéricas en suelo.

En el tratamiento con sistema de riego superficial (GS), se detectó presencia de Coliformes Totales en las cuatro repeticiones. En cuanto a la presencia de *E. coli*, sólo se observó en tres repeticiones. El sistema de riego enterrado (GE) redujo la presencia de organismos patógenos, sólo se detectaron Coliformes Totales en dos repeticiones y *E. coli* en una repetición, y se localizaron en profundidades P2 y P3.

Con el uso de sistemas de riego localizado y sobre todo con los sistemas de riego enterrados los criterios microbiológicos del agua residual depurada pueden considerarse menos restrictivos, ya que el suelo actúa como un filtro biológico complementario y no existe contacto entre el agua y los trabajadores o el cultivo.

La distribución de Coliformes Totales en el suelo difirió entre tratamientos. En el tratamiento con riego enterrado (GE) no se detectó presencia en superficie (P1) en ninguna de las repeticiones. En cambio, cuando el sistema de riego fue superficial (GS) se detectó presencia de Coliformes Totales en superficie (P1) en dos de las cuatro repeticiones. También difirió la distribución en profundidad de Coliformes Fecales (*E. coli*), detectándose presencia en los tratamientos con sistema enterrado en profundidad P3 y en los tratamientos con sistema superficial en profundidad P2 y P3.

En el sistema de riego enterrado (GE) al estar los emisores situados aproximadamente a 15 cm bajo la superficie en el recorrido del agua hasta la misma, el suelo puede ejercer cierta acción depuradora, limitando aún más la supervivencia de estos organismos.

c) Análisis microbiológicos de fruto

En la Tabla 3 se muestran los resultados del análisis realizado a los frutos del melón. No se detectó presencia ni de Coliformes Totales ni de *E. coli* en ninguna de las muestras analizadas (Valores <3) (Orden de 12 de Noviembre de 1980, B.O.E. 19-11-80) (Tabla 3). A pesar de que los frutos analizados estaban en contacto directo con el suelo y próximos al gotero no se ha producido contaminación por organismos patógenos.

Con sistemas de riego localizado y cuando la tasa de infiltración del suelo es baja, el agua residual depurada puede distribuirse en la superficie del suelo y entrar en contacto con los frutos. Sin embargo, con el empleo de una capa de arena en los enarenados de Almería, la infiltración del agua residual depurada es muy rápida limitando en gran medida el contacto directo con el fruto. Además, el bajo contenido en humedad de la capa de arena fue el principal factor limitante de supervivencia de estos organismos en el suelo.

En el sistema de riego enterrado, el punto de emisión de agua se encuentra bajo la superficie por lo que no se produjo contacto directo con los frutos. A esto hay que unir que el suelo ejerce cierta acción depuradora y el número de organismos patógenos en suelo fue bajo. En el sistema de riego superficial, aún encontrándose el emisor en la superficie la alta tasa de infiltración de nuestro suelo (enarenado) hizo que no se detectasen indicadores de contaminación en fruto.

Tabla 3: Análisis microbiológico de frutos.

TRATAMIENTO	Parte	Coliformes Totales (UFC/100 mL)	<i>E. coli</i> (UFC/100 mL)
GS	Piel	<3	<3
	Pulpa	<3	<3
GE	Piel	<3	<3
	Pulpa	<3	<3
Valor límite		100	10

d) Producción.

La Figura 3 recoge los resultados obtenidos tras el control de la producción del cultivo del melón.

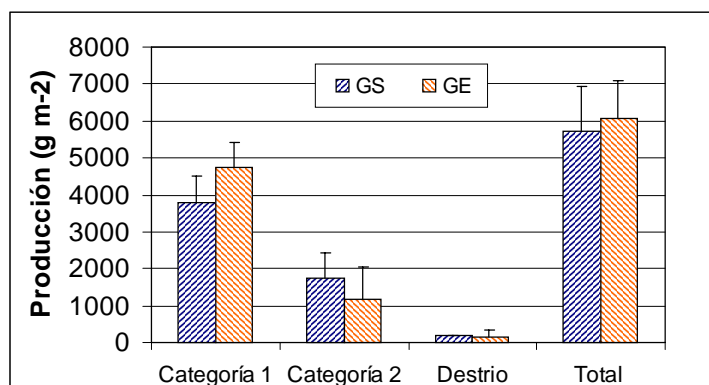


Figura 3: Producción media y desviación estándar del total y comercial por categorías del cultivo de melón.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la producción total entre los dos tratamientos, aunque hay un ligero aumento en la producción total en el tratamiento que utiliza el sistema de riego enterrado.

