

[REUTILIZACIÓN DE AGUA EN EL RIEGO]

Utilización de aguas regeneradas en el riego deficitario de mandarina

F. Pedrero

Ingeniero Agrónomo. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)

O. Mounzer

Dr. Ingeniero Agrónomo. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)

E. Nicolás

Científico titular. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)

J.J. Alarcón

Profesor de Investigación. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)

El déficit hídrico que sufre la agricultura murciana junto con el crecimiento demográfico experimentado en los últimos años, ha llevado a esta región a la reutilización de las Aguas Residuales Depuradas (ARD) en la agricultura. Sin embargo, son necesarios estudios a corto y largo plazo sobre el impacto agronómico que tendría la utilización de estas aguas regeneradas junto con estrategias de Riego Deficitario Controlado.

[Criterios para la aplicación de ARD

La utilización de ARD para riego se viene practicando desde la antigüedad, pero es durante la segunda mitad del siglo XX cuando el riego con ARD ha sido considerado 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 (Mujerigo y Sala, 1991; Levine and

El objetivo de este trabajo fue el de evaluar agronómicamente los efectos que el Riego Deficitario Controlado (RDC), aplicado con aguas de diferente calidad, tiene sobre la producción de la cosecha obtenida en una plantación de mandarina ubicada en la Región de Murcia. La mayor producción se obtuvo en el tratamiento de riego control y agua trasvase (98 kg/árbol). Los tratamientos control regados con el agua de la Comunidad de Regantes de Campotejar y de la depuradora sufrieron una disminución del 6% y el 15% respectivamente con respecto al tratamiento de máxima producción, mientras que los tratamientos de RDC del agua de la C.R. Campotejar y la depuradora sufrieron una disminución en la producción de un 11% y un 25% respectivamente, respecto al tratamiento control del agua del trasvase.



Foto 1. Cabezal de riego suministrado con tres fuentes de agua de distinta calidad.

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 su reutilización en agricultura se han basado principal-

mente en aspectos microbiológicos, centrándose en la existencia de patógenos potenciales (virus, bacterias y protozoos) que pueden causar problemas sanitarios (World Health Organization, WHO, 1989; Environmental Protection Agency, EPA, 2004). La concentración de sólidos disueltos totales (SDT) y determinados elementos y sales que afectan a

la productividad de los cultivos también han sido frecuentemente considerados (Ayers y Westcot, 1994).

La depuración y reutilización de aguas regeneradas en la Región de Murcia ha experimentado un auge muy importante en la última década. Así, el volumen de agua procedente de las EDARs (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales) es de 101,8 hm³/año (ESAMUR, 2008), cifra que constituye aproximadamente una sexta parte de los recursos renovables de la cuenca del Segura (PHCS, 1995). Dada la escasez de agua que presenta esta cuenca, la utilización de este tipo de aguas en la agricultura puede ser de notable importancia económica y ambiental, ya que las mejoras tecnológicas en el ámbito de la depuración y la creciente implantación de EDARs está incrementando su oferta. Sin embargo, estudios a corto y largo plazo sobre el impacto agronómico que tendría la utilización de estas aguas regeneradas, normalmente salinas, sobre el suelo, la fisiología, producción y calidad de los cultivos son necesarios de cara a evaluar su viabilidad en los sistemas agrarios. Por otro lado, investigaciones que aborden la interacción de estas aguas de baja calidad con estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC) serían de gran interés en zonas con infradotación hídrica como es el sureste español.

Atendiendo a estos criterios, el objetivo de este trabajo fue el de evaluar agronómicamente los efectos que el riego deficitario controlado, aplicado con aguas de diferente calidad, tiene sobre la producción de la cosecha obtenida en una plantación de mandarina.

Condiciones de los ensayos

El ensayo fue llevado a cabo en una finca comercial situada en Molina de Segura, Murcia (38° 07' N, 1°13' W) en 2008, sobre mandarinos de 8 años de edad (*Citrus Clementina* L. cv. 'Orogrande') injertados sobre patrón carrizo Citrange (*Citrus sinensis* x *Parcisis trifoliata*), con un marco de plantación 5 x 3,5 m. El suelo es de textura arcillo-limosa, con bajo contenido en materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico.

