

Reutilización del agua residual depurada en el cultivo de limonero

F. Pedrero • Dpto. Riego, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC). Espinardo (Murcia).

A. Torrecillas, J.J. Alarcón • Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS). Cartagena (Murcia)

La aplicación de agua residual depurada (ARD) para el riego de limonero Fino sobre patrón *Macrophylla* fue evaluada en dos parcelas situadas en puntos geográficos diferentes de la Región de Murcia. A pesar de la diferente localización geográfica, las condiciones climáticas y edafológicas fueron similares para ambas parcelas experimentales. En Cartagena se utilizó agua residual depurada (ARD) sometida a tratamiento secundario procedente de la depuradora de Cabezo Beaza, mientras que en Campotéjar se utilizó ARD sometida a un tratamiento terciario, procedente de la depuradora de Molina Norte, mezclada al 50% con agua de pozo. Se observó que el agua empleada en Campotéjar tiene una mayor calidad agronómica que el ARD de la depuradora de Cabezo Beaza, siendo en ambos casos la conductividad eléctrica y los cloruros los elementos más limitantes para el cultivo del limonero. De forma específica, también se pudo observar unos elevados valores de sulfatos en el agua de Campotéjar y de boro (B) en el ARD de Cartagena. Los análisis realizados en suelo y hoja en ambas parcelas experimentales, permitieron concluir que el uso de agua residual depurada para el cultivo de limoneros en la Región de Murcia no implica riesgos importantes de fitotoxicidad, pero si supone un aporte de carga microbiana y elementos minerales específicos que hay que considerar a la hora de su óptima utilización.

Parcela de experimentación de Campotéjar



Introducción

El agua residual depurada constituye una fuente importante de nitrógeno para el cultivo de cítricos

El continuo crecimiento de la población mundial, junto con el aumento de las actividades industriales y agrícolas, y las constantes sequías de los últimos años, han provocado una sobreexplotación de los recursos hídricos convencionales. De modo que el empleo de agua residual depurada (ARD) se ha convertido en una fuente alternativa de agua para la agricultura, especialmente en las regiones áridas y semiáridas.

La utilización de ARD para riego se viene practicando desde la antigüedad, pero es durante la se-

gunda mitad del siglo XX cuando el riego con ARD ha sido considerada una práctica común en muchos países del mundo, y un gran número de publicaciones han reconocido sus beneficios sobre la recuperación de nutrientes, la reducción de la aplicación de fertilizantes y la eliminación de efluente (Mujeriego y Sala, 1991; Levine and Asano, 2004). En general, la aplicación de ARD para riego está principalmente asociada a países con un alto desarrollo científico y técnico y una elevada escasez de agua (Pescod, 1992; Asano and Levine, 1995; Lubello et al., 2004).

Los criterios de calidad del agua aplicados para



Depuradora de Cabezo Beaza (Cartagena)

su reutilización en agricultura se han basado principalmente en aspectos microbiológicos, centrándose en la existencia de patógenos potenciales (virus, bacterias y protozoos) que pueden causar problemas sanitarios (World Health Organization, WHO, 1989). La concentración de sólidos disueltos totales (TDS) y determinadas elementos y sales que afectan a la productividad de los cultivos también han sido frecuentemente considerados (Ayers y Westcot, 1994). En esta línea de estudio, el objetivo principal de este trabajo fue estudiar la respuesta del suelo y el cultivo del limonero al empleo de agua residual depurada en dos localizaciones diferentes de la Región de Murcia.

Materiales y métodos

Los ensayos han sido realizados en dos parcelas de la Región de Murcia (Cartagena y Campotéjar). La parcela experimental de Cartagena está localizada en el barrio de San Félix, 4 Km al norte de Cartagena, sus coordenadas son 37°3'N, 0°58'W. Se trata de una plantación de 12 hectáreas de limonero "Fino" con patrón *Macrophylla*, de 7 años de edad, plantados en un marco de plantación de 8x6 m y con un sistema de riego por goteo que dispone de 4 goteadores de 4l/h por árbol. La parcela de limoneros de Campotéjar está situada a 7 Km al norte de Molina de Segura, sus coordenadas son 38°07'N, 1°13'W. En este caso se trata de una superficie de 10 hectáreas con el mismo tipo de cultivo (variedad y patrón), la misma edad de los árboles, el mismo marco de plantación y el mismo diseño de riego que el descrito para la finca experimental de Cartagena.

La pluviometría se repartió de forma uniforme y similar en ambos lugares, centrándose la época lluviosa de noviembre a mayo. Ambos lugares recogieron durante el año 2006 una precipitación media de 200 a 300 mm. Las temperaturas medias también son semejantes en ambas parcelas de experimentación, registrándose las máximas entre junio y agosto, y las mínimas de diciembre a febrero. La temperatura media de Campotéjar durante el año 2006 fue de 19,7°C, y en Cartagena de 18,7°C. Por último, la ET₀ resultó prácticamente idéntica en Cartagena y Campotéjar durante el año 2006. La media de la ET₀ diaria registrada en Cartagena fue de 3,87 mm y en Campotéjar de 3,41 mm.

