

estación experimental



EFFECTOS EN EL RENDIMIENTO DE CULTIVOS HORTÍCOLAS PRODUCIDOS POR EL USO DE AGUA RESIDUAL DEPURADA PARA RIEGO

FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, M. D.

CONTRERAS PARÍS, J. I.

SEGURA PÉREZ M. L.

POLO GÓMEZ, M. J.

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

EFFECTS IN THE YIELD OF HORTICULTURAL CROPS PRODUCED BY THE USE OF TREATED RESIDUAL WATER FOR IRRIGATION

*Fernández Fernández, M^o. D.¹ (P), Contreras París, J. I.¹,
Segura Pérez, M^a. L.², Polo Gómez, M^a. J.³*

RESUMEN

En zonas con clima árido donde el agua escasea, o donde la existente es de mala calidad, se hace difícil sostener una forma de cultivo intensivo basado en este factor. El uso de agua residual depurada para riego de cultivos es una alternativa que ayuda a resolver este problema, presentando en muchos casos una calidad superior a la del agua del lugar. Debido a lo anteriormente comentado, en el levante almeriense es habitual el riego con este tipo de agua para producir hortalizas. Por esto, en este trabajo se ha estudiado el efecto que provoca el uso de agua residual depurada para riego de cultivos hortícolas, sobre la composición del suelo, sobre la producción y la calidad de los frutos producidos, determinando la fertilidad del suelo y la composición química del agua residual depurada y del agua desalada disponible en zona, evaluando el ahorro de nutrientes que la utilización de agua residual depurada conlleva.

ABSTRACT

In zones with arid climate where the water skimps, or where the existing one is of bad quality, it is made difficult to continue with an intensive culture because it depends on this factor. The use of treated wastewater for irrigation of crops is an alternative that helps to solve this problem, presenting in many cases a quality superior to that of the water of the place. Due to it previously commented, in the east of Almería it is habitual the irrigation with this type of water to produce vegetables. For this, in this work there has been studied the effect that provokes the use of treated wastewater for irrigation of horticultural crops, on the composition of the soil, on the production and the quality of the produced fruits, determining the fertility of the soil and the chemical composition of treated wastewater and of the desalated water available in zone, evaluating the saving of nutrients that the utilization of treated wastewater carries.

¹ Estación Experimental "Las Palmerillas".Cajamar.

² CIFA de La Mojonera (Almería).

³ Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba.

1. INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS

En el área mediterránea el carácter errático de la distribución temporal de las precipitaciones, junto con la aparición de períodos de sequía, hace no sólo necesaria sino imprescindible una gestión adecuada del agua. Este recurso vital sostiene uno de los sectores productivos más importantes para la sociedad, la agricultura, sector al que se destina alrededor de un 80% de los recursos hídricos que se usan en España, y del que depende especialmente la economía de zonas agrícolas como la de Almería. Aquí, la búsqueda de nuevas fuentes de agua cobra especial relevancia ya que a un clima particularmente árido se une el desarrollo de una forma de agricultura intensiva que sin este recurso no podría mantenerse.

El riego con aguas depuradas constituye una alternativa al suministro desde los embalses o a la explotación de acuíferos, presentando en la actualidad, gracias al desarrollo de la tecnología de tratamiento y depuración (Asano *et al.*, 1992), unas características de calidad tales que, en ciertos casos, superan las correspondientes al agua disponible en la zona.

Las ventajas de la reutilización agrícola directa de aguas depuradas se pueden resumir en los siguientes puntos:

Utilización de volúmenes de agua adicionales a los convencionales, consiguiéndose así una reducción de la cantidad de agua captada desde embalses y pozos (Harivandi, 2000; Reza *et al.*, 1999).

Reutilización de ciertos recursos presentes en esta agua que constituyen nutrientes para la planta, en concreto, nitrógeno, fósforo, potasio y ciertos microelementos, con el consiguiente ahorro en fertilizantes (Segura *et al.*, 2000; Segura *et al.*, 2001; Ayers y Westcot, 1985).