Se aplicó riego por goteo, utilizán-

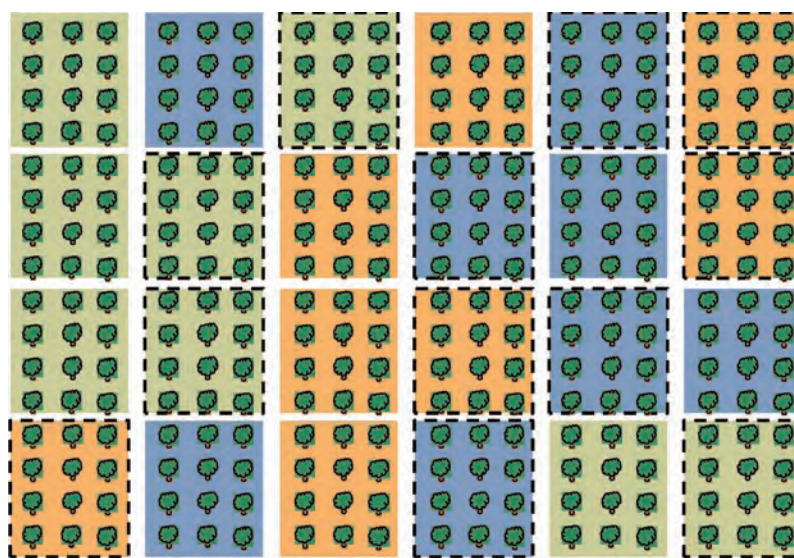


Foto 2. Diseño experimental; Seis tratamientos de riego con cuatro repeticiones cada uno y doce árboles por repetición. El fondo de color azul, naranja y verde representa la fuente del agua de riego procedente del Trasvase, de la Comunidad de Regantes de Campotejar y de la EDAR de Molina del Segura norte respectivamente. La repetición sin borde es de un tratamiento control y la repetición con borde discontinuo es de un tratamiento deficitario controlado.

Investigaciones que aborden la interacción de aguas de baja calidad con estrategias de Riego Deficitario Controlado serían de gran interés en zonas con infradotación hídrica como es el sureste español

dose un único lateral de riego por fila de árboles con tres goteros por planta, que arrojaban un caudal de 4 l h⁻¹. El riego fue programado semanalmente a partir de la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) según datos climáticos registrados en Campotejar y facilitados por el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario "IMI-DA". Las precipitaciones registradas durante 2008 fueron de 260 mm. Se emplearon tres fuentes de agua de riego (**Foto 1**): la primera procedente del trasvase Tajo-Segura, de buena calidad agronómica; la segunda procedente de la EDAR de Molina de Segura Norte, caracterizada fundamen-

talmente por su elevada salinidad; la tercera fuente de agua procede de la Comunidad de Regantes de Campotejar, y se trata de un agua de calidad variable en función de la disponibilidad de recursos (trasvase Tajo-Segura, agua subterránea (pozos) y/o agua depurada) y de la intensidad de la demanda evapotranspirativa de los cultivos.

Tratamientos de riego

Se establecieron dos tratamientos de riego para cada calidad de agua:

- 1) Tratamiento de riego control en el que se regó satisfaciendo los requerimientos hídricos del cultivo (100% ETC).
- 2) Tratamiento en el que se aplicó un riego deficitario controlado (RDC) aportando sólo el 50% de la ETC durante la segunda fase de crecimiento del fruto, siendo la fase menos sensible a un estrés hídrico moderado (González-Altozano y Castel, 1999) (desde el 22 de junio hasta el 13 de agosto: fase de acumulación de azúcares).

En total, se diferenciaron seis tratamientos con cuatro repeticiones cada uno distribuidos en un diseño experimental completamente al azar (**Foto 2**):

C-AT: Regado con agua procedente del trasvase para cubrir el 100% de la ETc durante todo el ciclo del cultivo.

RDC-AT: Regado con agua procedente del trasvase para cubrir el 50% de la ETc durante la fase de acumulación de azúcares y el 100% de la ETc durante el resto del ciclo productivo.

C-AC: Regado con agua procedente de la comunidad de regantes para cubrir el 100% de la ETc durante todo el ciclo del cultivo.

RDC-AC: Regado con agua procedente de la comunidad de regantes para cubrir el 50% de la ETc durante la fase de acumulación de azúcares y el 100% de la ETc durante el resto del ciclo productivo.

C-AD: Regado con agua procedente de la EDAR Molina de Segura Norte para cubrir el 100% de la ETc durante todo el ciclo del cultivo.

RDC-AD: Regado con agua procedente de la EDAR Molina de Segura Norte para cubrir el 50% de la ETc durante la fase de acumulación de azúcares y el 100% de la ETc durante el resto del ciclo productivo.

La depuración y reutilización de aguas regeneradas en la Región de Murcia ha experimentado un auge en la última década. El volumen es de 101,8 hm³/año, una sexta parte de los recursos renovables de la cuenca del Segura

Cada repetición estaba formada por doce árboles, en los que se consideraban diez árboles borde y dos árboles centrales como testigos. La calidad del agua empleada en los distintos tratamientos fue controlada a lo largo de todo el ciclo de cultivo, analizándose los parámetros de interés agronómico más importantes. Se realizaron las prácticas culturales habituales de una plantación de cítricos comercial de estas características en lo referente a fertilización, eliminación de malas hierbas y tratamientos

Gráfico 1:

Conductividad eléctrica de las tres fuentes de agua de riego durante el año 2008. AT: agua trasvase, AD: agua depurada y AC: agua de la C.R. Campotejar.