Por medio de muestreos en la zona seca del marco de plantación, se caracterizó la textura y composición elemental del suelo en ambas localizaciones. La textura obtenida resultó ser franco-limoso en el suelo de la parcela experimental de Cartagena y arcillo-limoso en el suelo de Campotéjar. En ambas parcelas se observó un bajo contenido en nitrógeno y materia orgánica. Las mayores diferencias edafológicas entre ambas localizaciones fueron debidas a la concentración de calcio, que fue mucho más elevado en Campotéjar que en Cartagena.

La edad de los árboles, el marco de plantación, los volúmenes de agua aportados por el riego y los tratamientos fitosanitarios fueron muy similares en ambas localizaciones, de forma que la mayor diferencia en el cultivo residió en el origen y calidad del agua empleada. En Cartagena se utilizó agua residual depurada (ARD) sometida a tratamiento

secundario procedente de la depuradora de Cabezo Beaza, mientras que en Campotéjar se utilizó ARD sometida a un tratamiento terciario, procedente de la depuradora de Molina Norte, mezclada al 50% con agua de pozo.

Para caracterizar la calidad del agua de riego en ambas localizaciones, a lo largo del 2006 se realizaron análisis mensuales del agua empleada tanto en Cartagena como en Campotéjar. Trimestralmente se realizaron también análisis foliares en una muestra de 48 árboles distribuidos al azar en las parcelas experimentales. Cada seis meses se hicieron análisis de suelo en el bulbo húmedo para ver la influencia del riego con aguas residuales depuradas.

Resultados y discusión

Análisis de las aguas empleadas en cada localización

En ambos casos se trata de aguas duras, con un nivel de pH ligeramente alto (Tabla 1), por lo que sería conveniente aplicar algún ácido corrector para disminuirlo y así evitar las posibles precipitaciones de carbonato cálcico y magnésico (Pitts, 1996). Estas precipitaciones dan lugar a la obturación de los goteadores, y se convierten en uno de los principales problemas del empleo de aguas residuales en riego localizado.

Los problemas por salinidad suelen aparecer cuando la conductividad eléctrica (CE) del agua de riego es superior a 1,5 dS/m, por lo que ambos tipos de agua no cumplirían con los requisitos óptimos para su utilización (Tabla 1). El problema es especialmente grave para el cultivo de los limoneros, ya que los cítricos son considerados cultivos sensibles a la salinidad (Mass, 1993). El valor elevado de conductividad eléctrica observado en nuestros ensayos fue debido fundamentalmente a un alto nivel de concentración de cloruros en ambas localizaciones (Tabla 1). También se observaron niveles elevados de boro (B) en el agua de Cartagena. Este exceso de boro puede ocasionar fitotoxicidad en los cítricos (Chapman, 1968; Pescod, 1992). En numerosos trabajos se ha demostrado que el boro reduce el crecimiento, la productividad, causa defoliación y amarillamiento de las hojas (Aucejo et al., 1997). En Campotéjar los niveles de boro fueron normales, sin embargo se observó una alta concentración de sulfatos (Tabla 1).

El análisis en ambos tipos de agua empleada en Cartagena

Tabla 1

Ánálisis físico-químico y microbiológico del agua de riego utilizada en ambas localizaciones. Los valores corresponden a la media de todos los muestreos realizados a lo largo del año 2006. Los números coloreados corresponden a valores superiores al rango óptimo

Macroelementos (ppm)	Cartagena	Campotéjar	Rangos óptimos
P	2.06	0.27	<5
K	42	25	<100
Ca	107	69	<200
Mg	70	41	<60
S	102	65	<150
Microelementos (ppm)	Cartagena	Campotéjar	Rangos óptimos
Fe	0	0	<1,5
Na	334	311	<900
B	1.39	0.84	<1
Mn	0	0	<1,5
Metales pesados (ppm)	Cartagena	Campotéjar	Rangos óptimos
Ni	0.12	0.11	<2
Cd	0	0	<0,05
Cr	0	0	<1
Cu	0	0	<5
Pb	0	0	<10
Zn	0.11	0	<10
Aniones (ppm)	Cartagena	Campotéjar	Rangos óptimos
Fluoruros	0.56	0.50	<1
Cloruros	221	170	<100
Nitratos	3.86	5.91	<50
Fosfatos	3,10	0,30	<15
Sulfatos	354	529	<400
Parámetros físicos	Cartagena	Campotéjar	rangos
pH	8,28	7,94	6,5-8,5
CE (dS/m)	2,82	2,10	<1,5
SDT (mg/l)	1589	487	450-2000
DBO (mg/l)	4	4	<30
DQO (mg/l)	39	30	<120
OD (mg/l)	5	4	>3
Turbidez (NTU)	6	2	<5
SS (mg/l)	17	22	<35
DUREZA (°F)	56	34	>30 duras
RAS	6	9	2-8
Parámetros microbiológicos	Cartagena	Campotéjar	rangos
Coliformes fecales (UFC/100ml)	4300	0	200
E.Coli (UFC/100ml)	0	0	1000
Huevos helminto (h/10l)	0	0	<1