Por todo ello, la conveniencia de realizar ensayos experimentales en los que se contrasten ambos tipos de agua, es muy alta y presenta un interés tanto mayor cuando más importante sean la escasez de agua en la zona y la dependencia de la misma del sector agrícola (Contreras, 2001).

El objetivo principal de este trabajo es estudiar los efectos que produce el agua residual depurada sobre el desarrollo de los cultivos hortícolas y el suelo, ya que debido a su origen la composición química de este agua es diferente a la de la zona.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron durante el año 2001 en 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 es de arco simétrico con una superficie de 1012 m². El clima del invernadero es pasivo y el suelo es enarenado (Bretones, 1999).

Se estableció un diseño de experimentos de bloques al azar compuesto por cuatro bloques. Los tratamientos definidos en el ensayo fueron las siguientes:

AC: Agua de suministro convencional.

ARD: Agua residual depurada.

Cada bloque se dividió en dos parcelas, una para cada tratamiento, individualizadas por un plástico desde la superficie hasta una profundidad de 30 cm, para evitar posibles interferencias.

Se utilizó un sistema de riego localizado con ramales portagoteros a 1,26 m y emisores a 0,5 m. El sistema de riego constó de dos redes de distribución de agua independientes, una para el agua de suministro convencional (AC) y otra para el agua residual depurada (ARD). El agua de suministro convencional procedía de un pozo cercano y fue sometida a un proceso de desalación por osmosis inversa y el agua residual depurada procedía 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.

Para la realización de este ensayo se eligió un cultivo de melón tipo "Galia" (*Cucumis melo var Cantalopensis* Naud), variedad *Aitana* RZ F1 (34-04) (Rijz Zwaan). El transplante tuvo lugar el 15-3-2001, un mes después de la siembra en semillero (Contreras *et al.*, 2002).

El volumen de riego se determinó en base a las estimaciones de la evapotranspiración del cultivo (ETc) (Fernández *et al.*, 2000), corrigiéndose en función de las medidas de potencial matricial registradas con tensiómetros. El volumen de agua aportado al cultivo fue muy similar en los dos tratamientos para evitar que influyese sobre la producción y la calidad de frutos.

Se determinaron las propiedades químicas de las aguas (AC y ARD) utilizadas para el riego durante todo el ciclo de cultivo, realizando un análisis quincenal de cada tipo de agua. El abonado se realizó atendiendo a las extracciones del cultivo y teniendo en cuenta los aportes realizados por cada clase de agua.

Para estudiar el efecto que puede producir la utilización del agua residual depurada sobre la fertilidad del suelo se realizaron dos análisis, uno al inicio del cultivo y otro al final, en todas las parcelas, determinando materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, C.E y pH. En cada parcela se tomaron entre 15-20 submuestras de suelo a unos 10 cm del gotero y 20 cm de profundidad, obteniendo una muestra de 1,5-2,0 kg de peso.

Para el control de la producción se cosechó una superficie de 12,6 m² en cada parcela experimental. Debido al porte rastrero del cultivo, esta superficie se individualizó del resto mediante el empleo de una manta térmica de 50 cm de altura. De esta forma se evitó que los tallos y frutos de plantas adyacentes se mezclasen entre sí. La recolección se hizo en una sola vez, ya que los frutos presentaban una madurez muy uniforme. Los frutos recolectados se contaron y separaron en comerciales y no comerciales (destrío), clasificando los comerciales por categorías y calibres. La clasificación por categorías se realizó en función de las características físicas y organolépticas de los frutos según la Normativa Europea de calidad y comercialización (Reglamento CE 1093/97, modificado por el Reglamento CE 850/2000).

Se determinó la calidad del fruto, utilizando cuatro frutos comerciales por parcela. La firmeza del fruto se determinó por medio de un penetrómetro (Fruit Tester FT 3-27) dotado de una sonda de 8 mm. Para la determinación de este parámetro de calidad se partió el fruto transversalmente y se realizaron tres medidas por fruto. El contenido en sólidos solubles (C.S.S.) ó °Brix, se midió mediante un refractómetro manual (Cat. N° 166 digital refractometer for Brix).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Análisis químico de las aguas de riego

En la Tabla 1 se muestran las propiedades químicas del agua de suministro convencional y del agua residual depurada utilizadas para el riego durante el ciclo del cultivo de melón. Se observaron variaciones en las propiedades químicas del agua de riego durante el tiempo de duración del ensayo, independientemente de su origen.