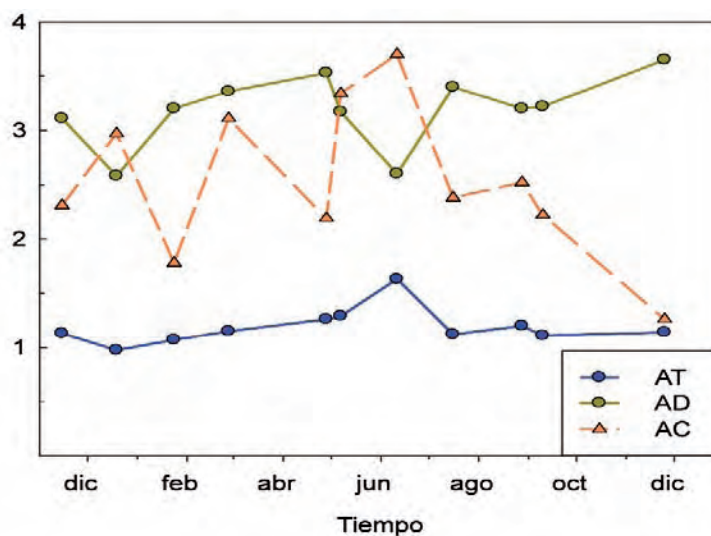
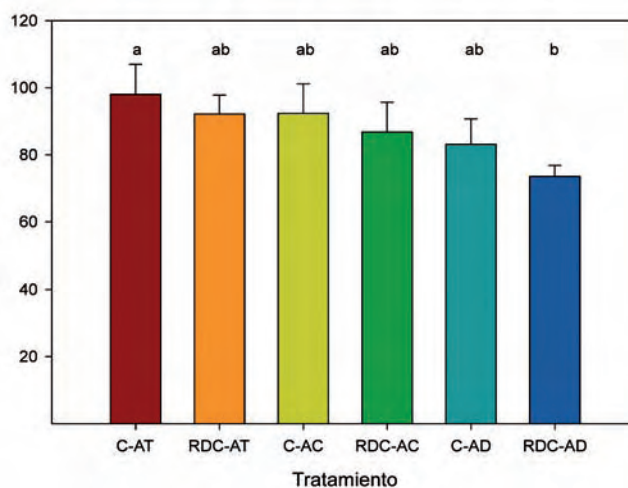


Gráfico 2:

Producción de los tratamientos control y RDC para los tres tipos de agua. Las letras distintas indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas según el test de Duncan ($P \leq 0.1$).



fitosanitarios. En los distintos tratamientos la aplicación de fertilizantes fue similar (296, 135, 123). La producción final y la distribución de los calibres de los frutos fueron evaluadas en cada uno de los ocho árboles testigos de cada tratamiento.

Resultados. Tratamientos control vs tratamientos con RDC

El volumen total de agua aplicado fue de 5377 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para los tratamientos control y 4423 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para los tratamientos con RDC. La conductividad eléctrica (CE) del agua

de riego tuvo un valor medio a lo largo de todo el ciclo de producción de 1.2, 3.4 y 2.5 dS m⁻¹ para el agua del trasvase, agua procedente de la EDAR y agua de la C.R. Campotejar, respectivamente (**Gráfico 1**). Los problemas por salinidad suelen aparecer cuando la CE del agua de riego es superior a 2 dS/m, por lo que tanto el agua procedente de la EDAR como de la C.R. Campotejar no cumplirían con los requisitos óptimos para su utilización. El problema es especialmente grave para el cultivo de cítricos, ya que son considerados cultivos sensibles a la salinidad (Mass, 1993).

El tratamiento de riego control y

Tabla 1:

Distribución en porcentaje (%) de los calibres comerciales de los frutos de los seis tratamientos. Cada valor es el promedio de 6 árboles ± Error estándar