Deteniéndonos en las categorías comerciales tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque se observa una mayor producción de categoría 1 en el tratamiento con sistema de riego enterrado.

En destrío, no se encontraron diferencias significativas, pero es de destacar el pequeño porcentaje que se obtuvo en los dos tratamientos.

Las producciones obtenidas en nuestro ensayo fueron similares a las obtenidas en otros ensayos de melón bajo invernadero en Almería utilizando agua de buena calidad (C.E.=0,4 dS m⁻¹).

4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados anteriores se desprenden las siguientes conclusiones. Estas se deben considerar como preliminares, ya que provienen de un solo ensayo. Sería conveniente realizar más ensayos para obtener conclusiones definitivas.

1. Se observó una gran variabilidad en la calidad microbiológica del agua de riego durante el periodo de cultivo, superando en algunas ocasiones los límites establecidos por el Real Decreto 927/1988 y la OMS para el riego de cultivos de consumo en crudo.
2. El sistema de riego enterrado redujo la presencia de organismos patógenos (Coliformes Totales y Fecales) en la capas superficiales del suelo, no detectándose presencia de estos en la superficie. En los tratamientos con sistema de riego superficial no se detectó presencia de Coliformes Fecales en superficie quizás por las características del suelo enarenado. Convendría realizar ensayos con otros tipos de suelo antes de emitir conclusiones más definitivas.

3. En fruto, no se detectó presencia de organismos patógenos en ninguno de los tratamientos regados con agua residual depurada, independientemente del sistema de riego, lo que se esperaba a raíz de los datos obtenidos en la superficie del suelo.
4. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la producción entre los dos tratamientos, no produciendo influencia el sistema de riego, aunque se mostró un ligero aumento a favor del sistema de riego enterrado, detectándose una mayor producción en peso de categoría 1 (mayor número de frutos de categoría 1).

5. BIBLIOGRAFÍA

- Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S., Mead, R.M. 1999.** Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agric. Water Manag.* 42: 1-27.
- Bretones, F. 1999.** El enarenado. En: Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos. Edita: Caja Rural de Almería. Mundi Prensa libros S.A. Madrid. 99-112 pp.
- Catalinas, P. M., Ortega, E. 1999.** Situación de la Reutilización de las Aguas Depuradas en España. Gestión de abastecimientos y saneamientos. *Tecnología del Agua.* Nº 189: 48-62.
- Contreras, J. I. 2001.** Efectos del uso de agua residual depurada sobre suelo y cultivo en invernaderos de Almería. Proyecto Monográfico Ingeniería Técnica Agrícola en Mecanización y Construcciones Rurales. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.
- Fernández, M^a. D., Contreras, J. I., Segura, M^a. L., Polo, M^a. J. 2002.** Efectos producidos en el rendimiento de cultivos hortícolas por el uso de agua residual depurada para riego. XX Congreso Nacional de Riegos. Ciudad Real, 12-14 de junio de 2002.
- Loehr, R.C., Jewell, W.J., Novak, J.D., Clarkson, W.W., Friedman, G.S. 1979.** Land Application of Wastes. Van Nostrand Reinhold (ed), New York.
- Orden 12 de Noviembre de 1980.** Publicada en el Boletín Oficial del Estado, el 19 de Noviembre de 1980.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1989.** Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Tech. Rep. No. 778, WHO, Geneva.
- Oron, G., Campos, C., Gillerman, L., Salgot, M. 1999a.** Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. *Agric. Water Manag.* 38: 223-234.
- Oron, G., DeMalach, Y., Gillerman, L., David, I., Rao V.P. 1999b.** Improved saline-water use under subsurface drip irrigation. *Agric. Water Manag.* 39: 19-33.
- Pescod, M.B. 1992.** Wastewater treatment and use in agriculture. *Irrig. Drain.* Pap. No. 47, FAO, Rome, p. 125.
- Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio.** BOE, 17 de septiembre de 1999.
- Real Decreto 927/1988.** BOE, 17 de septiembre de 1999.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Caja Rural de Almería y Málaga (CAJAMAR) el apoyo financiero que ha prestado para la realización de este trabajo.