Tabla 1: Propiedades químicas del agua de suministro convencional (AC) y agua residual depurada (ARD). Valores medios e intervalo de variación durante el ciclo de cultivo. N=6 (N es el número de medidas realizadas).

		AC		ARD		
		Media	Intervalo de variación	Media	Intervalo de variación	
CO ₃ ²⁻	(meq L ⁻¹)	0	0.0	0.00	0.0	
HCO ₃ ⁻		1.47	1.40-1.60	9.15	8.00-9.60	
Cl ⁻		5.12	4.00-6.00	5.65	5.00-6.40	
SO ₄ ²⁻		4.23	3.50-5.25	2.59	1.75-4.30	
NO ₃ ⁻		0.72	0.40-1.00	0.14	0.07-0.18	
NH ₄ ⁺		0.00	0.0	3.49	3.10-4.21	
Ca ²⁺		2.83	2.17-3.86	3.19	2.71-4.40	
Mg ²⁺		3.08	2.86-3.60	3.19	2.90-3.66	
Na ⁺		5.49	3.80-6.21	7.61	6.30-8.41	
K ⁺		0.12	0.08-0.21	0.57	0.28-0.72	
P		0.00	0.00-0.02	0.40	0.33-0.52	
B		(ppm)	0.76	0.68-0.85	1.32	1.10-1.48
pH			7.56	7.10-7.88	7.64	7.38-7.90
C.E.	(mS cm ⁻¹)	1.16	1.10-1.17	1.73	1.56-1.84	

La salinidad (C.E.) del agua residual depurada fue mayor que la del agua de suministro convencional (Tabla 1), así como la variabilidad a lo largo del ciclo, como consecuencia de su origen. En función de la C.E., ambas aguas empleadas podría presentar problemas ligeros o moderados de salinidad, sin embargo el cultivo del melón presenta buena tolerancia a la salinidad, muy similar a la del tomate.

El pH de las dos aguas utilizadas para el riego fue básico, encontrándose, durante todo el ciclo del cultivo, en un intervalo que podría provocar problemas débiles a moderados de obturación de emisores.

Los niveles de cloro (Cl), sodio (Na) y boro (B) en ambas aguas se encuentran dentro del intervalo de concentración que puede causar ligeros problemas en algunos cultivos, si bien es apta para el riego del cultivo de melón. La concentración de cloro y sodio fue ligeramente superior en el agua residual depurada como consecuencia de la adición de hipoclorito sódico durante el proceso de depuración. Esta técnica se emplea normalmente para el control de la actividad microbiológica. Además, el contenido de cloruros y de sodio también aumenta durante el uso doméstico. La toxicidad que mayor incidencia tiene cuando se utiliza agua residual depurada es la debida al boro. La concentración de boro fue muy superior en el agua depurada (Tabla 1), sin embargo el cultivo de melón es moderadamente tolerante a este elemento permitiendo una concentración muy superior a la encontrada en el agua utilizada (2,0-4,0 mg l⁻¹) (Ayers y Westcot, 1985). La mayor presencia de boro puede estar relacionada con el origen del agua, ya que las fuentes de boro más comunes son los detergentes y jabones domésticos.

Las dos aguas de riego también presentaron diferencias en la concentración de bicarbonatos (HCO₃) y sulfatos (SO₄²⁻) (Tabla 1). La concentración de bicarbonatos en el agua residual depurada fue elevada, sin embargo los mayores problemas de un alto contenido en bicarbonatos se presentan con el riego por aspersión. La presencia de carbonatos y bicarbonatos da lugar a la precipitación de calcio y magnesio que puede causar problemas de obturación de goteros. El mayor contenido de sulfatos en el agua de suministro convencional fue compensado en los tratamientos regados con agua residual depurada mediante el aporte en fertirriego, con sulfato amónico y sulfato potásico.