Diámetro (mm)		< 44	< 52	< 58	< 66	< 70	< 82	Extra
AT	Control	1,3 ± 0,4	5,2 ± 1,0	23,5 ± 2,3	30,9 ± 1,1	24,7 ± 1,8	13,4 ± 1,4	0,9 ± 0,5
	RDC	1,2 ± 0,3	13,0 ± 1,7	31,5 ± 3,2	32,8 ± 1,7	14,6 ± 1,2	5,9 ± 0,5	1,0 ± 0,6
AC	Control	1,2 ± 0,5	4,9 ± 0,9	29,1 ± 1,6	37,1 ± 0,9	19,5 ± 1,3	7,5 ± 0,7	0,6 ± 0,3
	RDC	1,1 ± 0,5	7,5 ± 1,8	31,0 ± 2,7	32,8 ± 2,0	19,6 ± 2,0	7,0 ± 1,1	0,8 ± 0,2
AC	Control	1,2 ± 0,6	3,3 ± 0,9	20,2 ± 4,5	30,8 ± 4,0	26,2 ± 3,0	16,3 ± 5,7	2,0 ± 1,2
	RDC	1,0 ± 0,5	3,4 ± 1,2	10,6 ± 3,6	22,7 ± 2,7	30,8 ± 1,8	27,9 ± 4,8	3,5 ± 1,5

agua del trasvase presentó la mayor producción (98 kg/árbol) de todos los tratamientos ensayados. Los tratamientos control regados con el agua de la Comunidad de Regantes de Campotejar y de la depuradora sufrieron una disminución del 6% y el 15% respectivamente con respecto al tratamiento de máxima producción, mientras que los tratamientos de RDC del agua de la C.R. Campotejar y la depuradora sufrieron una disminución en la producción de un 11% y un 25% respectivamente, respecto al tratamiento control del agua del trasvase (**Gráfico 2**). Estas reducciones en la producción sólo fueron estadísticamente significativas entre los tratamientos C-AT y RDC-AD, lo que pone de manifiesto la presencia de un efecto de estrés aditivo provocado por la reducción de la dosis de riego y de la disminución de la disponibilidad de agua en el suelo provocado por el incremento de la concentración de sales.

Es sabido que la producción decrece en proporción directa con el incremento de las sales (concentración de Na⁺ y Cl⁻). Todavía es una pregunta abierta si la reducción de la producción promovida por la salinidad, es debida al efecto osmótico (Cerdá *et al.*, 1990) o si el factor principal es la toxicidad por Cl⁻ (Cole, 1985). El rendimiento del cultivo estuvo directamente afectado por la calidad del agua de riego, y de forma más concreta, por el grado de conductividad eléctrica (CE) de la misma.

El efecto de la baja calidad de agua empleada sobre la producción fue más evidente bajo RDC, siendo el tratamiento deficitario regado con agua procedente de depuradora (CE=3.4 dS m⁻¹) el más afectado, alcanzando un descenso en la producción del 25% con respecto al trata-

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

miento control regado con agua trasvase.

Aunque en los tratamientos de riego deficitario se redujeron los niveles de producción total, se obtuvo una mejora en los valores de eficiencia en el uso del agua, siendo el tratamiento de agua del trasvase y RDC el más eficiente produciendo 11,9 kg m⁻³. El tratamiento control con agua de la depuradora, registró la menor eficiencia de uso del agua produciendo 8,8 kg m⁻³. Los tratamientos de RDC supusieron un ahorro del 18% respecto al agua aportada en los tratamientos control.

Los porcentajes de la distribución de los calibres comerciales de los frutos se presentan en la **Tabla 1**. Alrededor del 75% de los frutos de todos los tratamientos tuvo un diámetro entre 52 y 66 mm, a excepción del tratamiento RDC regado con agua de la depuradora que produjo un mayor porcentaje de frutos con diámetro superior a 66 mm. Algunos autores recogen este incremento del tamaño del fruto en cítricos regados con aguas residuales depuradas (Koo and Zekri, 1989). Esto se debe principalmente a un número de frutos significativamente inferior a los demás tratamientos.

Conclusiones

- El tratamiento de riego control y agua del trasvase presentó la ma-

yor producción (98 kg/árbol) de todos los tratamientos ensayados, mientras que los tratamientos control del agua de la depuradora y de la C.R. Campotejar sufrieron una disminución del 6% con respecto al tratamiento de máxima producción.

- El efecto de la baja calidad de agua empleada sobre la producción fue más evidente bajo RDC, siendo el tratamiento deficitario regado con agua procedente de depuradora el más afectado, alcanzando un descenso en la producción del 25% con respecto al tratamiento control regado con agua trasvase.

- El valor umbral de conductividad eléctrica del agua de riego que permite aplicar estrategias de riego deficitario controlado, sin mermas productivas adicionales al propio tratamiento de déficit, estaría próximo a 2.5 dS m⁻¹.

- Se obtuvo una mejora en los valores de eficiencia en el uso del agua en los tratamientos de RDC, siendo el tratamiento de agua del trasvase y RDC el más eficiente produciendo 11,9 kg m⁻³.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto Europeo “Sustainable orchard irrigation for improving fruit quality and safety” (IRRIQUAL- FP6-FOOD-CT-2006-023 120) y RIDECO (Consolider-Ingénio 2010- CSD2006-0067).

Bibliografía

Queda a disposición del lector en los correos electrónicos: redaccion@editorialagricola.com y jalarcon@cebas.csic.es •