y Campotéjar respectivamente, muestra claras diferencias en su composición. El agua procedente de la depuradora de Cartagena presentó unos valores más elevados de pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), turbidez y dureza (Tabla 1); una concentración más elevada de cloruros, magnesio y boro (Tabla 1). En general, la mayor parte de los elementos analizados en las aguas procedentes de la depuradora de Cabezo Beaza (Cartagena) presentan unos valores de concentración más elevados que los medidos en las aguas empleadas en Campotéjar. Este hecho pudo deberse a que en Campotéjar no utilizamos ARD directamente, sino que se utilizó mezclada al 50% con agua de pozo.

La calidad microbiológica de las aguas de Campotéjar es buena, ya que hubo ausencia de indicadores de toxicidad microbiológica. En el ARD de Cartagena se observaron niveles elevados de coliformes fecales (Tabla 1), superando los rangos máximos de concentración para el uso en agua de riego

Tabla 2

Ánálisis físico-químico y microbiológico del suelo. Los valores corresponden a la media de todos los muestreos realizados a lo largo del año 2006. Los números coloreados corresponden a valores superiores al rango óptimo

Materia orgánica	Cartagena	Campotéjar
Materia orgánica (%)	1,38	1,59
Macroelementos (ppm)	Cartagena	Campotéjar
N (%)	0,08	0,10
P (ppm)	929	426
K (ppm)	10334	5707
Ca (ppm)	11420	22527
Mg (ppm)	11845	12679
S (ppm)	402	533
Microelementos (ppm)	Cartagena	Campotéjar
Fe	11648	7063
Na	1183	900
B	260	234
Mn	342	264
Metales pesados (ppm)	Cartagena	Campotéjar
Ni	16	9
Cd	0	0
Cr	24	11
Cu	95	72
Pb	87	29
Zn	69	60
Aniones (ppm)	Cartagena	Campotéjar
Fluoruros	244	167
Cloruros	2063	1381
Nitratos	402	346
Fosfatos	838	889
Sulfatos	839	887
Parámetros físicos	Cartagena	Campotéjar
pH	7,84	7,93
CE (dS/m)	0,178	0,107
Parámetros microbiológicos	CT	CA
Coliformes totales (UFC/100ml)	73000	0
Coliformes fecales (UFC/100ml)	0	0
E.Coli (UFC)	5	0
Huevos helmintos (h/10l)	0	0

recomendado por la World Health Organization (WHO, 1989) y la Environmental Protection Agency (EPA, 2004).

Se puede concluir, por tanto, que la mezcla de ARD de la depuradora de Molina Norte (Campotéjar) mezclada con agua de pozo, tiene una mayor calidad agronómica que el ARD de la depuradora de Cabezo Beaza.

Análisis de suelo y hoja

La utilización de aguas residuales no generó un incremento importante en los niveles de materia orgánica en el suelo, en donde los valores de macronutrientes tampoco se vieron significativamente afectados (Tabla 2). En cuanto a los micronutrientes y metales pesados, cabe destacar la elevada concentración de boro en suelo observado en ambas localizaciones. La mayor carga microbiana del ARD de Cartagena generó un aumento en los valores de coliformes totales del suelo en esta localización, que no fueron observados en Campotéjar (Tabla 2).

Tabla 3

Análisis foliar. Los valores corresponden a la media de todos los muestreos realizados a lo largo del año 2006

Macroelementos	Cartagena	Campotéjar
C (%)	40,66	41,77
N (%)	2,71	2,75
P (ppm)	1192	1067
K (ppm)	15670	8598
Ca (ppm)	45276	45264
Mg (ppm)	3126	2596
S (ppm)	2885	2497
Microelementos (ppm)	Cartagena	Campotéjar
Fe	195	111
Na	148	106
B	42	27
Mn	27	30
Metales pesados (ppm)	Cartagena	Campotéjar
Ni	4	0
Cd	2	32
Cr	12	51
Cu	13	14
Pb	16	0
Zn	53	60
Aniones (ppm)	Cartagena	Campotéjar
Fluoruros	407	323
Cloruros	659	870
Nitratos	455	205
Fosfatos	1540	1243
Sulfatos	864	916

Diversos autores afirman que el agua residual depurada constituye una fuente importante de nitrógeno para el cultivo de cítricos (Zekri y Koo, 1994; Parsons y Wheaton, 1996). En esta experiencia se observó que los niveles de nitrógeno foliar se encuentran dentro del rango considerado como óptimo para el desarrollo de los cítricos (2,5 – 2,8 %) (Legaz et al., 1995). (Tabla 3).