La presencia de nutrientes en el agua residual depurada, tales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), conlleva un ahorro en el aporte de fertilizantes. En el agua residual depurada hay presencia de amonio (NH₄) (Tabla 1) que fue compensado en el tratamiento regado con agua convencional mediante el abonado con sulfato amónico. En la Tabla 2 se muestra los nutrientes aportados por el agua y los fertilizantes a los dos tratamientos ensayados (AC y ARD). Las concentraciones de N y K en el agua fueron tenidas en cuenta en la programación de la fertilización, por lo que las cantidades totales aportadas a los dos tratamientos fueron similares (Tabla 2). No se aportó P, ya que el contenido de éste en el suelo al inicio del cultivo fue elevado.

Tabla 2: Concentración de N, P y K (g m⁻²) aportados al cultivo.

	Agua Convencional			Agua Residual Depurada		
	Total	Agua	Fertilizantes	Total	Agua	Fertilizantes
N	8.39	1.14	7.25	7.05	5.09	1.96
P	0.00	0.00	0.00	1.24	1.24	0.00
K	11.55	0.50	11.05	11.14	2.23	8.91

En la Figura 1 se muestra el porcentaje de N y K aportados por el agua de riego y los fertilizantes. Se observa que con el uso del agua residual depurada se consigue un ahorro en el aporte de fertilizantes del 56,8 % de nitrógeno y del 15,7% de potasio.

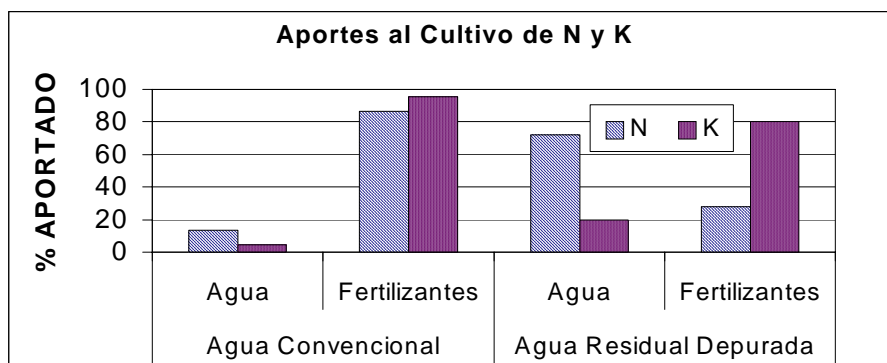


Figura 1: Porcentaje del total de N y K aportados por el agua y los fertilizantes.

Aunque no aparecen datos sobre metales pesados, se conoce que los contenidos en el agua residual están por debajo de los niveles máximos permitidos debido al bajo grado de industrialización de la ciudad de Almería (Rojo, 1996).

b) Análisis de fertilidad del suelo

En las Tablas 3 y 4 se muestran los análisis de fertilidad (N, P, K y materia orgánica (M.O.)) del suelo al inicio y al final del ciclo de cultivo, así como la C.E. y pH. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la fertilidad del suelo, pero si las hubo en C.E al inicio del cultivo.

Tabla 3: Análisis químico del extracto saturado del suelo al inicio del ciclo del cultivo.

TRATAMIENTO	M.O (%)	Ntotal (%)	P (ppm)	K (ppm)	C.E _{es} (mmhos/cm)	PH _{es}
AC	0,87 a ⁴	0,06 a	141,6 a	34,5 a	1,14 b	8,62 a
ARD	0,86 a	0,08 a	135,5 a	59,5 a	1,54 a	8,58 a

Tabla 4: Análisis químico del extracto saturado del suelo al final del ciclo del cultivo.