Los niveles de toxicidad del boro en cítricos han sido publicados por Chapman, 1968. Contenidos de boro en hoja de 100-130 ppm, son normalmente considerados el límite dentro del cuál comienzan a aparecer los primeros síntomas, mientras que contenidos de boro de 200-250 ppm suelen ir asociados a elevados niveles de fitotoxicidad. Se ha publicado también que el pH elevado del agua ayuda a la absorción del boro por las raíces. Los niveles elevados de cloruros en los cítricos también pueden causar una reducción del desarrollo vegetativo y una disminución del intercambio gaseoso a nivel foliar (Walter et al., 1982).

A pesar de los elevados valores de boro observados en el suelo, y la elevada conductividad eléctrica y alta concentración de cloruros en ambos tipos de agua, no se observaron síntomas de toxicidad por sales a nivel foliar, y los distintos macronutrientes, micronutrientes y metales pesados medidas en hoja se encontraron siempre dentro de los rangos normales de concentración.

Conclusiones

- Los indicadores de calidad microbiológica en la ARD de Cartagena superó los límites recomendados por la WHO y la EPA. La posibilidad de utilizar ARD mezclada con

aguas de pozo (Campotéjar) se presenta como una buena solución para mejorar la calidad agronómica de las aguas residuales depuradas.

- La elevada salinidad y la concentración de boro son los principales problemas asociados al uso de ARD en la Región de Murcia. Aunque no llegaron a observarse niveles de toxicidad en hoja, la acumulación de sales puede ser un parámetro determinante para el cultivo del limonero.
- En los suelos de ambas localizaciones no se observó, a corto plazo, un aporte de macronutrientes ni materia orgánica con la aplicación de ARD. Si que se produjo un aumento del pH en ambos suelos.

Agradecimientos

Este trabajo se encuadra dentro de las actividades financiadas por los proyectos IRRQUAL (EC, FP6-FOOD-CT-2006-023120) Y RIDECO (Consolider-Ingenio 2010-CSD2006-0067).

Bibliografía

- Asano T, Levine D (1995). Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future. International Association on Water Quality Second Int. Symp. on Wastewater reclamation and Reuse, 17–20 October 1995, Iraklio, Greece; 5-17 p.
- Ayers RS, Westcot DW (1994). Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper, vol. 29. Rome: FAO; 174 pp.
- Aucejo A., J. Ferrer, C. Gabaldón, P. Marzal y A. Seco. (1997). Toxicity in citrus plantations in Villareal, Spain. Water, Air and Soil Pollution, nº 94, 349-360 p.
- Chapman H. D. (1968): "The mineral nutrition of Citrus", en W. Reuther, L.D. Batchelor, H.J. Webber (eds), The Citrus industry, II, 127-274 p.
- EPA (2004). Guidelines for water reuse. Washington DC, USA: U.S. Agency for International Development; EPA/625/R-04/108, 180 pp.
- Levine A, Asano T (2004). Recovering sustainable water from wastewater. Environ Sci Technol; 201A.
- Legaz, F., M. D. Serna, P. Ferrer, V. Cebolla y E. Primo-Millo (1995): "Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras". Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Lubello C, Gori R, Nicsesse FP, Ferrini F (2004). Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. Water Res;38(12): 2939-47 p
- Mass E. V.(1993). Salinity and citriculture. Tree Physiol. nº 12,195-216 p.
- Mujeriego R, Sala L (1991). Golf course irrigation with reclaimed wastewater. Water Sci Technol;24(9):161-72 p.
- Parsons L. R., T. A. Wheaton (1996): "Florida citrus irrigation with municipal reclaimed water", Proc. Int. Soc. Citriculture nº 2, 692-695 p.
- Pescod, M.M. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrig. & Drain. Paper No. 47, Roma.
- Pitts, D. (1996). Causes and prevention of emitter plugging. Micro Irrigation System Management (module6), University of Florida. 26 pp.
- Walker R.R., E. Törökfalvy y W. J. S. Downton (1982): "Photosynthetic responses of the citrus varieties rangpur lime and etrog citron to salt treatment". Australian J. of Plant Physiol, nº 9, 783-790.
- WHO (1989). In: Cairncross S, Mara D, editors. Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture. Geneva, Switzerland: World Health Organisation; 194 pp.
- Zekri, M. y R. C. J. Koo (1994). "Treated municipal wastewater for citrus irrigation", Journal of Plant Nutrition, 17(5), 693-708 p.