TRATAMIENTO	M.O (%)	Ntotal (%)	P (ppm)	K (ppm)	C.E _{es} (mmhos/cm)	PH _{es}
AC	0,73 a	0,07 a	124,8 a	43,6 a	2,64 a	8,33 a
ARD	0,73 a	0,07 a	133,8 a	69,4 a	2,52 a	8,48 a

El análisis inicial del suelo se realizó después de aplicar un riego de pretransplante con el fin de lavar sales de cultivo anterior (pepino en ciclo otoño-invierno). En los dos tratamientos, la relación entre C.E. del extracto saturado (C.E._{es}) y la C.E. del agua de riego fue inferior a 1,5, por lo que el suelo al inicio del cultivo se encontraba dentro de los límites adecuados de acumulación de sales.

⁴ Test de Mínima diferencia Significativa, valores seguidos con la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de significación del 5%.

La conductividad eléctrica aumentó en el transcurso del cultivo en los dos tratamientos, acentuándose más este incremento en el tratamiento de agua convencional, de manera que las diferencias estadísticamente significativas encontradas al inicio del cultivo desaparecen al final del ciclo. La salinidad del suelo al final del cultivo fue escasa, sin presentar valores elevados que limitasen la producción del cultivo, ya que la CE_{es} óptima para el melón oscila entre 2,5-3,5 dSm^{-1} durante el ciclo del cultivo.

El contenido inicial de N y K fue bajo, ya que la toma de muestra se realizó después del riego de lavado. El contenido final de N y K también fue bajo debido a que el fertirriego del cultivo se realizó en base a las extracciones del cultivo, no observándose síntomas visuales de carencia de macro o micronutrientes. El N total al final del ciclo fue muy similar al inicial, ya que este fue aplicado en fertirriego en las etapas iniciales del ciclo del cultivo, mientras que el contenido en K aumentó al final del ciclo, pues éste se aplicó en la fase de fructificación.

Los niveles de fósforo en el suelo disminuyeron desde el inicio del cultivo hasta su recolección, presentando en todo momento valores muy altos, pero que no afectan el desarrollo del cultivo. La disminución se ve justificada porque en ningún momento del ciclo de cultivo se aportó P debido a su alto contenido en suelo.

El contenido inicial y final en materia orgánica (M.O.) fue bajo. El bajo contenido de materia orgánica en el suelo se debe a que el último aporte de materia orgánica tuvo lugar en el retranqueo realizado en 1990.

El pH inicial fue similar entre tratamientos, y no se vio afectado por el agua de riego al final del experimento.

c) Producción

La Tabla 5 recoge los resultados obtenidos tras el control de la producción del cultivo del melón.

Tabla 5: Rendimiento total y comercial del cultivo de melón.

TRATAMIENTOS	RENDIMIENTO TOTAL		RENDIMIENTO COMERCIAL		DESTRIO	
	Nº frutos m^{-2}	Producción $(g\ m^{-2})$	Nº frutos m^{-2}	Producción $(g\ m^{-2})$	Nºfrutos (%)	Producción (%)
AC	4,98 a	5072,1 a	4,82 a	4981,6 a	3,2	1,8
ARD	5,24 a	5718,6 a	5,06 a	5547,1 a	3,4	3,0

No se observaron diferencias significativas en rendimiento total entre tratamientos, respecto al número de frutos y producción.

Los datos del rendimiento comercial arrojaron que la producción y el número de frutos comerciales no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

En destrío, tampoco se encontraron diferencias significativas, pero es de destacar el pequeño porcentaje en producción que se obtuvo en los dos tratamientos (máximo 3% en ARD).

En la Figura 2 se muestra la clasificación del rendimiento comercial en categorías. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las categorías comerciales.

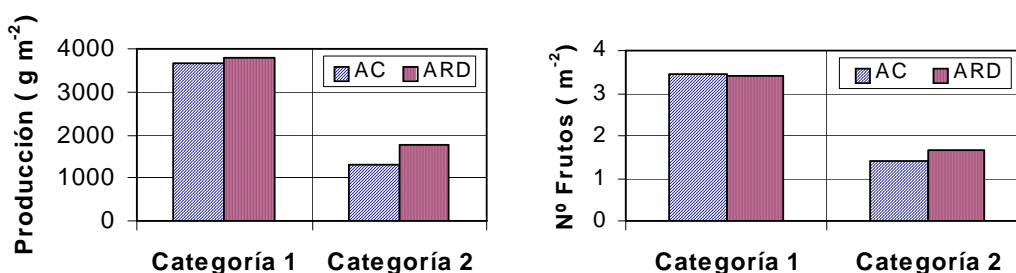


Figura 2: Producción y número de frutos comerciales clasificados en categorías.

El tipo de agua no tuvo efecto sobre el rendimiento del cultivo de melón. Estudios previos sobre las propiedades químicas y microbiológicas del agua residual depurada de la ciudad de Almería habían puesto de manifiesto su aptitud para el riego de cultivos hortícolas (Rojo et al., 1996).

d) Calidad

En la Tabla 6 se muestra la firmeza y el contenido en sólidos solubles (° Brix) de los frutos por tratamientos. Tras analizar la calidad de los frutos en las parcelas regadas con agua residual y en las regadas con agua convencional se observa que tanto la firmeza como el contenido en azúcar es algo mayor en los frutos regados con agua convencional, aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ensayados.

Tabla 6: Firmeza y °Brix de los frutos comerciales de melón.

	FIRMEZA	° BRIX
AC	1,7 a	11,8 a
ARD	1,4 a	11,5 a

4. CONCLUSIONES

1. La presencia de potasio y nitrógeno (en forma amoniacal) en el agua residual depurada utilizada para el riego permitió un ahorro importante en el aporte de fertilizantes (del 56,8% en N y del 15,7% en K).
2. El tipo de agua no tuvo efecto sobre el rendimiento del cultivo de melón, no observándose diferencias estadísticamente significativas.
3. El tipo de agua tampoco afectó a la calidad del fruto de melón, no mostrándose diferencias estadísticamente significativas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Asano, T., D. Richard, R.W. Crites y G. Tchobanoglous. 1992.** Evolution of tertiary treatment requirements in California. *Water Environ. Technol.* 4: 37-41.
- 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.
- 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.
- Contreras, J. I., J. Martínez, M. Alcaide, J. Pérez y J. Roldán. 2002.** Influencia del sistema de riego localizado enterrado en la utilización de agua residual depurada para riego de. XX Congreso Nacional de Riegos. Ciudad Real, 12-14 de junio de 2002.
- Fernández, M^a.D., F. Orgaz, E. Fereres, J.C. López, A. Céspedes, J. Pérez, S. Bonachela y M. Gallardo. 2000.** Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Ed. CAJAMAR.
- Harivandi, M. A. 2000.** Irrigating turfgrass and landscape plants with municipal recycled water. Proc. 3rd IS on Irrigation Hort. Crops. *Acta Hort.* 537: 697-702.
- Reca, J., J. Martínez, A. Zapata, J. G. López y J. L. Callejón. 1999.** El problema del agua en el futuro de la horticultura en Almería. *Vida Rural*. Pp. 40-42.
- Rojo, I., J. Pérez y A. Vallverdú. 1996.** Aptitud de las aguas residuales de Almería tratadas con ozono para su reutilización en riego. XIV Congreso Nacional de Riegos. Aguadulce 11-13 de Junio, pp. 660-667.
- Segura M^a. L., S. Martínez y M. R. Granados. 2001.** Uso del agua residual depurada en el fertirriego del tomate cultivado bajo condiciones de invernadero. IV Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Libro de resúmenes: 175. Cáceres, 7-11 de mayo de 2001.
- Segura M^a. L., R. Moreno, S. Martínez, J. Pérez y J. Moreno, 2000.** Effects of wastewater irrigation on melon growth under greenhouse conditions. International Symposium on protected cultivation in mild winter climates: current trends for sustainable technologies. Book of abstracts: 102. Cartagena-Almería, 7-11 de marzo de 2000.
- Westcot, D. W. y R. S. Ayers. 1985.** Irrigation water quality criteria. P. 3:1-3:37. In: G. S. Pettygrove, T. Asano (eds.). *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater- A Guidance Manual*. Report N° 84-1 wr. Calif. State Water Resources Control Board. Sacramento, California. U.S.A.

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.